



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

4/2011 (7)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

выпуск 2

Апатиты
2011

Российская Академия Наук

ТРУДЫ

4/2011 (7)

издается с декабря 2010 г.

ISBN 978-5-91137-185-2

Кольского научного центра РАН

Главный редактор - академик В.Т.Калинников
Заместитель главного редактора
д.г.-м.н. В.П.Петров
.....д.т.н. Б.В.Ефимов

Редакционный совет:

академик Г.Г. Матишов, академик Н.Н.Мельников,
академик Ф.П.Митрофанов, чл.-корр. В.К.Жиров,
чл.-корр. А.И.Николаев, д.г.-м.н. Ю.Л.Войтеховский,
д.э.н. Ф.Д.Ларичкин, д.т.н. В.А.Маслобоев,
д.т.н. В.А.Путилов, д.ф.-м.н. Е.Д.Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н.Виноградов (ответственный секретарь)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

выпуск 2

Редколлегия серии «Информационные технологии»
профессор, д.т.н. В.А. Путилов (отв. редактор),
д.т.н. А.Г.Олейник (зам. отв. редактора),
д.ф.-м.н. А.П. Афанасьев, д.т.н. В.А.Маслобоев

184200, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, .14
Кольский научный центр РАН
Тел.(81555)79226.Факс(81555)76425
E-mail: admin@admjsc.apatity.ru <http://www.kolasc.net.ru>

© Учреждение Российской академии наук Институт информатики
и математического моделирования технологических процессов
Кольского научного центра РАН, 2011

© Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН, 2011

Серия «Информационные технологии» представляет результаты исследований и разработок, связанные с широким спектром вопросов и задач создания, практического использования информационных технологий и систем, математического и компьютерного моделирования в различных областях деятельности. В настоящий выпуск включены результаты, полученные исследователями ИИММ КНЦ РАН в 2011 году. Ряд работ выполнен при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского университета.

Сборник адресован специалистам в области создания и практического использования информационных систем и технологий в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам ВУЗов соответствующих специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
М.В. Мальков. Развитие информационно-телекоммуникационной среды в Арктике.....	10
А.Г. Олейник, А.М. Федоров. Проблемы и задачи формирования единого информационного пространства арктической зоны Российской Федерации.....	19
А.В. Маслобоев, В.А. Путилов. Модель и когнитивные технологии реализации интегрированной информационно-аналитической среды поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития.....	29
В.Н. Богатиков, А.Г. Олейник, А.Е. Пророков. Теоретический подход к оценке состояний надежности сложных информационных сетей.....	56
А.В. Вицентий. Разработка модели единого информационного пространства для оценки надежности его функционирования.....	65
И.Н. Морозов, А.Е. Пророков, В.Н. Богатиков. Рискоустойчивое управление надежностью информационных систем.....	71
И.Е. Кириллов, А.Е. Пророков. Применение метода слияния целей и ограничений к решению задачи определения области надежного функционирования информационных систем.....	81
М.Г. Шишаев, М.Л. Куимов. Моделирование динамической самоорганизующейся мобильной сети с метрикой на базе частоты встречаемости узлов.....	90
С.С. Ковалёв, М.Г. Шишаев. Современные методы защиты от нежелательных почтовых рассылок.....	100
А.А. Зуенко. Синтез методов логико-семантического анализа в рамках законов классической логики.....	112
А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. Управление ограничениями в системах концептуального моделирования: имеющийся задел и перспективы.....	120
А.А. Зуенко, А.Я. Фридман, Б.А. Кулик. Интеллектуальные базы данных (результаты выполнения проекта 4.3 Программы № 15 ПРАН).....	128
В.В. Быстров, А.В. Горохов, С.Н. Малыгина, Д.Н. Халиуллина. Информационная инфраструктура управления безопасностью развития арктических регионов РФ.....	147

А.В. Горохов, М.В. Иванова , С.Н. Малыгина. Проектирование имитационной модели для оценки экономических рисков регионального развития (на примере Мурманской области).....	151
А.С. Шемякин, С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко, Д.Е. Тихонов.. Разработка графического компонента трёхмерной модели регионального промышленно-природного комплекса (на примере хибинского горнорудного района)	156
А.Я. Фридман, О.В. Фридман, Б.В. Соколов. Градиентное оперативное управление в сложных организационно-технических системах (результаты выполнения гранта РФФИ 09-07-00066-а)	164
С.Ю. Яковлев, Н.В. Исакевич. Концепция информационно-аналитического обеспечения безопасности развития промышленно-природных комплексов арктических регионов РФ	184
А.С. Неведров, А.Г. Олейник. Формальное представление задачи интеграции и инструментальных средств определения эффективных режимов обогащения минеральных руд.....	196
А.В. Вицентий, Е.В. Харионовский. Технологии доступа к данным в современных SCADA-системах	203
А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева. Схема оперативного прогнозирования производственных процессов обогащения руд	211
И.Н. Морозов, А.Е. Пророков, И.Е. Кириллов. Алгоритм оценки текущего состояния технологического процесса при нечетко выраженной исходной информации	220
И.Н. Морозов, А.Е. Пророков, В.Н. Богатиков. Модернизация и математическое моделирование системы регулирования узла каталитической очистки газов агрегата производства неконцентрированной азотной кислоты.....	225
Н.Ю. Рыженко. Опасные процессы на объектах гидротехнических сооружений на примере хвостохранилища АНОФ-2.....	234
С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко. Информационная технология декларирования пожарной безопасности регионального промышленного комплекса	244
В.В. Быстров, Ю.О. Самойлов. Комплекс вспомогательных программ мультиагентной системы поддержки управления качеством образования	254
И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов, А.Е. Пророков. Применение методов нечеткой логики к решению задачи распределения квот на абитуриентов между учебными заведениями Мурманской области.....	261
З.В. Суворова. Двухуровневая организация проблемно-ориентированной одноранговой сети.....	267

Russian Academy of Sciences

4/2011 (7)

Published since 2010

УДК 004.9

ISBN 978-5-91137-185-2

transactions

Kola Science Centre

Editor - Academician V.T Kalinnikov

Deputy editor in chief:
Doctor of Geology and Mineralogy V.P. Petrov,
Dr of Sciences V.A. Putilov

Editorial Council:

Academics:

G.G Matishov, NN . Melnikov, F.P Mitrofanov.

Corresponding Member of RAS:

V.S.Zhirov, A.I. Nikolaev.

Dr.of Sciences:

Yu.L. Voitekhovskiy, F.D. Larichkin, V.A. Masloboev,

V.A. Putilov, ED . Tereshchenko,

Ph.D. A.N Vinogradov (executive secretary)

INFORMATION TECHNOLOGIES

series 2

Editorial council of the ((Information Technologies))
series

Prof., D.Sc. V.A. Putilov (Editor-in-Chief),

D.Sc. (Eng.) A.G. Oleynik (Vice Editor-in-Chief),

D.Sc. (Phys. and Maths) A.P. Aphanasyev,

D.Sc.(Eng.) V.A. Masloboev

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region. 184209, Russia
Tel.(81555) 75350. 79595. Fax.:(81555) 76425
E-mail: admin@admksk apatity.ru <http://www.kolasc.net.ru>

Sequence “Information Technologies” presents results in researchers and developments concerning wide range of problems and tasks in design and practical application of information technologies and systems, as well as mathematical and computer modelling in various fields of activity. This issue includes the results which were received by IIMM KSC RAS researchers at 2011 year. A number of papers are carried out with the assistance of research workers and students of Kola branch Petrosavodsk state university (Informatics and applied mathematics department).

The collection is intended for experts in development and practical application of information systems and technologies in various fields of administrative and industrial activity, as well as for teachers and students of corresponding specialities at the higher educational establishments.

Contents

M.V. Malkov DEVELOPMENT OF THE TELECOMMUNICATION ENVIRONMENT IN THE ARCTIC	10
A.G. Oleynik, A.M. Fedorov PROBLEMS AND TASKS OF THE UNIFORM INFORMATION FIELD CREATION IN THE RUSSIAN FEDERATION ARCTIC ZONE	19
A.V. Masloboev, V.A. Putilov AN INTEGRATED INFORMATION AND ANALYTICAL ENVIRONMENT FOR REGIONAL DEVELOPMENT GLOBAL SAFETY MANAGEMENT SUPPORT: MODEL AND COGNITIVE IMPLEMENTATION TECHNOLOGIES	29
V.N. Bogatikov, A.G. Oleynik, A.E. Prorokov THEORETICAL APPROACH TO THE RELIABILITY ASSESSMENT FOR COMPLEX INFORMATION NETWORKS	56
A.V. Vicentiy THE UNIFORM INFORMATION FIELD MODEL DESIGN FOR OPERATIONAL RELIABILITY EVALUATION	65
I.N. Morozov, A.E. Prorokov, V.N. Bogatikov MANAGEMENT RELIABILITY OF INFORMATIVE SYSTEMS WITH A CRITERION STEADY RISK	71
I.E. Kirillov, A.E. Prorokov APPLICATION OF THE METHOD OF MERGE OF THE PURPOSES AND RESTRICTIONS TO THE DECISION OF THE PROBLEM OF DEFINITION OF AREA OF RELIABLE FUNCTIONING OF INFORMATION SYSTEMS	81
M.G. Shishaev, M.L. Kuimov MODELLING DYNAMIC SELFORGANISING MOBILE NETWORK WITH THE METRICS ON THE BASIS OF FREQUENCY OF NODES MEETINGS	90
S.S. Kovalev, M.G. Shishaev MODERN METHODS OF ANTI-SPAM PROTECTION	100
A.A. Zuenko SYNTHESIS OF METHODS OF LOGICAL-SEMANTIC ANALYSIS BASED ON LAWS OF CLASSICAL LOGIC	112
A.A. Zuenko, A.Ya. Fridman CONTROL OVER CONSTRAINTS IN CONCEPTUAL SIMULATION SYSTEMS: STOCK AND PROSPECTS	120
A.A. Zuenko, A. Ya. Fridman, B.A. Kulik INTELLIGENT DATABASES: SURVEY OF RESULTS OBTAINED WITHIN THE PROJECT 4.3 OF THE PROGRAMME № 15 OF THE CHAIR OF RAS	128
V.V. Bystrov, A.V. Gorokhov, S.N. Malygina, D.N. Khaliullina INFORMATION INFRASTRUCTURE SAFETY MANAGEMENT OF RUSSIAN ARCTIC REGIONS DEVELOPMENT	147
A.V. Gorokhov, M.V. Ivanova, S.N. Malygina THE SIMULATION MODEL DESIGN FOR ASSESSMENT OF THE REGIONAL DEVELOPMENT ECONOMIC RISKS (EXAMPLIFIED WITH THE MURMANSK REGION).....	151

A.S. Shemyakin, S. Yu. Yakovlev, A.A. Ryzhenko, D.E. Tihonov REGIONAL INDUSTRIAL COMPLEX GRAPHICAL COMPOUND 3D MODEL REALIZATION (FOR HIBINY MOUNTAINS REGION AS AN EXAMPLE)	156
A.Ya. Fridman, O.V. Fridman, B.V. Sokolov GRADIENT OPERATIVE CONTROL IN COMPLEX ORGANIZATIONAL TECHNICAL SYSTEMS (SURVEY OF THE RESULTS OBTAINED WITHIN THE RFBR PROJECT 09-07-00066-A).....	164
S.Yu. Yakovlev, N.V. Isakevitch CONCEPTION OF INFORMATION-ANALYTICAL SUPPORT FOR DEVELOPMENT SAFETY OF RUSSIA ARCTIC REGIONS INDUSTRIAL-NATURAL COMPLEXES	184
A.S. Nevedrov, A.G. Oleynik THE TASK FORMAL REPRESENTATION OF TOOLKITS INTEGRATION FOR ORE CONCENTRATION EFFECTIVE REGIMES SEARCHING.....	196
A.V. Vicentiy, E.V. Harionovskiy DATA ACCESS TECHNOLOGIES IN MODERN SCADA	203
A.G. Oleynik, L.P. Kovaleva The on-line forecasting scheme for industrial ore-dressing process.....	211
I.N. Morozov, A.E. Prorokov, I.E. Kirillov ALGORITHM OF THE ESTIMATION OF THE CURRENT CONDITION OF TECHNOLOGICAL PROCESS AT INDISTINCTLY EXPRESSED INITIAL INFORMATION	220
I.N. Morozov, A.E. Prorokov, V.N. Bogatkov MODERNIZATION AND MATHEMATICAL MODELLING OF SYSTEM OF REGULATION OF KNOT OF CATALYTIC CLEARING OF GASES OF THE UNIT OF MANUFACTURE OF NOT CONCENTRATED NITRIC ACID.....	225
N.Yu. Ryzhenko DANGEROUS PROCESSES ON OBJECTS OF HYDRAULIC STRUCTURES FOR EXAMPLE TAILING ANOF-2	234
S.Yu. Yakovlev, A.A. Ryzhenko INFORMATION TECHNOLOGY FOR FIRE SAFETY DECLARING OF REGIONAL INDUSTRIAL COMPLEX.....	244
V.V. Bystrov, Y.O. Samoilov THE COMPLEX OF AUXILIARY PROGRAMS OF THE QUALITY MANAGEMENT SUPPORT MULTIAGENT SYSTEM OF EDUCATION	254
I.E. Kirillov, I.N. Morozov, A.E. Prorokov APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO SOLVING THE PROBLEM OF APPLICANTS QUOTA ALLOCATIONS BETWEEN EDUCATIONAL INSTITUTIONS MURMANSK REGION.....	261
Z.V. Suvorova. TWO-LEVEL PROBLEM-ORIENTED PEER TO PEER NETWORKING	267

ВВЕДЕНИЕ

Поступательное развитие современного общества неразрывно связано с дальнейшим развитием информационных технологий и повышением эффективности их использования в различных сферах деятельности. Технологические достижения открывают новые возможности для применения информационных технологий, что, в свою очередь, порождает новые задачи в области создания и совершенствования методов и моделей обработки информации. Наряду с развитием теоретических основ организации информационных процессов, большое значение имеют и исследования в сфере практического использования компьютерного моделирования и информационных технологий при решении конкретных прикладных задач.

В рамках перспективной государственной политики Российской Федерации в Арктике планируется развитие на этой территории информационной инфраструктуры и систем связи. Единое информационное пространство, сформированное с учетом специфических особенностей Арктической зоны РФ, должно обеспечить системообразующую основу при подготовке, планировании и реализации мероприятий государственной политики в Арктике.

Исследования, проводимые до настоящего времени, не обеспечивают получение системной картины возможного влияния особенностей Арктической зоны на формирование и надежное функционирование здесь единой информационной среды. Среди множества задач, которые требуют решения, логично выделяются две большие группы. Первая группа - задачи, связанные с непосредственной разработкой новых или адаптацией существующих информационных технологий для развертывания в специфических условиях Арктики. Вторая группа – задачи, ориентированные на использование существующих и разрабатываемых информационных технологий в отношении объектов и процессов, функционирующих в специфических условиях Арктики. Особое внимание необходимо уделять созданию методов и средств информационно-аналитической поддержки безопасного развития Арктических территорий. При этом безопасность должна рассматриваться комплексно, с учетом системных эффектов, порождаемых региональными факторами различной природы – от геополитических, до социальных.

Перспективным подходом к решению указанных задач представляется развитие технологий интеграции разнородных информационных ресурсов и систем. Интеграция позволит максимально полно использовать имеющиеся потенциал и новые решения в рамках организации единого информационного пространства, повышение когнитивности средств информационно-аналитической поддержки управления развитием Арктической зоны РФ.

Настоящий сборник является вторым в серии «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН. Работы, включенные в настоящий сборник, представляют результаты исследований членов одной научной школы, сформировавшейся в Институте информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН. Ряд работ выполнен при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

УДК 654.16

М.В. Мальков

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СРЕДЫ В АРКТИКЕ

Аннотация

В обзоре рассмотрены основные проекты, направленные на развитие информационно-телекоммуникационной среды в Арктике. Особое внимание в статье уделено вопросам надежной связи в Арктической зоне РФ.

Ключевые слова:

Арктика, связь, проект, спутниковая система, информационные технологии.

M.V. Malkov

DEVELOPMENT OF THE TELECOMMUNICATION ENVIRONMENT IN THE ARCTIC

Abstract

This review is devoted to the main projects, which consider development of the telecommunication environment in the Arctic. Special attention is paid to possibilities of establishing reliable communications within the Arctic zone of Russia.

Keywords:

Arctic, connection, project, spacecraft system, information technologies.

Введение

В сентябре 2008 года Президент РФ утвердил документ «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу». В этом документе определяются главные цели, основные задачи, стратегические приоритеты и механизмы реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике, а также система мер стратегического планирования социально-экономического развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности России. Один из пунктов данного документа посвящен развитию информационно - телекоммуникационной среды в Арктике, а именно: в сфере информационных технологий и связи - формирование единого информационного пространства Российской Федерации в ее Арктической зоне с учетом природных особенностей. В частности, там указывается, что в сфере информационных технологий и связи необходимо:

- внедрить современные информационно-телекоммуникационные технологии и средства (в том числе подвижные) связи, телерадиовещания, управления движением судов и полетами авиации, дистанционного зондирования Земли, проведения площадных съемок ледового покрова, а также системы гидрометеорологического и гидрографического обеспечения и обеспечения научных экспедиционных исследований;

- создать надежную систему оказания навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг, обеспечивающую эффективный контроль хозяйственной, военной, экологической деятельности в

Арктике, а также прогнозирование и предупреждение чрезвычайных ситуаций, снижение ущерба в случае их возникновения, в том числе за счет применения глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и многоцелевой космической системы.

Основные меры по реализации государственной политики в сфере информационных технологий и связи в Арктической зоне РФ должны быть направлены на разработку и широкое использование новейших технологий, в том числе космических средств различного назначения и многопроцессорных универсальных территориально-распределенных сетей [26].

Безусловно, что одним из основных вопросов развития информационно - телекоммуникационной среды в Арктике является вопрос о надежной связи. В интересах преодоления транспортной недоступности арктические территории должны иметь самые современные высокоскоростные средства электронной коммуникации – лучшую в России оснащенность телекоммуникационными сетями, возможности высокоскоростного Интернет-трафика. Арктическая зона РФ должна быть прочно интегрирована в единое информационное пространство страны и мировое.

Проблемы связи в Арктике

Связь в Арктической зоне не очень надежна. В Арктике прохождение КВ-радиосигналов в высокоширотной зоне характеризуется большой нестабильностью. Во многих случаях такая связь практически невозможна. Нестабильность обусловлена воздействием «солнечного ветра» на авроральную зону (где магнитно-силовые линии геомагнитного поля имеют практически вертикальное положение) [25]. Также при мощной вспышке на Солнце, либо при прохождении активной области через центральный меридиан диска, на Землю извергается мощный поток корпускулярного излучения, что может явиться причиной магнитной бури, а затем и ионосферной бури, приводящей к резкому ухудшению, а порой, и полному прекращению прохождения связи на КВ диапазонах. В этом случае нарушение может быть в 40% случаев [21].

Радиосвязь на КВ обеспечивается преломлением (отражением) волны внутри какого-либо слоя ионосферы. Напомним, что ионосфера Земли представляет собой совокупность ионизированных слоев или областей (D, E, F и расположенных на расстоянии 60-400 км от поверхности Земли), возникших под влиянием солнечной радиации и плавно переходящих одна в другую. Ионосфера состоит из смеси газа нейтральных атомов и молекул (в основном азота N_2 и кислорода O_2) и квазинейтральной плазмы (число отрицательно заряженных частиц примерно равно числу положительно заряженных). Степень ионизации становится существенной уже на высоте 60 километров и неуклонно увеличивается с удалением от Земли.

В ночное время, когда отсутствует излучение Солнца, концентрация ионизированных частиц падает, что приводит к ослаблению преломляющих свойств ионосферы [20]. Это обстоятельство также может сказываться на распространении радиоволн.

В настоящее время системы связи не только не обеспечивают возможности навигации на всей территории Арктической зоны, но и не предоставляют гражданам возможности пользоваться современными

информационно - коммуникационными услугами в полном объеме. В то же время потенциальными потребителями услуг связи в Арктической зоне помимо населения являются федеральные и региональные органы исполнительной власти, силовые структуры, транспортные (в том числе судоходные и авиационные) компании и предприятия ТЭК [12].

Основные телекоммуникационные проекты

Основные задачи системы связи Арктики - это обеспечение надежной работы всех технологических систем отраслевых предприятий, силовых министерств и ведомств в рамках общей мультисервисной сети связанного холдинга с возможностью предоставления услуг:

- телефонной связи, включая обеспечение беспроводными телефонами;
- передачи данных для систем управления, мониторинга, видеонаблюдения за объектами, передачи данных для ситуационных и логистических центров;
- диспетчерской связи, электронной почты и факсимильных сообщений;
- доступа к информационным ресурсам и информационно-справочным службам.

Современная связь в Арктике должна быть реализована в цифровом формате. Основные требования к цифровой сети связи Арктики:

- создание цифровой полносвязной сети связи региона на базе собственных линий и готовых цифровых сетей различных операторов, наземных спутниковых терминалов и местных соединительных линий для включения всех объектов региона в общую сеть;
- формирование с помощью сети непрерывной транспортной среды с возможностью подключения любого объекта к общей цифровой сети и получения необходимых услуг в любой точке расположения объекта сети;
- создание пользовательского узла доступа на однотипном оборудовании, обеспечивающем подключение всех технологических подсистем, их работу и возможность соединения объектов внутри холдинга в соответствии с технологическими нуждами;
- обеспечение надежности и оперативности путем создания нескольких маршрутов соединений для каждого объекта, автоматической маршрутизации и коммутации, постоянного мониторинга состояния и работы сети.

В соответствии с Программой развития Арктической зоны РФ в период 2013-2017 гг. должно быть обеспечено создание единого информационного пространства. Технологической основой информационного пространства должны стать:

- единая телекоммуникационная сеть, обеспечивающая взаимодействие ведомственных телекоммуникационных сетей и АСУ единой телекоммуникационной сетью;
- АСУ единой системы контроля использования воздушного пространства и единой системы организации воздушного движения;
- АСУ единой системы контроля использования морского пространства;
- АСУ РЖД и морского (речного) транспорта;

- автоматизированная система управления войсками и средствами межведомственной, межвидовой и межродовой группировки войск;
- АСУ ГО и ЧС, МВД, ФСБ;
- АСУ предприятий горной, металлургической, лесной, нефтедобывающей промышленности, рыболовства, звероводства и т. п.

Важнейшим элементом перечисленных АСУ являются средства обнаружения и контроля наземной, воздушной, морской, метеорологической, радиационной, химической, биологической, сейсмической и другой обстановки.

Представители ряда ведомств [1] предлагают создать технологическую основу сети связи на базе модернизированной линии радиорелейно-тропосферной связи «Север» построенной на 46 тропосферных станциях УКВ-диапазона «Горизонт-М». Эта линия в 2000 году снята с эксплуатации как выработавшая свой ресурс основного оборудования. Задачи, которые решались этой системой, были переданы на систему спутниковой связи (ССС). Следует отметить, что тропосферные линии связи (ТЛС) являются одним из наиболее эффективных способов связи с морскими буровыми платформами, удаленными от материка островами, труднодоступными и малонаселенными районами, расположенными в высокоширотных областях, а также при организации линий связи в чрезвычайных условиях [15]. Опыт эксплуатации и развития системы спутниковой связи в Арктике показал, что темпы развития региона и потребности в информационном обслуживании развитием только ССС не удовлетворяются и экономически весьма дорогие, а по надежности еще и не всегда отвечают требованиям эксплуатации. Возврат в УКВ-диапазон должен произойти на модернизированном возрождении тропосферной системы связи «Горизонт-М». Основой модернизации является замена старого аналогового оборудования приемо-передатчиков и каналаобразования, на цифровое оборудование. При этом в эксплуатации остается оборудование антенных систем, которое является наиболее дорогостоящим и трудоемким по доставке на объекты и развертыванию. В то же время современное цифровое оборудование приемо-передающих трактов и цифрового каналаобразования построено на применении новых технологий, является малогабаритным и слаботочным. Оно позволяет обеспечить его размещение непосредственно на антенных опорах с дистанционным управлением и контролем. При таком подходе структура сети будет представлять основную магистраль от Мурманска до Владивостока вдоль Северного морского пути (СМП) с узлами выделения каналов (узлами доступа) на всех портовых объектах морских и речных побережьях Арктики. От основной магистрали вдоль побережья рек будут развернуты рокадные тропосферные линии, выходящие на основную кабельную (волоконно-оптическую) магистраль «Европа - Дальний Восток». Сопряжение модернизированной цифровой сети «Север-М» с системой спутниковой связи Северо-Восточного региона и сетью первичной связи сотовых операторов позволит промышленным объектам СМП, пунктам управления силовых министерств и административным органам на местах обеспечить полнодоступный информационный выход, как в пределах России, так и на международных операторов. На местах развертывания узловых и ретрансляционных станций предполагается развивать цифровые мультисервисные сети сотовой связи, дежурные сети радиодоступа в виде сетей транкинговой системы радиосвязи общего пользования в интересах мобильных

абонентов (кораблей на СМП, самолетов, различных экспедиций, бригад геологоразведки и т. д.) [1].

Для сопряжения модернизированной цифровой сети «Север-М» с системой спутниковой связи существует план запуска на высокоэллиптические орбиты двух спутников. Высокоэллиптические орбиты находятся на максимальном удалении от Северного полюса, что позволяет обеспечивать более качественную связь и получать со спутников на Землю более полную информацию из Арктики. Существующие спутники не обеспечивают эффективную связь в Арктике, поскольку спутниками на геостационарных орбитах арктические широты покрываются ненадёжно. Однако данный проект не входит в Федеральную космическую программу и пока находится в стадии формирования [2].

Существует также и иной план развития информационно - телекоммуникационной среды в Арктике. Роскосмос совместно с Росгидрометом, Минсвязи России, другими федеральными органами работает над реализацией принципиально новых проектов, направленных на достижение нового качества использования космических технологий в интересах развития экономики России, в частности Арктической зоны РФ. Этими организациями ведется разработка новейшей системы наблюдения и связи - многоцелевой космической системы (МКС) «Арктика». МКС «Арктика» разработана в подпрограмме «Освоение и использование Арктики» ФЦП «Мировой океан». Создание МКС «Арктика»:

- позволит комплексно решать задачи экономического развития, международного транспортного сообщения, обороны и контроля иных видов деятельности;
- обеспечит решение задач контроля чрезвычайных ситуаций, оценки ущерба и управления процессами ликвидации последствий;
- предоставит возможность создания развитой информационной инфраструктуры, что будет способствовать решению многочисленных задач обеспечения безопасной эксплуатации транспортной системы Арктики;
- создаст информационную основу для расширения углеводородной и минерально-сырьевой базы и контроля климатических процессов в Арктике;
- обеспечит прогресс в области прогноза погоды, что позволит странам Северного полушария Земли и мировому сообществу в целом лучше прогнозировать погодные и климатические аномалии, которые могут причинить значительный социально-экономический ущерб;
- создаст информационную основу для мониторинга экологической обстановки в Арктике;
- обеспечит передачу широкозонных дифференциальных данных систем ГЛОНАСС и GPS;
- обеспечит развитие спутникового радио-телевещания и предоставление полного спектра услуг связи в арктическом регионе гражданским организациям и населению;
- обеспечит президентскую и правительственную связь в арктической зоне;
- будет способствовать укреплению позиции Российской Федерации в решении сложных экономических и политических задач во взаимоотношениях с

другими государствами, имеющими территории или интересы в арктическом регионе [11].

В соответствии с данным проектом главными узлами инфраструктуры связи в Арктике будут системы ГЛОНАСС и МКС «Арктика». МКС «Арктика» состоит из трёх подсистем. Подсистема «Арктика М» предназначена для гидрометеорологического и климатического мониторинга, служебной и аварийной связи. «Арктика-М» состоит из орбитальной группировки двух космических аппаратов на высокоэллиптической орбите. Начало её испытаний запланировано на 2014 год, эксплуатация – на 2016 год. Подсистема «Арктика-Р» создаётся для радиолокационного мониторинга ледовой обстановки. Начало её испытаний состоится в 2015 году, эксплуатация – в 2018 году. Радиолокационный спутник «Арктика-Р» сможет отслеживать ледовую обстановку, что необходимо для проводки судов по Северному морскому пути и в устьях сибирских рек. Он также поможет в разведке нефти, газа и других полезных ископаемых. Наконец, два спутника связи «Арктика-МС» будут обеспечивать телефонную связь, телевизионную и радиопередачу в FM-диапазоне в арктическом регионе, в том числе для морских и воздушных судов [8]. «Арктика МС» – это спутниковая связь, вещание и навигация. Её коммерческий сегмент – «Арктика МС1» – разрабатывает ООО «Газпром – космические системы», «Арктика МС2» – это государственный сегмент. «Арктика МС2» - космическая подсистема правительственной связи, управления воздушным движением, ретрансляции навигационных сигналов. Все подсистемы имеют наземные комплексы управления, приема, обработки и распространения данных. Эксплуатация спутников будет способствовать динамичному социально-экономическому развитию северных территорий России и приполярных стран. Предпроектная разработка универсальной космической системы «Арктика» показала, что ее создание возможно в ближайшие четыре года. Система «Арктика» позволит нашей стране стать лидером в одном из важнейших направлений космической деятельности, поможет в освоении северных территорий и создании на них комфортных условий для проживания и работы [6]. Сегодня нет космических систем подобного рода. Кроме России только Канадское космическое агентство начинает работать над созданием аналогичной системы, основанной на принципах создания МКС «Арктика» [4].

По оценкам экспертов, в случае успешной реализации проекта, новшество позволит России занять лидирующие позиции в освоении Арктики и решить ряд задач по мониторингу Полярного круга. Проект «Арктика» получил поддержку от Всемирной Метеорологической Организации [9].

Кроме вышеуказанных, также разрабатывается международный проект «Поларнет». Это транснациональный телекоммуникационный проект, который преследует цель объединить три континента - Европу, Азию и Америку мощными морскими оптико-волоконными кабельными линиями связи по дну Арктических морей [3]. Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) - это вид системы передачи, при которой информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием «оптическое волокно». Технологии ВОЛС помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие

вопросы построения сетей. Следует отметить, что ВОЛС являются одним из самых перспективных направлений в области связи. Пропускные способности оптических каналов на порядки выше, чем у информационных линий на основе медного кабеля. Оптоволокно невосприимчиво к электромагнитным полям. Оптические сети способны передавать сигнал на большие расстояния и с меньшими потерями [22]. Широкая полоса пропускания обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей – 10¹⁴ Гц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду [23]. В настоящее время скорость передачи информации достигает 10 Гб/сек [24].

С 2000 года российская компания ЗАО «Поларнет Проект» проводит комплекс подготовительных работ по строительству данной глобальной сети [17]. В основном кабель будет прокладываться по морским путям. Магистральную линию планируется уложить вдоль территории России по дну Арктических морей. Протяженность российского участка трассы составляет около 6500 км [16]. Общая протяженность кабельной системы «Поларнет» составит около 18000 км [18].

На базе строящейся инфраструктуры создается уникальная глобальная сетевая платформа «Поларнет-Грид», которая даст массовому потребителю возможность пользоваться практически всем набором современных информационно-вычислительных и коммуникационных услуг с помощью универсальных клиентских устройств доступа [17].

Выше говорилось о возможном сопряжении модернизированной цифровой сети «Север-М» с сетью первичной связи сотовых операторов и создании общей сети связи. Некоторые представители сотовой связи уже ведут работу в Арктике по созданию первичной сети связи для предоставления гражданам возможности пользоваться современными информационно - коммуникационными услугами. Так, сотовый оператор ОАО «Мобильные ТелеСистемы»* (МТС), расширил зону покрытия сети в обеспечении связью арктической территории России. В 2010 году компания МТС обеспечила связью северные точки Дальнего Востока. Связь появилась в ряде поселков Чукотского АО и на севере Якутии. Воспользоваться услугами сети МТС теперь могут еще более десяти тысяч человек, проживающих на Крайнем Севере. Благодаря проведенным работам зона покрытия МТС на Чукотке увеличилась на 30% и в Якутии на 10%. Жителям арктических территорий России доступны звонки, отправка SMS и MMS-сообщений, мобильный Интернет. В некоторых населенных пунктах мобильная связь – единственная возможность для недорогой связи и выхода в Интернет. Компания МТС развивает сеть и в других северных районах России. Так, с начала 2010 года связью МТС были обеспечены поселки Магаданской области и Чукотский АО. Кроме того, МТС – единственный оператор, обеспечивающий сотовой связью поселки Таймырского АО. МТС также является единственным оператором связи, запустившим сети 3G в Таймырском АО еще в 2008 году.

* Сотовый оператор ОАО «Мобильные ТелеСистемы» (МТС) - крупнейший оператор мобильной связи в России и странах СНГ, консолидированная абонентская база компании составляет более 100 млн. абонентов [10].

Затраты на обеспечение связью арктических территорий и районов Крайнего Севера на 30% выше, чем регионов в средней полосе России. Сложности связаны с доставкой оборудования, отсутствием навигации в период с октября по май, организацией транспортной сети. Температура в Арктике может опускаться до -60°C , поэтому оборудование, устанавливаемое МТС в арктических регионах, способно бесперебойно работать даже при низких температурах. Самая северная точка, где работает сеть МТС, находится на Новой Земле [5,7].

Заключение

Основой телекоммуникационной связи в Арктике, по мнению правительства РФ, должна стать многоцелевая космическая система (МКС) «Арктика». Это не значит, что остальные проекты не будут реализованы. Подразумевается, что МКС «Арктика» будет реализовываться в первую очередь. Остальные проекты будут реализованы позже.

Литература

1. Направление развития информационно-телекоммуникационной среды Арктики.
- Режим доступа: <http://www.army.informost.ru/2010/sbornik/3-2.php>
2. Россия намерена запустить два спутника для обеспечения связи в Арктике. -
Режим доступа: <http://www.s1043.ru/newness.html?id=418>
3. Госполитика в Арктике: не мычим, не телимся.
- Режим доступа: http://www.innoedu.ru/analytics/?ELEMENT_ID=14759
4. Пресс-конференция о проекте многоцелевой космической системы «Арктика». - Режим доступа: <http://www.federalspace.ru/>
5. МТС обеспечивает сотовой связью Арктику.
- Режим доступа: <http://www.procontent.ru/news/18513.html>
6. Роскосмос: Реализации космического проекта «Арктика» ждут не только в России, но и в приполярных странах мира. - Режим доступа: <http://www.gisa.ru/42459.html>
7. МТС расширил зону покрытия до Арктики.
- Режим доступа: **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**
8. Россия будет наблюдать за Арктикой из космоса. - Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/13947/>
9. «Арктика» выйдет в космос. - Режим доступа: <http://vz.ru/society/2009/1/14/246386.html>
10. Сотовый оператор «Мобильные ТелеСистемы» (МТС) расширил зону покрытия сети и обеспечил связью арктическую территорию России. -
Режим доступа: <http://www.comnews.ru/index.cfm?id=58839>
11. Разработка системного проекта многоцелевой космической системы «Арктика» в части проведения научно-экономической оценки создания и эксплуатации МКС «Арктика». - Режим доступа: <http://www.imce.ru/Annotation2009/mks-ark0109.htm>

12. Для Арктической зоны создадут систему спутниковой связи. - Режим доступа: <http://www.rosinvest.com/news/288972/>
13. Радиолюбители смогут выходить на связь с экспедицией в Арктике! - Режим доступа: <http://news.cqham.ru/webnews/?id=806>
14. « Мобильные ТелеСистемы» сообщил о расширении зоны покрытия сети и обеспечении связью арктической территории России. - Режим доступа: <http://www.sotovik.ru/news/mts-v-arctike.html>
15. Второе пришествие ТСЛ. - Режим доступа: <http://www.connect.ru/article.asp?id=7172>
16. Три континента свяжет «Поларнет». - Режим доступа: <http://press.msco.ru/news/>
17. Проект «Поларнет-Грид». – Режим доступа: <http://www.polarnetproject.ru/ru/about.html>
18. Евразийский транзит. - Режим доступа: <http://viperson.ru/wind.php?ID=437559>
19. Прохождение на КВ диапазонах. - Режим доступа: <http://www.qrz.ru/solar/>
20. Особенности радиосвязи. - Режим доступа: <http://www.t-a.ru/stati/>
21. О КВ радиосвязи. - Режим доступа: <http://www.etc-com.ru/radio/HF-about/?dir=1>
22. Волоконно-оптические линии. – Режим доступа: <http://www.regionstplus.ru/>
23. Кабель волоконно оптический, линии связи. - Режим доступа: <http://optical-clip.ru/>
24. Волоконно-оптические сети передачи данных. - Режим доступа: <http://www.askud.ru/services/>
25. Прохождение сигнала по «высокоширотным трассам». - Режим доступа: <http://www.radioscanner.ru/forum/topic31995.html>
26. Россия озвучила основы своей политики в Арктике. - Режим доступа: <http://vpk.name/news/>

Сведения об авторе

Мальков Михаил Васильевич

к.ф.-м.н, научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: malkov@iimm.kolacs.net.ru

Michael V. Malkov

Ph.D. (Phys.&Math. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.9

А.Г. Олейник, А.М. Федоров

ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация

В работе дается краткий анализ особенностей формирования и обеспечения надежного функционирования единого информационного пространства в Арктической зоне Российской Федерации. Определены основные направления исследований и представлены некоторые результаты в области решения задач создания и развития целостной среды комплексной информационно-аналитической поддержки социально-экономического развития данных территорий.

Ключевые слова:

единое информационное пространство, информационно-аналитическая поддержка, региональное развитие.

A.G. Oleynik, A.M. Fedorov

PROBLEMS AND TASKS OF THE UNIFORM INFORMATION FIELD CREATION IN THE RUSSIAN FEDERATION ARCTIC ZONE

Abstract

A brief analysis of creation peculiarity and reliable functioning support of the Russian Federation Arctic zone uniform information field is presented in the article. The main direction of investigation is defined. Some results in the field of tasks solving of integrated environment creation and evolution for regional socio-economic development complex information and analytical support are described.

Keywords:

uniform information field, information and analytical support, regional development.

Введение

В проекте Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года [1] охарактеризована важная роль и место Арктической зоны в Российской Федерации. В данном документе указывается, что Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) «...выступает в качестве стратегической ресурсной базы Российской Федерации, обеспечивающей решение задач социально-экономического развития страны». Среди сильных сторон АЗРФ с точки зрения глобальной конкурентоспособности отмечены: богатство и разнообразие природно-ресурсной базы; сравнительно высокие качественные характеристики человеческого капитала; существенный промышленно-производственный потенциал, имеющиеся технологические заделы. Имеющиеся преимущества обеспечивают потенциально высокую инвестиционную привлекательность комплексных межотраслевых, межрегиональных и международных проектов в приарктических регионах. Однако реализации имеющихся потенциальных возможностей развития сдерживается целым комплексом присущих этим территориям особенностей, как природного, так и социально-экономического характера. Наряду с экстремальными природно-климатическими условиями жизнедеятельности, для регионов АЗРФ

характерны моноструктурный характер экономики, преобладание ведомственного подхода и довольно низкий уровень координации между субъектами экономической деятельности.

В тоже время, накопленные знания и имеющийся опыт жизнедеятельности в АЗРФ позволяют утверждать, что реализовать имеющийся потенциал этих уникальных территорий, обеспечить их устойчивое развитие можно только на основе системного подхода к преодолению имеющихся недостатков, междисциплинарного анализа подлежащих решению задач и выработке научно обоснованных комплексных механизмов их решения. В сфере науки и технологий целью государственной политики РФ в Арктике является [1] «обеспечение достаточного уровня фундаментальных и прикладных научных исследований по накоплению знаний и созданию современных научных и геоинформационных основ управления арктическими территориями, а также надежного функционирования систем жизнеобеспечения и производственной деятельности в природно-климатических условиях Арктики». В качестве основного инструмента, способного обеспечить интеграцию, структурированное хранение и целевое предоставление информации, необходимой для поддержки принятия решений в различных сферах деятельности, выступают информационные технологии. Поэтому формирование единого информационного пространства в АЗРФ с учетом ее природных особенностей также включено в перечень основных целей государственной политики в Арктике.

В данной статье обобщенно представлены результаты, полученные в 2011г. сотрудниками лаборатории региональных информационных систем ИИММ КНЦ РАН в рамках исследований по теме «Модели и технологии комплексного информационного обеспечения социально-экономического развития Арктических регионов Российской Федерации» (Регистрационный номер 01201153383). Ряд результатов более подробно рассматривается в других работах настоящего сборника.

Основные задачи исследования

Арктическая зона Российской Федерации является стратегическим районом, в котором сконцентрировано множество национальных интересов РФ, в т.ч. ресурсная база, транспортная инфраструктура, уникальная экологическая и особая социально-экономическая системы. Одной из главных целей государственной политики Российской Федерации в Арктике является развитие сферы информационных технологий и создание единого информационного пространства Арктических территорий, как обязательного компонента комплексной системы подготовки, планирования и реализации мероприятий государственной политики РФ в Арктике. При этом понятие «Единое информационное пространство» (ЕИП) до сих пор не получило своего строгого определения не смотря на достаточно широкое применение. Варианты интерпретации данного понятия рассмотрены, в частности, в [2]. В качестве «официальной» версии часто используется вариант, представленный в «Концепции формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов» [3], которая была разработана в 1995 году. В этом документе единое информационное пространство определяется как

«... совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей». В качестве главных компонентов ЕИП указываются:

- информационные ресурсы, содержащие данные, сведения и знания, зафиксированные на соответствующих носителях информации;
- организационные структуры, обеспечивающие функционирование и развитие единого информационного пространства, в частности, сбор, обработку, хранение, распространение, поиск и передачу информации;
- средства информационного взаимодействия граждан и организаций, обеспечивающие им доступ к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных технологий, включающие программно-технические средства и организационно-нормативные документы.

В этом же документе отмечается, что «... знания, хранящиеся в информационных банках данных, только тогда могут стать фактором прогрессивных социально-экономических качественных изменений, когда они найдут заинтересованного в них потребителя и будут ему доступны». Данный аспект является крайне важным с точки зрения эффективности использования ЕИП, ведь круг пользователей информационных ресурсов и спектр их информационных потребностей в настоящее время очень широк. В современных условиях ЕИП должно обеспечивать не только реализацию информационно-справочных функций, но и комплексную поддержку решения сложных аналитических задач, связанных с процессами управления социально-экономическими системами. В связи с этим, говоря об «информационных ресурсах» и их «использовании», следует иметь в виду не только хранимые данные и средства целевого доступа к ним, но программные комплексы, обеспечивающие анализ, моделирование и получение новых знаний. Развитие когнитивных информационных технологий информационно-аналитические инструменты, ориентированные на пользователей различного уровня – от исследователей до управленцев-практиков. Использование современных методов и технологий самоорганизации телекоммуникационных сетей и информационных ресурсов позволяет разработать механизмы автоматизированной настройки ЕИП на решение конкретных задач.

В рамках представляемой темы НИР под единым информационным пространством территории понимается целостная информационно-аналитическая среда, представляющая собой комплекс проблемно-ориентированных, взаимоувязанных и взаимодействующих информационных и аналитических ресурсов, а также технологической и организационной инфраструктуры их создания и использования. Среди задач, направленных на формирование ЕИП АЗРФ, логично выделяются две большие группы. Первая группа - задачи, связанные с непосредственной разработкой новых или адаптацией существующих информационных технологий для развертывания в специфических условиях Арктики. Вторая группа – задачи, ориентированные на использование существующих и разрабатываемых информационных технологий в отношении объектов и процессов, функционирующих в специфических условиях Арктики.

В 2011 году исследовательским коллективом решались следующие задачи:

- разработка моделей формирования и развития единого информационного пространства АЗРФ;
- разработка моделей надежности Единого информационного пространства Арктической зоны Российской Федерации
- создание методов и технологий распределенных информационных систем комплексного информационного обеспечения развития Российской Арктики
- развитие информационных технологий поддержки управления компонентами социально-экономической системы Арктической зоны РФ.

Разработка моделей надежности ЕИП Арктической зоны

Надежность функционирования информационно-коммуникационных систем (ИКС), как «транспортной» инфраструктуры ЕИП, является одним из важных факторов его эффективного использования при решении задач управления функционированием и развитием социально-экономических систем различного уровня. Под надежностью в работе понимается устойчивость инфокоммуникационной системы к внешним воздействиям и внутренним возмущениям, а также как гарантия получения имеющейся в системе информации в полном и неискаженном виде, только заданными адресатами и в удовлетворительные сроки. Особое значение надежность ИКС приобретает при управлении территориями, которые характеризуются экстремальными природно-климатическими условиями и очаговой хозяйственной деятельностью.

Разнородность региональных факторов, компонентов ИКС, на которые они оказывают влияние, и характеристик влияния существенно осложняют построение формальной модели оценки надежности ИКС в Арктической зоне РФ. Для разработки этой модели был проведен концептуальный анализ как особенностей Арктической зоны, влияющих на характеристики надежности ИКС, так и задач, для решения которых может быть использовано ЕИП. В результате анализа выделены четыре группы региональных факторов различной природы:

- геофизические (солнечный ветер, вертикальная компонента межпланетного магнитного поля, солнечная радиация);
- природно-климатические (температура, давление, влажность воздуха, скорость перемещения воздушных масс; фотопериодический режим);
- территориально-географические (географическое расположение, условия рельефа и др.);

Классификация задач проводилась с использованием нескольких критериев: массовость, проблемная ориентация, критичность ко времени, критичность по адекватности, локализация и др.. Необходимость использования нескольких критериев для одной задачи обусловлена тем, что в зависимости от веса того или иного приписанного ей критерия задача «предъявляет» различные требования к факторам надежности информационно-аналитической среды, обеспечивающей поддержку ее решения. Кроме этого, согласно используемой технологии концептуального моделирования [4], сложная задача может быть представлена некоторой композицией более простых задач. При этом оценка комплексных критериев сложной задачи будет производиться на основе соответствующих критериев ее подзадач.

Проведенный обзор литературных источников показал, что системного изучения влияния региональных фактов Арктической зоны на использование здесь ИКС не проводилось. Вместе с тем, известно, что приполярные территории характеризуются более существенными по сравнению с «низкими» широтами проявлениями солнечной активности, а обусловленные этой активностью геомагнитные возмущения влияют на распространение радиоволн и могут создавать серьезные помехи для радиосвязи. Это подтверждается данными о том, что в высоких широтах отмечается наибольшее число сбоев в работе технических систем [5] и, как следствие, информационного обеспечения. В Арктическом регионе, где радиосвязь, в отдельных ситуациях, является единственным средством коммуникации, помехи и сбои, вызываемые существенными колебаниями электромагнитного поля, могут привести к критическим последствиям. Учитывая «жесткие» условия жизнедеятельности на этих территориях нарушение нормальной работы информационной инфраструктуры может привести к резкому возрастанию рисков и в функционирующих здесь социально-экономических системах.

Наряду с технической компонентой надежности работы информационных систем, человеческий фактор также влияет на их надежность. От психофизиологического состояния персонала, работающего с компонентами ЕИП, во многом зависит адекватность выполняемых операций и, следовательно, надежность работы информационных систем. Исследования последних лет показали, что вариации геомагнитного поля, также как и интенсивность космических лучей, существенно модулируют психофизиологическое состояние человека [6]. Поэтому, для комплексной оценки степени надежности работы информационных систем необходимо учитывать также и состояние задействованного в их работе персонала, подверженность его психоэмоционального состояния воздействию геофизических агентов.

В рамках разработки моделей надежности ЕИП Арктической зоны РФ проведены исследования по адаптации методов оценки надежности технологических систем к задачам оценки надежности информационных систем..

В качестве перспективного подхода к количественной оценке исследуемого влияния определено использование аппарата нечеткой логики. Проведен анализ возможности адаптации разработанных ранее нечетких методов оценки надежности технологических процессов к задачам оценки надежности ИКС [7]. Предложен вариант формального описания структуры ЕИП и основанная на его использовании методика оценки надежности [8]. Разработан вариант построения моделей оценки надежности функционирования ИКС в условиях Арктики на основе интегрального показателя надежности и развития метода Марковских цепей [9].

Модели формирования и развития единого информационного пространства Арктической зоны РФ

В качестве одного из вариантов реализации единого информационного пространства АЗРФ предложено использовать Систему вэб-сервисов. Под Системой вэб-сервисов понимается специализированная информационно-аналитическая система, состоящая из взаимосвязанных программно-алгоритмических компонентов, доступ к которым осуществляется посредством интернет-технологий. Каждый вэб-

сервис представляет собою отдельную программную реализацию некоторой функции, программный и пользовательский интерфейс доступа к которой унифицирован, и потенциально доступен любому пользователю данной Системы. Рассматриваемая Система предполагает наличие двух пересекающихся множеств субъектов - поставщиков и пользователей вэб-сервисов (ресурсов).

К свойствам описанной структуры следует отнести открытость, интероперабельность и расширяемость. Это позволяет гибко использовать предлагаемую инфраструктуру как для решения имеющихся, так и для вновь возникающих задач. Другим важным свойством Системы является самоорганизация. Одним из направлений развития самоорганизации является расширения механизма поиска вэб-сервисов функцией автоматизированного подбора и построения последовательностей (цепочек) вэб-сервисов. Обращение к полученной таким образом последовательности позволит пользователю получать результаты, для формирования которых в Системе нет отдельного вэб-сервиса.

Формирование Системы вэб-сервисов осуществляется с учетом классификаций множества возможностей и потребностей субъектов предметной области. Такие классификации представляют собой иерархические конструкции, построенные на основе свойств субъектов информационного взаимодействия в рамках формируемого ЕИП. В данном случае характер субъектов логично следуют из целей и задач государственной политики в АЗРФ: стратегическая ресурсная база, экологическая обстановка, эффективное управление хозяйственной деятельностью, предупреждение чрезвычайных ситуаций и др. [1]. Субъекты информационного взаимодействия разделяются на физические и юридические лица, частные и государственные компании, имеющие прямое или косвенное отношение к реализации государственной политики в АЗРФ.

Завершена разработка технологии формирования и моделирования развития информационно-коммуникационной инфраструктуры территорий с неравномерной плотностью распределения зон экономической активности. Технология базируется на определенной процедуре предварительной классификации пользователей, информационно-коммуникационных ресурсов (ИКС) и провайдеров. Выделение групп пользователей ИКС основано на общности круга задач, обусловленных этими задачами информационных потребностей и требований к уровню предоставления информационных услуг. Распределение пользователей по группам зависит от особенностей социально-экономической системы территории. Особенности Арктической зоны РФ определяют необходимость соотнесения планов развития здесь информационно-коммуникационной инфраструктуры со стратегическими планами социально-экономического развития этих территорий. Выбор рациональных решений по развитию территориальных ИКС должен основываться на тщательном анализе соответствия характеристик создаваемых каналов передачи информации задачам, для решения которых данная информация будет использоваться [10].

Технология ориентирована на поддержку принятия решений по сбалансированному распределению средств при планировании развития региональной информационно-коммуникационной инфраструктуры как неотъемлемой составляющей формируемого единого информационного пространства Арктической зоны.

Общая схема применения разработанной технологии выглядит следующим образом:

- анализ текущего состояния в сфере использования и предоставления информационных услуг с целью выявления «узких» мест региональных ИКС, не позволяющих удовлетворить информационные потребности пользователей;
- проведение серии имитационных экспериментов с целью анализа возможных сценариев развития региональных ИКС, обеспечивающих улучшение характеристик выявленных «слабых» компонентов с учетом динамики социально-экономических параметров пользовательской среды;
- выработка рекомендаций по рациональному распределению средств, направляемых на улучшение информационного обеспечения региональных пользователей с учетом неравномерного распределения зон экономической активности.

Методы и технологии распределенных информационных систем

В области развития методов и технологий комплексной информационной поддержки развития Российской Арктики особое внимание уделялось вопросам интеграции разнородных ресурсов и систем. Интеграция позволяет обеспечить более полное использование имеющегося потенциала. Перспективным в этом направлении является построение распределенных информационных систем на базе одноранговых информационно-телекоммуникационных сетей с использованием преимущественно подвижных (мобильных) коммуникационных узлов. Это даст возможность формировать адаптивные компоненты единого информационного пространства в условиях большой неравномерно заселенной территории Арктики и с учетом разной ведомственной принадлежности интегрируемых ресурсов и систем

Технологии одноранговых («пиринговых») от англ. peer-to-peer) сетей позволяют формировать отказоустойчивые децентрализованные сети. Эти технологии уже нашли свое применение в таких областях как трансляция потокового мультимедиа, обмен файлами, распределённые вычисления и др. Однако, обладая высокой отказоустойчивостью, децентрализованные сети генерируют большой объём служебного трафика. Для снижения объемов служебного трафика в результате исследований предложена архитектура двухуровневой децентрализованной пиринговой сети, узлы которой могут быть классифицированы в определенные группы согласно тематике находящейся в узлах информации и среднего времени доступности узла [11].

Важной исследовательской задачей, направленной на потенциальное прикладное применение в контексте развития информационно-коммуникационной инфраструктуры территорий с неравномерной плотностью распределения зон экономической активности, является разработка технологии формирования и функционирования самоорганизующихся динамических сетей на базе мобильных устройств. Подобные сети позволяют решать задачи оперативного развертывания телекоммуникационных сетей на вновь осваиваемых территориях, не имеющих развитой телекоммуникационной инфраструктуры. В отчетный период в рамках создания подобной технологии были разработаны алгоритмы формирования и функционирования самоорганизующихся динамических сетей на базе мобильных устройств с использованием маршрутизации на основе статистики взаимной локализации узлов. Данные алгоритмы обеспечивают компромисс между

требованиями к открытости, масштабируемости, расширяемости сети и эффективностью маршрутизации в ее рамках потоков данных. Для исследования эффективности предложенных алгоритмов была разработана специализированная программная система, обеспечивающая имитационное моделирование процессов формирования и функционирования сети. С ее помощью получены качественные результаты относительно работоспособности и эффективности работы самоорганизующейся сети при различных условиях [12].

Развитие информационных технологий поддержки управления компонентами социально-экономической системы

В рамках темы исследования велись по двум направлениям, имеющим большое значение для обеспечения устойчивого развития Арктических территорий [13]. Первое направление связано с совершенствованием технологий анализа и моделирования производств по добыче и переработке природных ресурсов. Основной целью исследований по данному направлению является создание комплекса моделей и информационной технологии оперативного (в режиме реального времени) прогнозирования хода процессов обогащения минерального сырья и поддержки принятия решений по оперативному управлению этими процессами в производственных условиях. Инструменты поддержки принятия решений разрабатываются на основе интеграции в действующие на производствах системы сбора данных и осуществления оперативного диспетчерского управления (SCADA-системы) средств моделирования, обеспечивающих определение и анализ вариантов корректирующих управляющих воздействий при угрозах отклонения выходных характеристик процессов от заданных значений. Оперативная оценка необходимости корректировки хода процесса основана на априорной кластеризации пространств его входов и выходов с использованием имеющихся данных мониторинга [14, 15]. Модели, используемые для определения и выбора вариантов воздействия, могут быть реализованы как средствами полнофункциональных коммерческих сред для моделирования и расчетов научных и инженерных задач (CAE-систем), так и на основе интеграции разнородных свободно распространяемых программных инструментов [16]. Для последнего варианта предложено формальное описание задачи формирования спецификации среды моделирования в виде цепочки последовательно вызываемых инструментальных средств [17].

В области информационных технологий разработки и сопровождения программ развития человеческого капитала на Арктической территории РФ предложено использование онтологий, как инструмента, позволяющего учитывать семантику проблемной области при решении междисциплинарных задач. Разработаны исследовательские версии онтологии рынка труда и онтологии региональной системы профессионального образования. Логическая интеграция этих онтологий на основе разделяемого тезауруса обеспечивает качественно новый уровень решения задач кадрового обеспечения развития территорий [18]. Проведены предварительные исследования по применению технологий онтологического моделирования для решения задач анализа и согласования программ стратегического развития региональных социально-экономических систем.

Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. - Режим доступа: www.minregion.ru/upload/02_dtp/101001_str.doc
2. Сайт Паутина Мир Web: создание, использование, безопасность. –Режим доступа: <http://pautina34.ru/?p=192>
3. Концепции формирования и развития единого информационного пространства России и соответствующих государственных информационных ресурсов // Сайт Сибирского отделения РАН.
Режим доступа http://www.nsc.ru/win/laws/russ_kon.htm
4. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов и др. - М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
5. Ziegler J.F.: Terrestrial cosmic rays, IBM J.Res. Develop. - 1996. -№40.–pp.19-39.
6. Belisheva, N.K. Cooperative influence of geocosmical agents on human organism / N.K. Belisheva and others // In: Physics of Auroral Phenomena (eds. I.V. Golovchanskaya, N.V. Semenova). –Apatity, 2007. -pp.221-224.
7. Морозов, И.Н. Рискоустойчивое управление надежностью информационных систем / И.Н. Морозов, А.Е. Пророков, В.Н. Богатиков // Настоящий сборник. – С.71-80.
8. Вицентий, А.В. Разработка модели единого информационного пространства для оценки надежности его функционирования / А.В. Вицентий // Настоящий сборник. – С.65-70.
9. Богатиков, В.Н. Теоретический подход к оценке состояний надежности сложных информационных сетей / В.Н. Богатиков, А.Г. Олейник, А.Е. Пророков // Настоящий сборник. –С.56-64.
10. Датьев И.О., Федоров А.М. Моделирование региональных информационно-коммуникационных систем при реализации различных сценариев социально-экономического развития приарктических территорий. IV-я Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики», г. Апатиты, 29-31 марта 2011г. /Труды конференции. – Апатиты: КНЦ РАН, 2011.– С.38-44.
11. Суворова З.В. Двухуровневая организация проблемно-ориентированной одноранговой сети / З.В. Суворова //Настоящий сборник. – С.267-272.
12. Шишаев М.Г. Моделирование динамической самоорганизующейся мобильной с метрикой на базе частоты встречаемости узлов / М.Г. Шишаев, М.Л. Куимов // Настоящий сборник. –С.90-99.
13. Олейник А.Г. Проблемно-ориентированные информационные технологии поддержки устойчивого регионального развития/ А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева, А.С. Неведров / Проблемы природопользования, устойчивого развития и техногенной безопасности регионов // Материалы шестой междунар. научно-практической конф., г. Днепрпетровск, Украина, 08-11 ноября 2011 г. . - Днепрпетровск: Монолит 2011. - С.56-58.
14. Олейник А.Г. Схема оперативного прогнозирования производственных процессов обогащения руд / А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева // Настоящий сборник. – С.211-219.

15. Вицентий, А.В. Технологии доступа к данным в современных SCADA-системах / А.В. Вицентий, Е.В. Харионовский // Настоящий сборник. – С.203-210.
16. Неведров А.С. Об инструментальных средствах определения эффективных режимов обогащения минеральных руд / А.С. Неведров, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России. - 2011. -№5 (123). - С.35-38.
17. Неведров А.С. Формальное представление задачи интеграции инструментальных средств определения эффективных режимов обогащения минеральных руд / А.С. Неведров, А.Г. Олейник // Настоящий сборник. – С.196-202.
18. Олейник А.Г. Развитие средств информационного обеспечения решения задач подготовки кадров/ А.Г. Олейник, П.А. Ломов // Восьмая Всероссийская научно-практ. Интернет-конференция «Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России». Электронный ресурс, режим доступа:
<http://labourmarket.ru/conf8/viewtopic.php?f=0&t=231>

Сведения об авторах

Олейник Андрей Григорьевич

д.т.н., зам. директора. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik

Dr. of Sci (Tech.), Deputy director. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Федоров Андрей Михайлович

к.т.н., ученый секретарь. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: fedorov@iimm.kolasc.net.ru

Andrey M. Fedorov

Ph. D. (Tech. Sci.), Scientific secretary. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.89, 004.942, 338.24

А.В. Маслобоев, В.А. Путилов

**МОДЕЛЬ И КОГНИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ
ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ***

Аннотация

В работе представлены результаты исследований и разработок в области создания когнитивных моделей и информационных технологий для решения задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития. Разработана концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона. Предложены архитектура и технологии построения проблемно-ориентированных распределенных информационных систем поддержки управления глобальной безопасностью региона на базе одноранговых телекоммуникационных сетей и мультиагентного подхода.

Ключевые слова:

концептуальное моделирование, интегрированная информационная среда, информационно-аналитическая поддержка, управление, глобальная безопасность, региональное развитие, когнитивные информационные технологии, мультиагентный подход.

A.V. Maslboev, V.A. Putilov

**AN INTEGRATED INFORMATION AND ANALYTICAL ENVIRONMENT FOR
REGIONAL DEVELOPMENT GLOBAL SAFETY MANAGEMENT SUPPORT:
MODEL AND COGNITIVE IMPLEMENTATION TECHNOLOGIES**

Abstract

The paper considers research and working out results in the field of cognitive models and information technologies design used for information and analytical support problem solving of regional development global safety management. An agent-based integrated information environment conceptual model for global safety management support of the regional development has been designed. The architecture and implementation technologies of problem-oriented distributed information systems used for region global safety management support on the basis of peer-to-peer telecommunications networks and multi-agent approach have been proposed.

Keywords:

conceptual modeling, integrated information environment, information and analytical support, management, global security, regional development, cognitive information technologies, multi-agent approach.

* Работа выполнена при поддержке ОНИТ РАН (Программе фундаментальных исследований ОНИТ РАН "Информационные технологии и методы анализа сложных систем" - проект № 2.4. «Модели и методы управления развитием информационно-коммуникационной инфраструктуры проблемно-ориентированных региональных информационных систем»)

1. Введение

В статье представлены результаты исследований и разработок в области создания когнитивных моделей и информационных технологий для решения задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития, полученные в рамках выполнения комплекса научно-исследовательских работ по теме «Когнитивные информационные технологии для информационно-аналитической поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов Российской Федерации (на примере Мурманской области)» (гос. рег. № 01201151895) в 2011 году в соответствии с основными направлениями исследований Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН.

Работа посвящена проблемам исследования и обеспечения безопасности развития Арктических регионов РФ. Отдельное внимание в статье уделяется задачам создания методов и средств информационной поддержки управления безопасностью регионального развития и возможным подходам к их решению. Под информационной поддержкой в данном случае понимается разработка информационного, аналитического и методического обеспечения, необходимого для решения задач поддержки принятия решений и оперативной обработки информации в сфере управления региональной безопасностью и его внедрение в практическую деятельность организационных структур безопасности. В работе приводится постановка фундаментальных и прикладных задач в области управления безопасностью функционирования региона, а также обсуждаются проблемы, возникающие на пути их решения. Представлена концепция Центра исследований и обеспечения безопасности в Арктике (ЦИОБА), являющегося ядром комплексной системы управления безопасностью регионов Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ), его структура и состав, а также варианты реализации на территории Мурманской области. Вместе с тем, предлагается единая методологическая база для исследования и решения проблем управления безопасностью развития региона, основу которой составляют когнитивные информационные технологии и инструменты моделирования. В заключительных разделах статьи приводится описание разработанной концептуальной модели мультиагентной интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона, которая обеспечивает комплексное формальное представление знаний о структуре предметной области исследования. А также унифицированное представление решаемых задач и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки, рассматривается архитектура и технологии построения проблемно-ориентированных распределенных информационных систем поддержки управления глобальной безопасностью региона на базе одноранговых телекоммуникационных сетей и мультиагентного подхода, обеспечивающие возможность интеграции разнородных информационных ресурсов и систем в рамках единого информационного пространства региона с целью повышения эффективности согласованной деятельности организационных структур в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем.

2. Арктика - «кухня» глобального политического климата

АЗ РФ играет особую роль в национальной экономике и устойчивом развитии (УР) арктических и других северных регионов страны. Потенциалом экономического роста и УР являются значительные запасы углеводородов и едва ли не весь спектр минерального, в том числе стратегического сырья, обнаруженные в недрах Арктики, а также живые ресурсы арктических морей и северных рек. Арктику отличают выгодные транспортно-географические условия, так как здесь пролегают кратчайшие пути между Россией, США и другими развитыми странами. Арктика - это «Клондайк» минеральных, углеводородных и биоресурсов, именно поэтому она уже давно стала объектом конкуренции на международной арене.

Современное геополитическое, социально-экономическое положение Российской Федерации обуславливают ряд проблем внешнего и внутреннего характера, касающихся обеспечения безопасности в различных сферах и уровнях организации социума. Особую значимость эти проблемы приобретает для Арктических регионов, превращающихся в одну из основных баз будущего развития страны. Под безопасностью, в общем случае, понимаются состояние и тенденции развития защищенности жизненно важных интересов общества и его структур от внешних и внутренних угроз. На настоящем и последующих этапах развития общественных отношений глобальная безопасность (ГБ) выступает важнейшим фактором УР.

Новые вызовы и угрозы, в т.ч. межцивилизационные коллизии, международный терроризм, мировой финансово-экономический кризис, энергетическая и информационная безопасность, природогенные, техногенные и социогенные катастрофы, климатические катаклизмы, пандемии и т.д. остро поставили вопрос о необходимости обеспечения качественно новой парадигмы безопасности - *глобальной*. При этом проблематику международной безопасности, включая военно-политическую составляющую, ряд экспертов относит к традиционным форматам внешнеполитической деятельности.

Позицию России по данной проблеме предельно ясно сформулировал Президент РФ Д.А.Медведев в своем выступлении на международной конференции «Современное государство и глобальная безопасность» (Ярославль, 14 сентября 2009 г.): «Ответственность государств перед гражданами и друг перед другом, их эффективность в обеспечении общественной и *глобальной безопасности* - вот что нам необходимо» [2]. В итогах 2010 г. (24 декабря 2010 г.) Президент России подчеркнул: «Безопасность нами понимается не только как внутренняя ситуация, хотя это, безусловно, очень важно, но и как *глобальная безопасность*» [10].

Современное видение военно-политических аспектов проблемы, а также внешнеполитическую философскую базу, на которую опираются все российские усилия в сфере безопасности, дал Министр иностранных дел РФ С.В. Лавров: «...речь вовсе не идет о коренном сломе устоявшихся систем безопасности. Подразумевается лишь модернизация и укрепление их элементов, выработка в дополнение к ним новых, и главное - придание такому нормотворчеству общесистемного характера. Это позволило бы создать единую «правовую платформу» системы гарантий в военно-политической сфере, своего рода *матрицу глобальной безопасности*» [13].

С точки зрения мировой эколого-экономической системы, термин «УР» означает выбор стратегии, которая обеспечивает баланс между сохранением окружающей среды и экономическим развитием таким образом, чтобы, обеспечивая потребности настоящего поколения, не подрывать возможности будущим поколениям обеспечивать их собственные потребности [24]. Однако данное определение не может быть использовано в качестве глобальной цели при исследовании и моделировании всех социально-экономических систем, в силу того, что оно относится исключительно к мировой эколого-экономической системе, которая является существенно «замкнутой». Кроме того, такая трактовка понятия «УР», соответствующая данному классическому определению, основанному на принципе «не навреди», в современных условиях не может быть реализована, поскольку риски и угрозы безопасности развития (сохранения устойчивости) все равно остаются. Риски и угрозы устойчивости развития должны быть минимизированы и оправданы с точки зрения обеспечения ГБ развития. Необходимо, чтобы ГБ сохранялась на перспективу.

По мнению авторов настоящей работы, ГБ – это логическое продолжение теории УР, расширенное на более высокий уровень. ГБ – это новый шаг по критериям управления УР и основана на принципах УР. Понятие «глобальная безопасность развития» можно определить как комплексную систему мониторинга и противодействия основным внутренним (локальным) и внешним (глобальным) угрозам УР. К внутренним угрозам УР относятся, например, демографические проблемы (миграция), истощение запасов минеральных ресурсов, проблемы кадрового обеспечения и т.д., а к внешним – глобальное изменение климата, падение рынка (изменение инвестиционного климата) и др. Необходимым условием перехода региональной социально-экономической системы на модель устойчивого развития, позволяющую удовлетворять возрастающие потребности современного и будущих поколений на основе гармонизации экономической, социальной и экологической подсистем выступает ее ГБ, понимаемая как способность системы стабильно функционировать и развиваться в долгосрочной перспективе и быть способной противодействовать внутренним и внешним угрозам и рискам устойчивости ее развития.

АЗ РФ, включая морскую экономическую зону и континентальный шельф, превышает 30% территории страны и характеризуется экстремальными природно-климатическими условиями. В эту зону полностью или частично входят территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Таймырского (Долгано-Ненецкого) и Чукотского автономных округов. Специфическими особенностями АЗ РФ являются очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий, низкая плотность населения, удалённость от основных промышленных центров, высокая ресурсоёмкость и зависимость от других регионов России и зарубежных партнёров, низкая устойчивость экологических систем.

Арктическая циркумполярная зона - регион стратегического партнерства России с арктическими государствами, в том числе в рамках сотрудничества в межправительственном Арктическом совете, других международных организациях, деятельность которых направлена на защиту арктической

природной среды, содействие и обмен позитивным опытом в решении задач, связанных с ГБ и УР [33].

Россия ранее других государств приступила к широкомасштабному освоению и хозяйственному использованию Арктики, однако в современных условиях не в полной мере использует этот опыт и свои преимущества при формировании приоритетов международного сотрудничества и выработке своей национальной политики на принципах УР. В то же время, другие приарктические государства уже сформировали свои стратегические цели и приоритеты в Арктике и активно продвигают их на международном уровне (рис. 1).



Рис.1. Национальные интересы России в Арктике

3. Постановка задачи

«Мы должны надежно и на долгосрочную перспективу обеспечить национальные интересы России в Арктике... Наша задача – превратить Арктику в ресурсную базу России XXI века... Если мы сейчас не предпримем активные действия, упустим время, в последующем будет просто поздно – нас отсюда вытеснят».

Президент РФ Д.А. Медведев

Специфика безопасности развития региональной социально-экономической системы (в частности, Арктической зоны) состоит в том, что, с одной стороны, уровень безопасности региона существенно зависит от глобальных угроз, с другой стороны, возможные кризисы и чрезвычайные ситуации, обусловленные особенностями региона, способны привести к дестабилизации систем более высокого уровня – федерального, международного, мирового. Залогом эффективного функционирования системы региональной безопасности являются: во-первых, УР всех сфер жизни региона – социально-экономической, научно-технической, производственной и

экологической; во-вторых, стабильность системы регионального управления и контроля в указанных сферах; в-третьих, постоянный мониторинг и анализ существующих и возможных угроз безопасности региона; в четвёртых, обоснование и проведение предупредительных мероприятий в области обеспечения региональной безопасности.

Мурманская область - уникальный Арктический регион с точки зрения ее геополитического и геоэкономического положения, роли в обеспечении обороноспособности страны, запасов природных ресурсов. Мурманская область характеризуется наличием высокообразованного населения с уровнем профессионального образования выше среднего по стране, развитой системой подготовки кадров, значительным научно-исследовательским комплексом, ядром которого является Кольский научный центр Российской академии наук, тесно кооперирующийся в своих исследованиях с центральными академическими и ведомственными научно-исследовательскими организациями. Мурманская область - «форпост» России в Арктической зоне.

К основным видам безопасности Мурманской области относятся экономическая, техногенная, экологическая, социальная. По каждому направлению выделяются разнородные потенциально опасные объекты, процессы и параметры. Отметим особенности региона, важные для вопросов безопасности. Практически вся территория находится за полярным кругом в суровых природно-климатических условиях. Область расположена на пересечении международных морских торговых путей. Пограничное положение имеет военно-стратегическое и экономическое значение. Региональная система перегружена объектами оборонно-промышленного комплекса. Заметную роль играют внешние связи, как с субъектами Федерации, так и с иностранными партнерами. Регион сильнее, чем многие другие регионы РФ, зависит от внешних факторов. К ним относятся глобальные процессы (определяющие уровень цен на апатит, никель, алюминий, медь), снабжение продуктами питания (большая доля импорта), доставка топлива, финансовое обеспечение, пропускная способность транспортных магистралей. Область характеризуется исторически сложившимся небольшим числом развитых (регионообразующих) отраслей (минерально-сырьевая база - горнопромышленный комплекс, рыбопромысловая база, оборонно-промышленный комплекс, энергетика), наличием градообразующих предприятий.

Регионы, являясь компонентами единой политической и социально-экономической системы РФ, обладают собственной спецификой и относятся к классу больших и сложных динамических систем [24]. Поэтому проблематика управления безопасностью развития таких сложных объектов управления как региональные социально-экономические системы также во многом определяется их специфическими особенностями. Региональные особенности (в частности, Арктической зоны) в значительной степени влияют на возможность и эффективность применения существующих научно-методических и практических разработок в области исследования и решения проблем управления безопасностью регионального развития.

Развиваемая авторами работы теория управления ГБ регионального развития [1, 20], также как и концепция УР [8] базируется на системном подходе, т.е. рассматривает объект управления (страну, регион, город, конкретную отрасль и т.п.), как систему. Это, в свою очередь, обеспечивает

возможность использования современных достижений в сфере компьютерных технологий и методов моделирования для исследования функционирования региональных социально-экономических систем с целью разработки методов и средств поддержки управления безопасностью их развития. Применяемые в настоящее время решения в исследуемой проблемной области, основанные на использовании передовых информационных технологий, ориентированы на решение частных задач управления безопасностью развития отдельных региональных подсистем, носят бессистемный и локальный характер и не обеспечивают достижение комплексного эффекта при решении рассматриваемого класса задач.

Таким образом, существенно значимой, с точки зрения обеспечения безопасности и проектирования будущего развития нашей страны становится научная проблема, связанная с исследованием и разработкой научно-методических основ управления безопасностью социально-экономического развития регионов: постановка и решение фундаментальных и прикладных задач, направленных на обеспечение стабильного функционирования и развития региона как сложной социально-экономической системы в условиях быстро меняющейся внутренней и внешней среды.

На сегодняшний день когнитивный подход и реализующие его когнитивные технологии широко применяются для решения трудноформализуемых задач в различных предметных областях и обеспечивают возможность рационализации и формализации сложных объектов и процессов информатизации для получения новых знаний об исследуемых процессах и объектах в условиях неопределенности и неполноты информации, а также для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решения, экспертизы и коммуникации в сфере прогнозирования и стратегического планирования развития сложных динамических систем. Это обуславливает целесообразность применения когнитивных технологий для решения сформулированной научной проблемы

Предполагаемые новые решения поставленной задачи также основаны на когнитивном подходе, новизна которого для данного исследования заключается в интеграции современных научных концепций: методологии концептуального моделирования, технологии системно-динамического моделирования, технологий мультиагентных систем и методов математической теории безопасности. Что позволит получить качественно новые результаты в области создания систем информационно-аналитической поддержки функционирования и развития сложных динамических систем.

Основное направление исследований - разработка и развитие когнитивных информационных технологий и компьютерного моделирования для исследования и управления безопасностью функционирования сложных социально-экономических систем и процессов.

Конкретная фундаментальная задача в рамках проблемы, на решение которой направлены исследования – разработка когнитивных моделей и технологий реализации целостной распределенной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов РФ (на примере Мурманской области) с целью обеспечения эффективности согласованной деятельности организационных структур в области решения задач управления глобальной безопасностью функционирования региональных социально-экономических систем.

4. Единая методологическая база для решения задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью развития региона

Целью проводимых исследований является разработка и исследование когнитивных моделей, методов и технологий информационно-аналитической поддержки управления безопасностью регионального развития для повышения устойчивости региональной экономической системы и создания благоприятной среды (условий) для развития интеллектуального, инновационного, промышленного и социально-экономического потенциала региона.

Основными задачами в области управления безопасностью развития региональной социально-экономической системы являются:

1) создание единого информационного пространства, сформированного с учетом специфических особенностей Арктической зоны РФ и способного обеспечить системообразующую основу при подготовке, планировании и реализации мероприятий государственной политики в Арктике;

2) создание благоприятных условий для реализации концепции приемлемого риска, достижимого и оправданного (допустимого) с точки зрения социально-экономических и экологических факторов обеспечения безопасности развития;

3) информационно-аналитическая поддержка деятельности организационных структур в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем;

4) поэтапное формирование системы комплексной безопасности для защиты территорий, населения и критически важных для национальной безопасности объектов Арктической зоны РФ от угроз чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

5) информационное сопровождение функционирования специализированных когнитивных центров исследования и обеспечения безопасности в Арктике и др.

Для решения перечисленных задач необходимо как методическое, так и информационное обеспечение (рис. 2).



Рис.2. Методическое и информационное обеспечение для решения задач поддержки управления региональной безопасностью

Методическое обеспечение представляет собой совокупность как уже существующих, так и разрабатываемых в настоящее время методов и средств поддержки принятия решений, методов имитационного моделирования динамики развития и поведения социально-экономических систем, моделей и методов мониторинга и прогнозирования внутренних и внешних угроз безопасности развития, а также вариантов поведения региональной системы в кризисных состояниях, методов и средств автоматизации процессов поиска и обработки информации, методов и средств интеграции разнородных информационных ресурсов, моделей и методов анализа и оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в условиях ограничений по времени и неполноты информации, методов стратегического планирования и т.д.

Информационное обеспечение управления безопасностью регионального развития не ограничивается простым накоплением все больших и больших объемов информации о потенциально возможных чрезвычайных ситуациях и угрозах безопасности, а представляет собой комплекс инструментальных средств для создания имитационных моделей сложных процессов, протекающих в региональных социально-экономических системах различной степени сложности и масштаба. Совокупность информационных ресурсов и программных средств, используемых для мониторинга, анализа и прогнозирования регионального социально-экономического развития, а также программно-технических систем и комплексов программ информационно-аналитической поддержки деятельности организационных структур и их компонентов в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем.

В ходе исследований проведен анализ возможностей применения современных когнитивных информационных технологий (КИТ) и инструментов моделирования для создания многофункциональной, самоорганизующейся информационной инфраструктуры поддержки управления безопасностью регионального развития. Анализ достижений отечественных и зарубежных научных школ на треке исследования проблем глобальной безопасности и устойчивого развития показывает, что в них недооценивается стремительно растущий потенциал ИКТ, суперкомпьютеров и интеллектуальных информационно-аналитических систем нового поколения, включая обучаемые нейронные сети и КИТ. Существующие прикладные разработки в исследуемой проблемной области ориентированы на решение частных задач управления безопасностью развития отдельных региональных подсистем (экономика, наука, образование, экология и т.д.). Они носят бессистемный и локальный характер и не обеспечивают достижение комплексного эффекта при решении рассматриваемого класса задач по управлению глобальной безопасностью, и не учитывают возможность комплексного взаимодействия с другими решениями, что не позволяет говорить о развитии единого подхода к формированию интегрированной информационной среды поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития, способной повысить системность, скорость и качество разрабатываемых и реализуемых мероприятий, направленных на обеспечение устойчивого развития регионов Арктической зоны РФ.

На основе обзора и классификации существующих и перспективных подходов к решению задач информационно-аналитической поддержки

управления безопасностью регионального развития предложена единая методологическая база [17] для исследования и решения задач управления безопасностью развития социально-экономических систем регионального масштаба, полученная на основе интеграции методологии концептуального моделирования, технологии системно-динамического моделирования и мультиагентных технологий. Вместе с тем, предлагаемая общая методология решения задач управления глобальной безопасностью регионального развития может быть расширена и унифицирована за счет совместного использования элементов математической теории самоорганизации, методов анализа устойчивости нелинейных динамических систем, технологий управления сложными динамическими системами в условиях неопределенности, методов системного моделирования сложных неоднородных систем и т.д.

Для анализа проблем глобальной безопасности в последнее время также широко используются методологии *Форсайта* [3] и *интегрального макропрогнозирования* [12].

В настоящее время создано большое количество ресурсов и технологий, обеспечивающих информационно-аналитическую поддержку ряда задач в области управления глобальной и региональной безопасностью. Современные отечественные и зарубежные системы информационной поддержки управления глобальной безопасностью разрабатываются, как правило, под конкретные задачи. Большинство из них реализовано в виде узкоспециализированных диспетчерских информационных систем, информационно-прогностических центров и систем мониторинга социально-экономического развития, информационно-аналитических систем, систем кризисного реагирования и поддержки принятия решений, геоинформационных систем, систем пространственного позиционирования, а также веб-ресурсов (Интернет-порталов), предоставляющих средства информационного взаимодействия субъектов и организационных структур безопасности, а также обеспечивающих доступ к информационно-справочным ресурсам и нормативным документам на основе соответствующих информационных технологий.

Перечисленные типы систем, используемые на сегодняшний день для решения частных задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью, являются разнородными по своей технологической платформе, функциональному назначению и компонентному составу. Большинство из них имеют централизованную архитектуру, что обуславливает их "слабую" интегрируемость и невозможность совместного использования для комплексного решения задач управления и обеспечения экологической, экономической, социальной и техногенной безопасности развития систем регионального или федерального уровня. Реализации концепции приемлемого риска и своевременного предотвращения внутренних и внешних угроз безопасности на основе согласованного взаимодействий субъектов и организационных структур безопасности в независимости от их организационной и административной разнородности и территориальной распределенности.

Современные тенденции исследований в области создания и развития методов и средств интеграции разнородных информационных ресурсов и систем выводят задачу управления безопасностью интегрируемых систем на принципиально новый уровень, требующий развития концепции

интегрируемости и разработку специализированных решений для создания единых информационных сред поддержки проблемно-ориентированной деятельности с учетом открытости, разнородности, про-активности и распределенности интегрируемых в рамках них компонентов.

5. Концептуальная модель мультиагентной интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью региона

Существенным импульсом интенсификации отечественных исследований в рассматриваемой проблемной области во многом послужила разработка «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.» [23], а также принятие постановления Правительством РФ «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу» (от 18.09.2008 г., Пр.-1969). В данных документах декларируется, что одной из главных целей государственной политики РФ в Арктике с точки зрения обеспечения безопасности и укрепления национальных интересов является развитие сферы информационных технологий и связи. Единое информационное пространство (ЕИП), сформированное с учетом специфических особенностей АЗ РФ, способно обеспечить системообразующую основу при подготовке, планировании и реализации мероприятий государственной политики в Арктике.

Согласно работе [6], принципы построения ЕИП АЗ РФ должны предусматривать естественную интеграцию в развивающееся единое информационное пространство России, Европы и всего мира. Авторы работы [6] предлагают строить и развивать ЕИП на основе компонентов имеющейся региональной информационно-коммуникационной системы (ИКС). Под ИКС здесь понимается система взаимодействия пользователей, поставщиков информационно-коммуникационных услуг и информационных ресурсов [5].

В работах [11, 28], ЕИП представляет собой «совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей». Таким образом, можно сделать вывод, что единое информационное пространство состоит из следующих компонентов:

- 1) Информационные ресурсы, включающие данные, сведения и знания, зафиксированные на соответствующих носителях информации;
- 2) Организационные структуры, обеспечивающие функционирование и развитие единого информационного пространства;
- 3) Средства информационного взаимодействия граждан и организаций, обеспечивающие им доступ к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных технологий, включающие программно-технические средства и организационно-нормативные документы.

Последние два пункта образуют «информационную инфраструктуру».

ЕИП иногда отождествляют с интегрированной информационной средой [28, 32], которая рассматривается как комплекс проблемно-ориентированных, взаимоувязанных и взаимодействующих информационных подсистем.

Поэтапное формирование ЕИП региона предполагает в итоге создание открытой расширяемой многофункциональной информационно-аналитической среды (инфраструктуры безопасности), ориентированной на управление комплексной безопасностью развития региональной социально-экономической системы, наделенной потенциалом к саморазвитию и способностью адаптации к динамичному стохастическому характеру функционирования внешнего и внутреннего окружения региона.

В рамках проекта по созданию на территории Мурманской области специализированного Центра исследований и обеспечения безопасности в Арктике (ЦИОБА) актуальной представляется задача формирования сетевой информационной инфраструктуры безопасности региона для обеспечения согласованного взаимодействия организационных структур, на которые возложены функции управления безопасностью функционирования конкретных региональных подсистем и их компонентов. В качестве технологической платформы для практической реализации и развертывания такой инфраструктуры могут быть использованы современные технологии одноранговых распределенных информационных систем, интеллектуальные информационные технологии, в частности технология мультиагентных систем [34], а также Интернет-технологии и средства телекоммуникаций.

Общая структура ЦИОБА, представленная на рис. 3, включает три основных блока:

1) научно-образовательный комплекс (включает научно-исследовательские организации и образовательные учреждения, расположенные на территории Мурманской области);

2) комплекс обеспечения безопасности (включает организационные структуры, управляемые Советом безопасности РФ и ответственные за обеспечение различных видов безопасности функционирования региональных и федеральных подсистем);

3) инновационный комплекс (инновационные структуры в области модернизации отраслей экономики Арктики, когнитивные центры прогнозирования социально-экономического развития Арктики, центры охраны окружающей среды и УР).

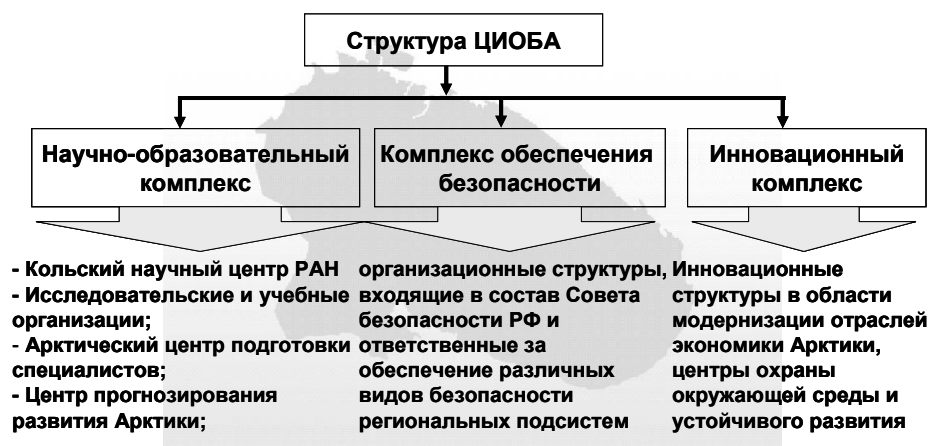


Рис.3. Структура ЦИОБА

Концепция ЦИОБА может быть реализована на основе технологии проектирования будущего [7], базирующейся на создании сети когнитивных центров. Основными задачами когнитивного центра являются моделирование и стратегическое прогнозирование, планирование, построение моделей согласованного взаимодействия субъектов управления для решения конкретных управленческих задач в различных областях, в том числе и в сфере информационной поддержки управления безопасностью развития регионов, как сложных социально-экономических систем.

В ходе исследований по рассматриваемой проблеме разработана агентно-ориентированная модель интегрированной информационной среды поддержки управления региональной безопасностью, обеспечивающая технологическую основу для решения задач информационной поддержки деятельности организационных структур в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем.

Предложена технология формирования сети виртуальных когнитивных центров в ЕИП региона, объединяющих в пределах независимых друг от друга агентных платформ (виртуальных площадок) виртуальных представителей субъектов безопасности (агентов) в организационные структуры с общими целями для совместного решения задач в области управления безопасностью функционирования региональных подсистем и их компонентов. Технология имеет мультиагентную реализацию и обеспечивает согласованное информационное взаимодействие разнородных виртуальных организационных структур в области обеспечения различных аспектов безопасности регионального развития в единой информационной среде.

Использование технологии мультиагентных систем на основе сервис-ориентированной архитектуры (SOA – service-oriented architecture) позволит создать адекватную среду информационно-аналитической поддержки управления безопасностью развития региона, учитывая распределенность, динамичность и структурную сложность образующих его подсистем. Основу сервис-ориентированного подхода составляет принцип агентной ориентации, который заключается в использовании в качестве компонентов распределенных информационных систем интеллектуальных агентов, автономно функционирующих и обладающих целенаправленным поведением. При таком подходе агенты реализуются в виде Web-сервисов. На интеллектуальных проактивных агентов могут быть возложены функции управления отдельными аспектами безопасности регионального развития, а на основе проблемно-ориентированных коалиционных взаимодействий агентов, возможно, будет обеспечено эффективное функционирование самоорганизующейся инфраструктуры безопасности региона и ее отдельных компонентов (рис. 4), а также поддержание приемлемого уровня безопасности развития на перспективу. Технологии разработки распределенных мультиагентных систем на основе SOA и преимущества использования Web-сервисов для реализации агентов представлены в работе [29].

Развитие подхода к интеграции концептуального моделирования, мультиагентных технологий и системно-динамического моделирования позволяет получить качественно новые решения в области создания систем информационно-аналитической поддержки функционирования и развития сложных динамических систем. Это обеспечило базис для нового решения в

области использования мультиагентных систем поддержки принятия решений – создание интеллектуальных агентов с имитационным аппаратом [16]. Возможность агентов прогнозировать на основе системно-динамического моделирования последствия своего поведения в виртуальной среде (едином информационном пространстве региона) с учетом возможных изменений среды и действий других агентов позволяет субъектам - «владельцам» агентов оперативно сформировать и сопоставить варианты своего поведения в реальном мире. Использование интеллектуальных агентов с имитационным аппаратом обеспечивает возможность целенаправленного управления безопасностью региональной социально-экономической системы, как в стабильных условиях, так и в критических ситуациях.

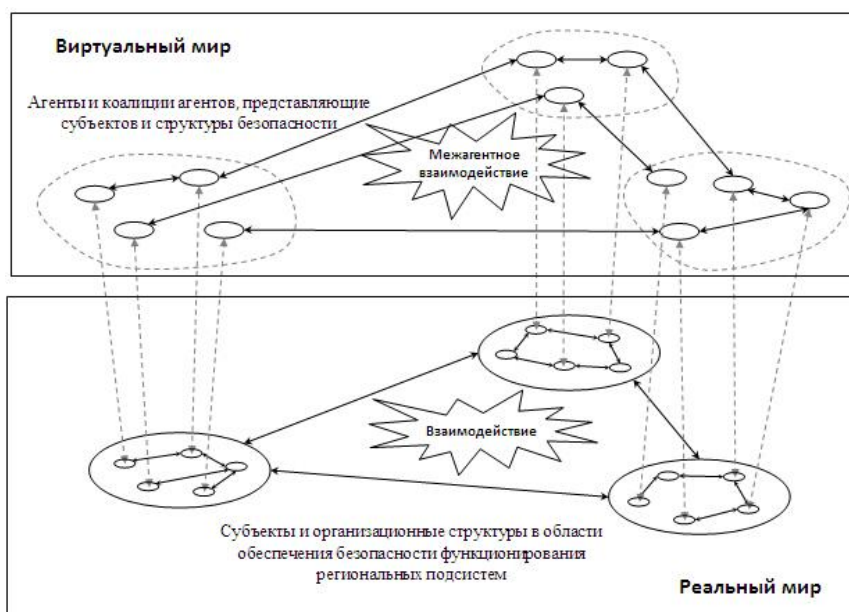


Рис.4. Представление субъектов в области обеспечения региональной безопасности про-активными интеллектуальными агентами

Одной из важных проблем, неизбежно возникающих при практической реализации агентно-ориентированной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью регионального развития, является согласование индивидуальных и групповых целей программных агентов, представляющих в виртуальной среде организационные структуры безопасности, при совместном решении задач в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем. Для решения данной задачи предложены механизмы согласования индивидуальных и групповых целей программных агентов в одноранговых мультиагентных информационных системах. Реализация разработанных механизмов позволила обеспечить автоматизированный проблемно-ориентированный поиск агентов «совместной деятельности», стремление к достижению собственной цели которых влечет приближение к групповой цели формируемой коалиции агентов при решении конкретной задачи в области обеспечения региональной безопасности. Для

формального описания процессов взаимодействия между агентами и процедур согласования индивидуальных и групповых целей использован математический аппарат теории нечетких множеств [19].

Одним из возможных подходов реализации информационной инфраструктуры безопасности региона (ИИБР) АЗ РФ является создание единой виртуальной среды, обеспечивающей возможности интеграции в рамках одной системы разнородных компонентов: баз данных и знаний, систем информационно-аналитической поддержки хозяйственной, экологической, научно-образовательной и инновационной деятельности, систем математического и ситуационного моделирования для комплексного исследования и прогнозирования угроз безопасности функционирования региональных подсистем, а также обеспечивающей платформу для функционирования мобильных программных агентов, представляющих интересы реальных субъектов и организационных структур обеспечения безопасности. Архитектура и состав ИИБР на основе технологий одноранговых мультиагентных распределенных информационных систем представлены на рис. 5.

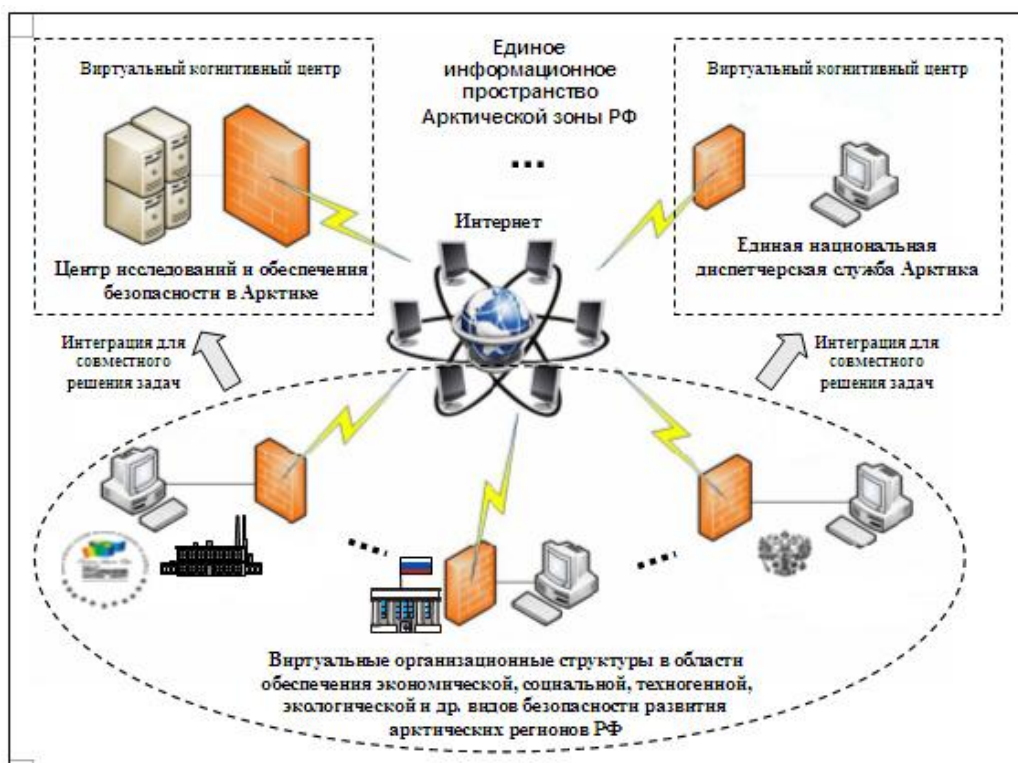


Рис.5. Структура и состав ИИБР АЗ РФ

В условиях распределенности и открытости информационной среды безопасности особую важность приобретает задача обеспечения единого структурного представления такой среды. Эту задачу позволяет решить технология концептуального моделирования [9]. Технология обеспечит комплексное формальное представление знаний о структуре предметной

области исследования, а также представление решаемых задач и исполнительской среды информационно-аналитической поддержки.

Для структуризации, формализации и обеспечения возможностей гибкого многократного использования экспертных знаний в распределенных информационных средах широко применяются онтологии [4, 14]. Разработанная концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью региона [18] реализует основные функции онтологии региональной безопасности. Онтология задает интеллектуальность агента - чем точнее составлена онтология, чем более корректно обозначены связи, тем полнее агент представляет предметную область, для которой он существует. Концептуальная модель реализуется в виде базы знаний древовидной структуры, образующей интеллектуальную подсистему гибридной InteRRap-архитектуры когнитивных программных агентов субъектов безопасности. Кроме этого, концептуальная модель обладает когнитивными свойствами и обеспечивает возможность корректного представления альтернативных вариантов декомпозиции сложных систем и комплексных задач [22], а также определяет цели и правила взаимодействия агентов и отношения между ними.

Формально агентно-ориентированная модель интегрированной информационной среды поддержки управления региональной безопасностью [18] задается в виде теоретико-множественных отношений и определяет состав и взаимосвязи основных компонентов региональной инфраструктуры безопасности. Модель представляется в виде композиции множеств:

$$E_{ИИБР} = \{S, R, SS, CS, A, Z, P, U, I, Attr\}.$$

Основными элементами, образующими ее состав, являются: S - множество субъектов обеспечения безопасности; R - множество информационных ресурсов; SS - множество организационных структур (территориально-распределенных групп субъектов безопасности, объединенных общей целью), ответственных за обеспечение безопасности функционирования региональных подсистем и их компонентов; A - множество когнитивных агентов субъектов обеспечения безопасности, представляющих интересы своих хозяев в распределенной мультиагентной виртуальной среде поддержки управления безопасностью; Z - множество задач в области обеспечения определенных видов безопасности регионального развития; CS - множество виртуальных когнитивных центров управления безопасностью функционирования конкретных региональных подсистем, объединяющих агентов с общими целями и областями интересов, ориентированных на групповое решение задач управления безопасностью; P - множество процессов взаимодействия субъектов обеспечения безопасности при решении различных классов задач управления региональной безопасностью; U - множество серверных и клиентских узлов системы, на которых функционируют когнитивные программные агенты; I - отношения на множествах объектов модели; $Attr$ - множество атрибутов объектов модели.

В модели явно представлены когнитивные программные агенты субъектов региональной безопасности как специальный тип объектов. Агенты обеспечивают имитацию деятельности субъектов безопасности в интегрированной информационной среде поддержки управления безопасностью, реализуют поиск потенциальных субъектов совместной деятельности и участвуют в формировании виртуальных организационных структур

безопасности для решения комплекса задач управления безопасностью конкретных региональных подсистем. Отношения, представленные в модели, обеспечивают формализацию взаимосвязей и взаимодействия компонентов реальной социально-экономической среды и инфраструктуры безопасности региона. Отношения принадлежности связывают когнитивных программных агентов с субъектами региональной безопасности.

Множества взаимосвязанных субъектов, задействованных в решении конкретной задачи в области обеспечения региональной безопасности, образуют проблемно-ориентированные организационные структуры безопасности. В терминах концептуальной модели они представляют собой связанные фрагменты, включающие объекты модели, удовлетворяющие определенным условиям. Объекты концептуальной модели, представляющие субъектов безопасности, образуют иерархию, что позволяет учитывать организационную подчиненность субъектов, ответственных за обеспечение определенных видов безопасности (социальной, экономической, техногенной и др.), при формировании организационных структур безопасности.

На множествах объектов модели заданы отношения, определяющие ее структуру и обеспечивающие возможность автоматизированного логического вывода в терминах концептуальной модели, в частности – возможность формирования допустимых организационных структур безопасности.

$$I = \{SZ, SA, ZP, PA, SSS, UCS, ACS, IN, OUT, H\},$$

где $SZ \subseteq S \times Z$ - отношение принадлежности конкретной задачи в области обеспечения определенного вида безопасности развития региона ответственному субъекту безопасности;

$SA \subseteq S \times A$ - симметричное отношение «наличия» у каждого субъекту бизнеса своего виртуального представителя - когнитивного агента;

$ZP \subseteq Z \times P$ - симметричное отношение «задача – процесс взаимодействия», ассоциирующее задачу с соответствующим ей процессом взаимодействия субъектов безопасности для ее решения;

$PA \subseteq P \times A$ - симметричное отношение «процесс взаимодействия – когнитивный агент», ассоциирующее процесс взаимодействия субъектов безопасности с представляющими их в единой виртуальной среде поддержки управления безопасностью когнитивными программными агентами;

$SSP \subseteq SS \times P$ - отношение, задающее соответствующий организационной структуре безопасности процесс взаимодействия образующих ее субъектов для решения конкретной задачи обеспечения безопасности;

$UCS \subseteq U \times CS$ - отношение «существования» на каждом серверном/клиентском узле системы виртуальных когнитивных центров управления безопасностью функционирования отдельных региональных подсистем;

$ACS \subseteq A \times CS$ - отношение «включения» в каждый виртуальный когнитивный центр агентов «совместной деятельности» с общими целями и областями интересов;

$IN \subseteq P \times B(R)$ - отношение «процесс – множество входных ресурсов»;

$OUT \subseteq P \times B(R)$ - отношение «процесс – множество выходных ресурсов»;

Знак " \times " означает декартово произведение.

H - иерархия объектов модели, отражающая их организационные взаимоотношения. Отношение иерархии H определено на множествах S и P . На множестве S отношение H задает иерархии организационной подчиненности субъектов безопасности. На множестве P это отношение задает иерархию «процесс - подпроцесс - функция».

Множество атрибутов объектов модели описывается следующим образом:

$$Attr = \langle T_A, T_R, T_O, F \rangle,$$

где T_A - множество типов агентов (web-сервисов); T_R - множество типов информационных ресурсов; $T_O = \{ 'on-line', 'off-line' \}$ - множество типов (режимов) доступа к информационным ресурсам; F - множество функций агентов.

Таким образом, концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления региональной безопасностью выполняет две основные функции: во-первых, является средством структуризации и формализованного представления знаний о предметной области. Во-вторых, за счет формального задания отношений на множествах объектов модели, обеспечивает возможность автоматического логического вывода в процедурах формирования виртуальных когнитивных центров и организационных структур, объединяющих агентов субъектов безопасности, ориентированных на решение конкретных задач в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем.

Модель является также основой для представления структуры и алгоритмов работы разрабатываемой распределенной мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки управления безопасностью регионального развития, ее функциональных возможностей и составляющих программных модулей. Формализация представления интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью регионального развития в концептуальной модели обеспечивает возможность автоматизированного анализа структуры и свойств предметной области, а также формирования в терминах концептуальной модели процедур оценки потенциальных рисков возникновения внутренних и внешних угроз безопасности развития региона, унифицированного описания алгоритмов функционирования когнитивных программных агентов, спецификаций исполнительской среды для реализации моделирования имитации ГБ регионального развития.

Концептуальная модель ИИБР включает в себя иерархическую древовидную структуру – дерево целей, которое отражает процесс декомпозиции главной цели «Обеспечение ГБ» на подцели, такие например как «обеспечение экономического потенциала региона», «обеспечение кадрового потенциала», «обеспечение научно-инновационного потенциала» и т.д. Из построенной концептуальной модели следует система показателей безопасности – набор определенных параметров для каждой области ГБ, которые используются в качестве входных параметров соответствующих имитационных моделей. Основное назначение имитационной модели сделать прогноз показателя безопасности при заданных параметрах и ограничениях. В предлагаемом авторами работы [1] подходе имитационные модели реализуются с помощью агентной технологии и системной динамики. Системно-

динамические модели используются для приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике показателей безопасности, а агентные модели - для более точных количественных оценок этих показателей.

Следует также отметить, большой потенциал в применении к задаче управления безопасностью регионального развития имеют метод и технологии системной динамики с точки зрения моделирования сложных процессов в социально-экономических системах, характеризующихся сложностью, новизной ситуаций, слабой формализованностью. Таким образом, следующим этапом исследований является разработка базовой системно-динамической модели управления безопасностью развития региона на основе предложенной концептуальной модели. Переход от концептуальной модели к модели системной динамики может быть реализован на основе разработанного ранее в ИИММ КНЦ РАН метода концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [24], обеспечивающего синтез моделей системной динамики из соответствующих концептуальных моделей.

Первым шагом на пути создания единого информационного пространства Арктической зоны РФ и интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития входящих в ее состав регионов может рассматриваться разработка специализированного веб-ресурса - Арктического Интернет-портала www.ru-arctic.net, реализующего основные принципы и концепцию ЦИОБА. В технологическую основу портала могут быть заложены существующие и разрабатываемые информационные технологии распределенной обработки данных и управления, методы интеллектуального анализа информации и инструменты моделирования, образующие в комплексе средств информационно-аналитической поддержки управления комплексной безопасностью развития Арктических регионов.

6. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью региона

В ходе выполнения совместных исследований по теме научно-исследовательских работ «Модели и технологии комплексного информационного обеспечения социально-экономического развития Арктических регионов Российской Федерации» (гос. рег. № 01201153383) предложены архитектура и технологии формирования целостной информационной среды (агентной платформы) поддержки управления безопасностью развития региона на базе одноранговых телекоммуникационных сетей, сервисно-ориентированного и мультиагентного подходов [15, 31].

При выборе архитектуры построения открытой расширяемой информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью региона принимались во внимание следующие основные факторы, определяющие специфику требований к ее функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам:

- территориальная распределенность и организационная разнородность субъектов безопасности;
- симметричность информационных взаимодействий субъектов безопасности;

– существование большого количества разнородных проблемно-ориентированных распределенных информационных систем (РИС) поддержки управления различными видами безопасности регионального развития (унаследованных систем).

Территориальная распределенность субъектов безопасности естественным образом заставляет использовать при построении целостной информационной среды поддержки управления безопасностью региона распределенную архитектуру. Субъект безопасности должен иметь возможность с собственного рабочего места получать доступ ко всем (или, по крайней мере, большей части) функциям распределенной информационной среды, т.е. в информационной системе должен быть реализован распределенный доступ к информационно-вычислительным ресурсам. Наиболее распространенной архитектурой, реализующей распределенный доступ, является архитектура с централизованным (выделенным) сервером.

«Транскорпоративный» характер современных РИС увеличивает требования к модульности построения системы и максимально возможной независимости ее компонентов. Эти требования нашли отражение в современной тенденции к использованию слабосвязанных (*loosely-coupled*) архитектур РИС [25]. Поскольку деятельность субъектов и организационных структур безопасности характеризуется территориальной распределенностью и организационной разнородностью субъектов, слабосвязанные, в частности – сервис-ориентированные архитектуры, являются эффективным способом реализации соответствующих проблемно-ориентированных распределенных систем информационной поддержки.

Важным аспектом, который необходимо учитывать при выборе архитектуры реализации информационной среды поддержки управления безопасностью, является симметричность информационных функций и продолжительный характер информационной активности субъектов безопасности. Функции компонентов системы симметричны, если они выступают как в роли серверов, так и в роли клиентов. Подобную симметричную функциональность обеспечивают одноранговые или пиринговые (от англ. *peer-to-peer*, P2P) РИС. В отличие от архитектур с выделенным сервером, логика функционирования всех узлов одноранговой системы (пиров) одинакова, а информационно-вычислительные ресурсы (в том числе – системная информация), напротив, распределены. Отличительными особенностями пиринговых систем, согласно [27], являются: отсутствие централизованной координации узлов, отсутствие централизованных баз управляющей информации, все имеющиеся в системе данные и службы доступны любому узлу. Перечисленные особенности делают одноранговые системы максимально открытой, легко масштабируемой и наращиваемой архитектурой РИС. Таким образом, одноранговая архитектура обеспечивает высокие эксплуатационные показатели функционирования РИС и соответствует симметричному характеру информационного взаимодействия субъектов безопасности.

Обеспечение симметричного и продолжительного во времени информационного взаимодействия между субъектами безопасности может быть достигнуто на основе реализации агентной модели организации информационной среды [30]. Симметричная функциональность агентов создает предпосылки для более эффективного формирования возможных виртуальных

организационных структур для решения конкретных задач управления безопасностью, а их реактивность, про-активность и автономность делает распределенную среду «живой», активно функционирующей при минимальном участии пользователя. Таким образом, мультиагентный подход является адекватным средством создания открытой расширяемой саморазвивающейся информационной среды поддержки управления безопасностью.

Обобщенная архитектура интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью региона представлена на рис. 6.

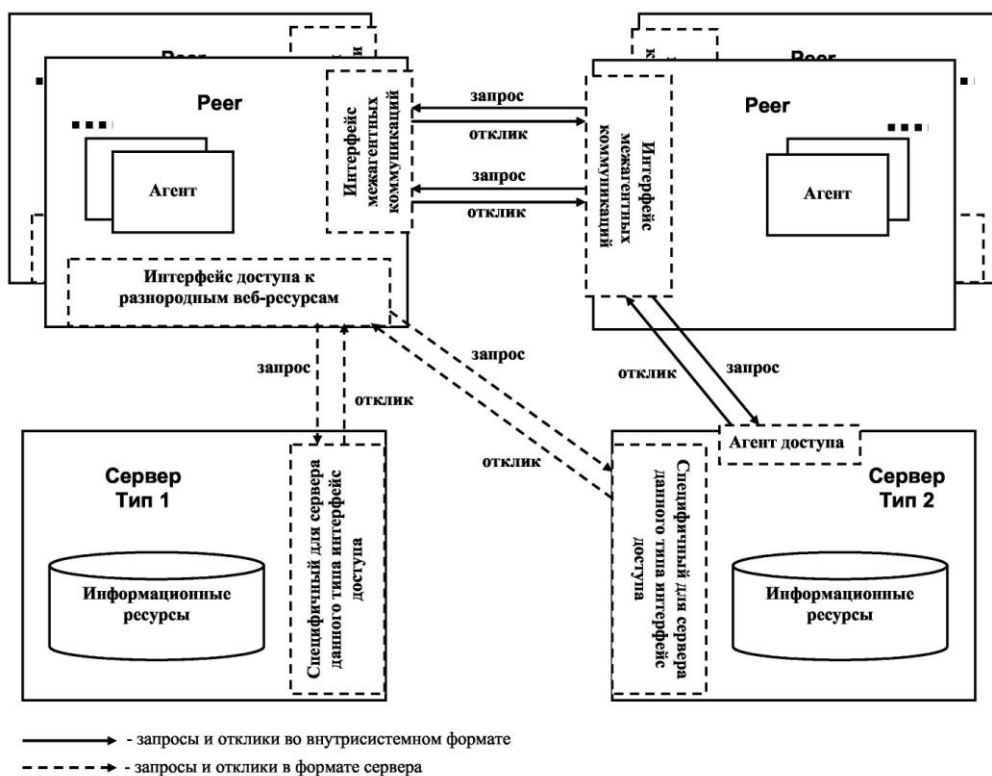


Рис.6. Обобщенная архитектура интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью региона на базе агентных и P2P-технологий

Основная функциональность системы реализуется узлами одноранговой сети (на рис. 6. – Peer), выполняющими также роль агентной платформы. Взаимодействие между агентами, дислоцирующимися на пирах, симметрично: каждый из них может быть как источником информационного запроса, так и играть роль сервера, обслуживающего запрос со стороны другого агента.

Серверы 1-го и 2-го типов представляют в составе единой информационной среды существующие системы информационной поддержки управления безопасностью. К первому типу относятся системы, не допускающие инсталляции на стороне сервера дополнительных программных модулей, реализующих агентов доступа к серверным данным. Для работы с серверами такого типа используются обычные механизмы и протоколы

передачи запросов и получения результатов их обработки, например – протокол HTTP. Согласование общесистемных форматов запросов и откликов, а также используемых схем данных осуществляется на стороне пира в рамках интерфейса доступа к разнородным веб-ресурсам. Такой подход к интеграции унаследованных систем, очевидно, наиболее гибок, однако сопряжен с потенциально большей нагрузкой на коммуникационную сеть, так как исключает возможность предварительной обработки извлеченных данных на стороне сервера и отправки, в рамках отклика, более компактного результата. Второй тип сервера, напротив, допускает установку программного обеспечения агента доступа, осуществляющего все необходимые преобразования форматов данных и используемых схем локально, на стороне сервера, и взаимодействующего с другими агентами с использованием общесистемных коммуникационных протоколов и форматов данных. Для согласования разных технологий хранения и представления данных на стороне информационных серверов предлагается использовать программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных.

7. Информационная революция и глобальная безопасность

В последнее время наша планета охвачена беспрецедентной информационной революцией, которая, по мнению многих экспертов, стала локомотивом и нервом глобализации [26]. Наряду с несомненным позитивом ее феномен несет в себе принципиально новые глобальные вызовы и угрозы. Действительно, казавшиеся незыблемыми понятия меняются: по-новому воспринимаются вопросы обеспечения государственного суверенитета и национальной безопасности, поскольку в условиях информационного общества границы государства становятся технологически проницаемыми.

В силу этого в условиях глобализации значительно повысилась роль внешней составляющей национальной безопасности, новых вызовов и угроз, к числу которых относятся риски, связанные со стремительным развитием ИКТ и их радикальным воздействием на все стороны общественной жизни, усилением значимости информационных ресурсов в политике, экономике, конкурентной борьбе. ИКТ становятся важнейшим фактором обеспечения стратегических интересов страны на международной арене. Отсюда - тесная взаимосвязь информационной и иных составляющих глобальной безопасности (рис. 7) не только России и ее отдельных регионов, но и всех стран.

Как подчеркнул на заседании Петербургского международного экономического форума 18 июня 2010 г. Президент России Д.Л.Медведев, развитие ИКТ - одно из приоритетных направлений модернизации экономики России и перевода ее на инновационное развитие. Данный фактор значительно актуализирует проблематику обеспечения информационной безопасности для национальных интересов в контексте глобальной безопасности.

Обеспечение информационной безопасности является важной проблемой, которую необходимо решать при разработке мультиагентных информационных систем, ориентированных на использование в различных областях, в том числе и для решения поставленных в настоящей работе задач, связанных с информационно-аналитической поддержкой управления глобальной

безопасностью развития региональных социально-экономических систем на основе когнитивных информационных технологий.

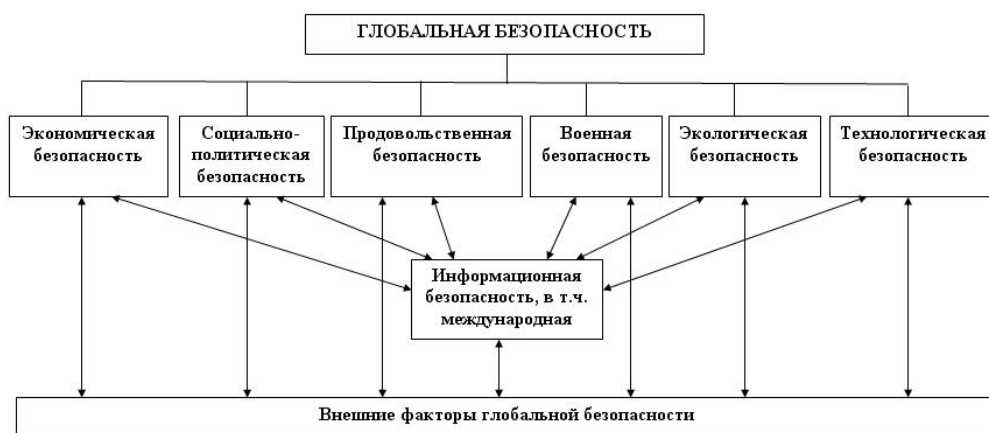


Рис.7. Взаимосвязь информационной и глобальной безопасности

Аналитический обзор ведущих отечественных и зарубежных научных работ в области информационной безопасности агентно-ориентированных систем показал, что наибольшую сложность в теоретических исследованиях и практических реализациях современных мультиагентных систем представляют вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности агентов и информационных ресурсов, которыми они оперируют, в открытых мультиагентных виртуальных средах. В рамках данного направления исследована проблематика и определены основные виды угроз информационной безопасности открытых проблемно-ориентированных распределенных мультиагентных информационных систем. Для поддержки управления информационной безопасностью открытых одноранговых мультиагентных информационных систем разработана технология формирования самоорганизующейся системы децентрализованного управления безопасностью когнитивных мобильных агентов [21]. Самоорганизация обеспечивается за счет реализации фаззи-процедур согласования индивидуальных и групповых целей активно коммуницирующих когнитивных агентов и их группирования в проблемно-ориентированные коалиции, в пределах которых осуществляется распределение функций по управлению безопасностью между управляющими агентами сертификации. На основе механизмов самоорганизации агентов обеспечивается возможность автоматического формирования удостоверяющих центров сертификации в открытых мультиагентных системах.

Полученные результаты могут найти применение при практической реализации проблемно-ориентированной агентной платформы информационной поддержки решения задач управления региональной безопасностью, а также при решении практических задач, связанных с анализом рисков информационной безопасности конкретных объектов информатизации региона и разработкой новых методов и технологий их снижения.

8. Заключение

В ходе проведенных исследований были получены следующие основные результаты.

1. Рассмотрены специфика и структура задачи комплексного информационно-аналитического обеспечения ГБ развития Арктических регионов России (на примере Мурманской области).

2. Обоснована необходимость адаптации и развития существующих, а также создания новых научно-методических разработок для решения задач в области информационно-аналитической поддержки управления безопасностью развития арктических регионов с учетом специфических особенностей АЗ РФ.

3. Определена единая методологическая база для исследования и решения проблем управления ГБ регионального развития.

4. Предложен когнитивный подход к решению задач информационно-аналитической поддержки управления ГБ регионального развития, основанный на интеграции методологий концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов информатизации. Подход обеспечивает создание технологий построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сфере прогнозирования и стратегического планирования безопасного развития региональных социально-экономических систем.

5. Разработана агентно-ориентированная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона, обеспечивающая технологическую основу для решения задач информационной поддержки согласованной деятельности организационных структур в области обеспечения безопасности функционирования региональных подсистем.

6. Предложены архитектура и технологии формирования целостной информационной среды (агентной платформы) поддержки управления безопасностью развития региона на базе одноранговых телекоммуникационных систем и мультиагентного подхода.

Очевидно, что многие задачи в масштабе всей Арктики нельзя решать без совместного участия Российской Академии наук, региональных и федеральных институтов власти, ведущих ВУЗов, а также представителей среднего и крупного бизнеса.

Полученные и ожидаемые результаты исследований в области создания когнитивных информационных технологий управления региональным развитием смогут найти применение при формировании комплексной системы поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов РФ в рамках реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» и «Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года» на территории Мурманской области, а также могут быть учтены региональными органами государственной власти при разработке стратегических планов и антикризисных стратегий безопасного социально-экономического развития Мурманской области на долгосрочный период.

Литература

1. Быстров, В.В. Информационная поддержка управления качеством образования в контексте глобальной безопасности развития региона / В.В. Быстров, А.В. Маслобоев // Качество. Инновации. Образование.- 2011. – №10(77). - С. 2-10.
2. Выступление на международной конференции «Современное государство и глобальная безопасность».- Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/transcripts/5469>.
3. Гапоненко, Н.В. Форсайт. Теория. Методология. Опыт / Н.В. Гапоненко.- М.: Юнити-Дана, 2008.- 240 с.
4. Горохов, А.В. Когнитивные функции концептуальных моделей социально-экономических систем / А.В. Горохов, А.Г. Олейник, В.А. Путилов // II Междунар. конф. по когнитивной науке: тез. докл. в 2 т., г. Санкт-Петербург, 9-13 июня 2006 г. - СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.- Т.2.- С. 576-577.
5. Датьев, И.О. Имитационное моделирование развития региональных информационно-коммуникационных систем / И.О. Датьев, А.В. Маслобоев // Инфокоммуникационные технологии.- 2010.- Т.8.- №2.- С. 51-56.
6. Датьев, И.О. Исследование динамики информационных потоков региональных информационно-коммуникационных систем при реализации различных сценариев социально-экономического развития приарктических территорий / И.О. Датьев, А.М. Федоров // Теория и практика системной динамики: мат. докл. IV Всерос. научно-практич. конф. г. Апатиты, 29-31 марта 2011 г. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011.- С.58-60.
7. Десятов, И.В. Когнитивные центры как информационные системы для стратегического прогнозирования / И.В. Десятов // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2011. - №1.- С.65-81.
8. Додин, Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы) / Д.А. Додин.- М.: Наука, 2005.- 288 с.
9. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов, Ю.С. Попков, А.Г. Олейник, В.А. Путилов. - М.: Эдиториал УРСС, 2004.- 400 с.
10. Итоги 2010 года с Президентом России.- Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/transcripts/9888>.
11. Калинина, А.Э. Развитие информационного пространства региональной хозяйственной системы / А.Э. Калинина.- Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005. - 360 с.
12. Кузык, Б.Н. Интегральный макропрогноз инновационно-технологической и структурной динамики экономики России на период до 2030 года / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец.- М.: Изд-во: Институт экономических стратегий, 2006.- 432 с.
13. Лавров, С.В. "Новый Договор о СНВ и матрица глобальной безопасности. Политическое измерение" / С.В. Лавров // Международная жизнь.- №7. - 2010. Режим доступа: <http://interaffairs.ru/argp.php?pg=270>.
14. Ломов, П.А. Интеграция онтологий с использованием тезауруса для осуществления семантического поиска / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев // Информационные технологии и вычислительные системы.- 2009.- №3. - С.49-59.

15. Маслобоев, А.В. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. - СПб: СПбГУ ИТМО. - 2011. - №6(76). - С. 98-104.
16. Маслобоев, А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. -2009.-Т.12. - №1.- С. 113-125.
17. Маслобоев, А.В. Информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью развития Арктических регионов России: задачи, методы, технологии / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. - 2011.- №3(73).- С.143-145.
18. Маслобоев, А.В. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Вестник МГТУ: тр. Мурманского государственного технического университета. - Мурманск: МГТУ. - 2011. -Т.14.- №4. - С.842-853.
19. Маслобоев, А.В. Механизмы согласования индивидуальных и групповых целей программных агентов на основе теории нечетко-множественных отношений / А.В. Маслобоев // "Наука и Образование – 2011": мат. Межд. научно-практич. конф. г. Мурманск, 4-8 апреля 2011 г.- Мурманск: МГТУ, 2011.- С.115-121.
20. Маслобоев, А.В. Обеспечение глобальной безопасности регионального развития: постановка задачи / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. - М.: КРАСАНД, 2010.- Т.59.- С.29-44.
21. Маслобоев, А.В. Разработка и реализация механизмов управления информационной безопасностью мобильных агентов в распределенных мультиагентных информационных системах / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Вестник МГТУ: тр. Мурманского государственного технического университета. - Мурманск: МГТУ. – 2010.– Т.13, №4/2.– С.1015-1032.
22. Олейник, А.Г. Технология представления знаний для информационной поддержки управления региональными системами. -Ч.1. / А.Г. Олейник // Известия. ВУЗов. Приборостроение.- 2005.- Т.48.- №10.- С.3-6.
23. Постановления Правительства РФ «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Президентом РФ 18.09.2008 г., Пр.-1969).- Режим доступа: <http://www.scrf.gov.ru/documents/98.html>, 2008.
24. Путилов, В.А. Системная динамика регионального развития / В.А. Путилов, А.В. Горохов.- Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002.- 306 с.
25. Путилов, В.А. Технологии распределенных систем информационной поддержки инновационного развития региона / В.А. Путилов, М.Г. Шишаев, А.Г. Олейник // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – Т. 39. – С.40–63.

26. Смирнов, А.И. Глобальная безопасность: инновационные методы анализа конфликтов / А.И. Смирнов и др. - М.: Общество «Знание» России, 2011. - 272 с.
27. Сухорослов, О.В. Принципы самоорганизации в пиринговых системах / О.В. Сухорослов // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. – 2004. – Т.8 – С.141–174.
28. Филиппов, В.А. Интернет и семантический WEB / В.А. Филиппов и др. - М.: Ленанд, 2007. - 104 с.
29. Филиппов, В.А. Информационные взаимодействия и Web-сервисы / В.А. Филиппов, Б.А. Щукин, Л.В. Богатырева. - М.: УРСС, 2009. - 144 с.
30. Швецов, А.Н. Распределенные интеллектуальные информационные системы / А.Н. Швецов, С.А. Яковлев. – СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 318 с.
31. Шишаев, М.Г. Архитектура и современные технологии информационных систем поддержки развития открытых инноваций / М.Г. Шишаев, А.В. Маслобоев // Инновации, 2010. – №8(142) – С.85-91.
32. Юсупов, Р.М. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации / Р.М. Юсупов, В.П. Заболотский. - СПб.: Наука, 2009. - 542 с.
33. DeTombe, D.J. Global Safety / D.J. DeTombe // Pesquisa Operacional. - 2010. - Vol.30. - No.2. - P.387-404.
34. Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. - John Wiley & Sons Ltd, 2002. - 366 p.

Сведения об авторах

Маслобоев Андрей Владимирович

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: masloboev@iimm.kolasc.net.ru

Andrey V. Masloboev

Ph.D. (Tech. Sc.), research. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Путилов Владимир Александрович

д.т.н., проф., директор. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: putilov@iimm.kolasc.net.ru

Vladimir A. Putilov

Dr. of Sc. (Tech. Sc.), Prof., director. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.94

В.Н. Богатиков¹, А.Г. Олейник¹, А.Е. Пророков²

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ*

Аннотация

В данной статье представлен подход к моделированию состояний информационной сети основанный на аналоге цепи Маркова. В отличие от цепей Маркова, состояние определяется интегральным показателем надежности. В качестве показателя используется оценка, получаемая как степень нечеткого равенства текущей ситуации, которая описывается системой показателей надежности, ситуации, соответствующей области безопасного функционирования.

Ключевые слова:

информационные системы, нечеткая логика, моделирование.

V.N. Bogatikov, A.G. Oleynik, A.E. Prorokov

THEORETICAL APPROACH TO THE RELIABILITY ASSESSMENT FOR COMPLEX INFORMATION NETWORKS

Abstract

The approach based on analog of Markov chain to modeling of information network conditions is presented in the article. Unlike Markov chains, the network condition is determined by an integrated indicator of reliability. The indicator is a estimation of fuzzy equality degree between a current situation, which is described by system of reliability indicators, and the situations, which corresponding to area of network safe functioning.

Key words:

information systems, fuzzy logic modeling.

Введение

Происходящие в мире процессы развития инфокоммуникаций стали объективным фактором способствующим созданию глобального информационного общества. Уровень развития информационного пространства решающим образом влияет на экономику, обороноспособность и политику.

Целями информатизации являются наиболее полное удовлетворение информационных потребностей общества во всех сферах деятельности. Учитывая возрастание в последние годы интереса мирового сообщества к Арктическим территориям возросла актуальность решения задач повышения уровня системной надежности в рамках формирования единых информационных пространств Арктических регионов.

Актуальность подчеркивается основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

* Работа выполнялась при финансовой поддержке ОНИТ РАН (проект № 2.4. программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН "Информационные технологии и методы анализа сложных систем").

перспективу, утвержденный Президентом Российской Федерации Дмитрием Медведевым 18 сентября 2008 г. (Пр. - 1969).

Проблема моделирования и оценки состояний для обеспечения надежности систем единого информационного пространства арктических регионов на основе исследования структур и механизмов проявления разнородных потенциальных опасностей является фундаментальной научной проблемой.

Сложность и разнородность современных промышленных и организационных комплексов, функционирующих в арктической зоне российской Федерации, использование ими различных информационных технологий в рамках своих информационных полей затрудняют выполнение диагностических процедур и поиск источников возникающих нарушений.

Необходимо отметить, что особенности обеспечения надежности технических и организационных компонентов информационных систем в Арктическом регионе комплексно не изучались.

Вместе с тем, известно, что солнечная активность и обусловленные ею геомагнитные возмущения влияют на распространение радиоволн и, в период геомагнитных возмущений, создают серьезные помехи для радиосвязи [1]. В Арктическом регионе, где радиосвязь, в отдельных ситуациях, является единственным средством коммуникации, такие помехи могут приводить к роковым последствиям. И именно в Арктическом регионе, в силу широтных особенностей строения магнитосферы и ионосферы Земли, помехи в радиосвязи в период геомагнитных возмущений наиболее выражены. Кроме того, в высоких широтах отмечается и наибольшее число сбоев в работе технических систем и информационного обеспечения. Эти сбои могут быть вызваны широтным возрастанием интенсивности космических лучей, порождающих ошибки в работе компьютерных систем и программного обеспечения [2].

Наряду с технической компонентой надежности работы информационных систем, человеческий фактор также влияет на их надежность. От психофизиологического состояния оператора во многом зависит своевременность и правильность принятия решений и, следовательно, надежность работы информационных систем. Проведенные исследования показали, что вариации геомагнитного поля, также как и интенсивность космических лучей, существенно модулируют психо-физиологическое состояние человека [3-5]. В отдельные периоды солнечной активности, геофизические агенты могут обуславливать появление у человека парадоксальных реакций, депрессию, шизоидные состояния [6].

Работа посвящена разработке нечеткой модели оценки состояний для анализа надежности компонентов информационного пространства, ориентированной на поддержку принятия решений в области управления формированием, функционированием и развитием единого информационного пространства Арктических регионов. Под единым информационным пространством понимается целостная информационно-аналитическая среда, представляющая собой комплекс проблемно-ориентированных, взаимосвязанных и взаимодействующих информационных и аналитических ресурсов, а также технологическую и организационную инфраструктуру их создания и использования.

Топологический метод расчета надежности

Используя структурное подобие вероятностного графа и нечеткого графа, для моделирования процессов смены состояний информационной системы рассматривается один из методов расчета Марковских процессов – топологический метод [8,9]. Подобие графов позволяет использовать одни и те же формулы для расчета:

- вероятности нахождения системы в некотором состоянии (индексы надежности состояния для нечеткой системы),
- коэффициентов готовности и простоя (индексы коэффициентов готовности и простоя),
- среднего времени наработки на отказ и среднего времени восстановления (индексы времени наработки на отказ и времени восстановления).

Если при этом учитывать свойства функций принадлежности, появляется возможность проводить диагностирование информационной системы.

Обозначим X как множество состояний системы:

$$X = \{x_i, i \in I, i = \overline{1, n}\},$$

где x_i – i -е состояние, I – множество индексов всех возможных состояний системы, n – количество возможных состояний системы.

Разобьем множество X на два подмножества:

- подмножество работоспособных состояний системы X_p ;
- подмножество неработоспособных состояний системы \overline{X}_p .

$$X_p = \{x_i, i \in I_p \subset I\},$$

где X_p – подмножество работоспособных состояний системы, I_p – множество индексов работоспособных состояний системы.

$$\overline{X}_p = \{x_i, i \in J \subset I\},$$

где \overline{X}_p – подмножество неработоспособных состояний системы, J – множество индексов неработоспособных состояний системы.

Нахождение системы в том или ином состоянии обуславливает случайный процесс $X(t)$ перехода системы в пространстве ее состояний. $X(t)$ называют также траекторией системы.

Представим $X(t)$ в виде нечеткого графа состояний $G(X, W)$, где X – множество вершин графа, соответствующих множеству состояний X ; W – множество дуг, соединяющих вершины данного графа; $P_1(t), \dots, P_1(t), \dots, P_6(t)$ – вероятности нахождения системы в i -м состоянии; $d(w_{ij})$ – вес дуги w_{ij} ; α_{ij} – нечеткая интенсивность перехода из состояния i в состояние j (рис. 1).

Вернемся к модели Маркова. Если заданы интенсивности α_{ij} , то, составляя и решая систему уравнений Колмогорова, можно определить вероятности $P_i(t)$ нахождения системы в i -м состоянии, а значит и показатели надежности. Однако составление и решение системы уравнений Колмогорова является трудоемкой операцией, поэтому для решения подобных задач применяют топологический

метод. Топологический метод использует аппарат теории графов применительно к решению задач надежности.

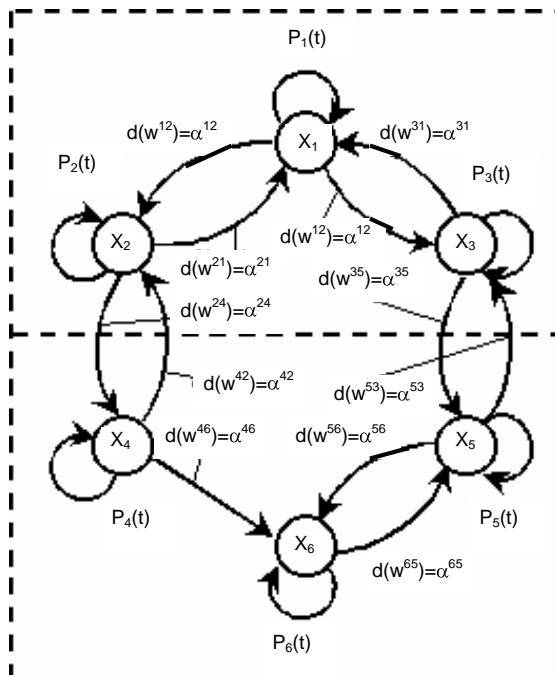


Рис.1. Пример вероятностного графа состояний $G(X, W)$

Рассмотрим методику решения задач методом, который позволяет непосредственно по графу состояний $G(X, W)$ без составления и решения уравнений Колмогорова вычислять показатели надежности. Для этого введем некоторые определения.

Прямой путь I^j из вершины x_i в вершину x_j – цепь последовательно соединенных однонаправленных дуг, где каждая вершина имеет входящую и одну выходящую дуги, за исключением начальной и конечной, имеющих по одной дуге (рис.2).

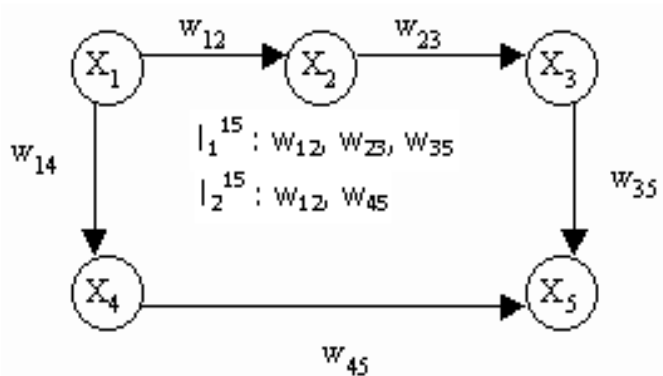


Рис.2. Определение прямых путей на графе

Вес k-го прямого пути из вершины i в вершину j

$$d(l_k^{ij}) = \prod_{w_{ij} \in W(l_k^{ij})} d(w_{ij}),$$

где $W(l_k^{ij})$ - множество дуг, которые составляют k-ый прямой путь.

Замкнутый контур r – прямой путь, на котором начальная и конечная вершины совпадают (рис. 3). Вес замкнутого контура r :

$$d(r) = \prod_{w_{ij} \in W(r)} d(w_{ij}),$$

где $W(r)$ – множество дуг, входящих в замкнутый контур r .

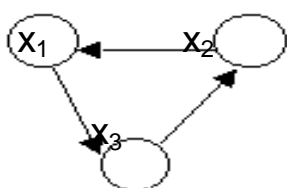


Рис.3. Примеры замкнутых контуров

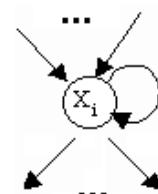
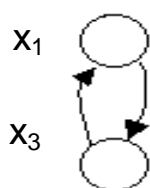


Рис.4. Петля

Частным случаем замкнутого контура является петля (рис. 4), в которой входящая и выходящие дуги сливаются в одну.

Вес петли при вершине определяется как отрицательная сумма весов дуг, исходящих из этой вершины:

$$d(w_{ij}) = - \sum_{j \in J_n} d(w_{ij}),$$

где J_n – множество индексов вершин, которые связаны с i -ой вершиной выходящими из нее дугами.

Соединение графа S – это частичный граф, который образуют только замкнутые контуры. Частичный граф представляет собой все вершины, некоторые дуги и петли исходного графа, которые составляют независимые замкнутые контуры (то есть контуры, не имеющие общих вершин). Один граф может располагать несколькими соединениями (рис.5). При образовании соединений следует помнить, что каждая вершина графа $G(X, W)$ имеет петлю.

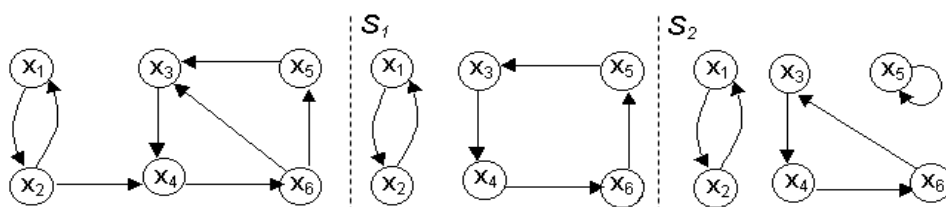


Рис.5. Пример образования соединения графа

Вес j -го соединения:

$$d(S_j) = (-1)^v \prod_{r \in R(S_j)} d(r),$$

где v – число независимых замкнутых контуров, образующих соединение, $R(S_j)$ – множество независимых замкнутых контуров, образующих соединение.

Определитель графа

$$\Delta G = \sum_{S_j \in S} d(S_j),$$

где S — множество всех возможных соединений графа.

Теперь рассмотрим методику расчета показателей надежности вероятностного графа [8,9] топологическим методом в установившемся режиме, где топологические коэффициенты C_i для каждой x_i вершины графа определяются непосредственно по графу, а затем вычисляется нужный показатель по ниже приведенным топологическим формулам.

Для определения коэффициента C_i необходимо:

– выбрать начальную вершину графа x_q отдельно для определения каждого из коэффициентов C_i ($i = \overline{1, n}$); начальная вершина может быть выбрана произвольно, однако выбор влияет на объем вычислений, поэтому ее надо выбирать так, чтобы были длинные прямые пути;

– построить множество K прямых путей из начальной вершины x_q в вершину x_i , для которой определяется коэффициент;

– для каждого k -го прямого пути построить множество замкнутых контуров подграфа $G\{X_k\}$ и образовать возможные комбинации независимых замкнутых контуров (множество соединений S), где $G\{X_k\}$ – подграф графа $G\{X, W\}$, образованный удалением множества вершин, входящих в k -й путь и прилегающих к нему дуг;

– записать коэффициенты C_i по найденным составляющим по формуле:

$$C_i = \sum_{k \in K} d(I_k^{q_i}) \Delta G\{X_k\},$$

где K – множество прямых путей из произвольно выбранной вершины x_q в x_i ; X_k – множество вершин, входящих в k -ый прямой путь.

Используя топологические коэффициенты, основные показатели надежности установившегося режима можно записать:

– вероятность нахождения системы в i -м состоянии:

$$P_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_j},$$

где n – число вершин графа;

- коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i \in I_p} C_i}{\sum_{j \in I} C_j},$$

где I_p – множество индексов работоспособных состояний системы;

- коэффициент простоя:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum_{i \in J} C_i}{\sum_{j \in I} C_j},$$

где J – множество индексов неработоспособных состояний системы;

- средняя наработка на отказ:

$$T_0 = \frac{\sum_{i \in I_p} C_i}{\sum_{i \in I_p^+} C_i (\sum_{j \in J} \alpha_{ij})} = \frac{\sum_{i \in I_p} C_i}{\sum_{i \in J^+} C_i (\sum_{j \in I_p} \alpha_{ij})},$$

где I_p^+ – подмножество индексов граничных состояний из X_p , из которых в неработоспособное состояние можно попасть за один переход;

– среднее время восстановления:

$$T_{\text{в}} = \frac{\sum_{i \in J} C_i}{\sum_{i \in I_p^+} C_i (\sum_{j \in J} \alpha_{ij})} = \frac{\sum_{i \in J} C_i}{\sum_{i \in J^+} C_i (\sum_{j \in I_p} \alpha_{ij})},$$

где J^+ – подмножество индексов граничных состояний из \bar{X}_p , из которых в работоспособное состояние можно попасть за один переход.

Основные положения топологического метода могут быть применены для определения показателей надежности неустановившегося режима с использованием преобразований Лапласа. Необходимо отметить, что показатели надежности, вычисленные по нечеткой модели, должны совпадать с показателями надежности, вычисленными по вероятностной модели. В отличие от вероятностной Марковской модели, где суммы вероятностей состояний для каждого момента времени равны единице, в нечеткой системе, такое условие не накладывается на индекс надежности. Поэтому по равенству показателей можно проводить верификацию нечеткой модели.

Алгоритм оценки состояний объекта и расчета показателей надежности по нечеткой модели включает следующие основные этапы:

- ввод информации о реальной ситуации на объекте;
- оценка индексов надежности состояний [7];
- оценка нечетких интенсивностей переходов из состояния в состояние;
- расчет показателей надежности системы.

Заключение

Предлагаемый подход к оценке состояний сложной информационной системы на основе нечеткой Марковской модели имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием вероятностной модели Маркова. В данном случае для оценки состояний необходим меньший объем статистического материала, так как за основу берутся экспертные знания. Подход обеспечивает более гибкую адаптацию к конкретной задаче и позволяет выполнять диагностирование объекта уже на этапе расчета интегрального показателя надежности.

Основное преимущество нечетких Марковских моделей состоит в том, что на основе экспертных оценок можно учесть наличие помех в радиосвязи в период геомагнитных возмущений, влияние интенсивности космических лучей, психофизиологическое состояние оператора, которое во многом зависит как от вариации геомагнитного поля, так и от интенсивности космических лучей.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности исследования нечетких Марковских моделей для целей обеспечения надежности сложных информационных систем.

Литература

1. Калитёнков, Н.В. Радиосвязь в районе а4: влияние геомагнитных возмущений на частотный спектр и амплитуду кв радиосигналов на трассах, пересекающих авроральную зону /Н.В. Калитёнков, А.Н. Калитёнков // Тез. 11-й научно-техн. конф МГТУ, г. Мурманск, 19-29 апреля 2000 г.- Мурманск: МГТУ, 2000. - 615 с.
2. Ziegler, J.F. Terrestrial cosmic rays / J.F. Ziegler // IBM J.Res. Develop, №40, 1996. -pp.19-39.
3. Белишева, Н.К. Качественная и количественная оценка воздействия вариаций геомагнитного поля на функциональное состояние мозга человека / Н.К. Белишева. - Биофизика, 1995, вып.5. - С.1005-1012.
4. Белишева, Н.К. Исследование роли гелиогеофизических и метеорологических факторов в изменчивости варибельности сердечного ритма у различных категорий населения на Севере / Н.К. Белишева, С.А.Черноус. //Север – 2003. Проблемы и решения.- Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. - С.43- 51.
5. Cooperative influence of geocosmical agents on human organism / N.K. Belisheva and others // Physics of Auroral Phenomena (eds. I.V. Golovchanskaya, N.V. Semenova). –Apatity, 2007. -pp.221-224.
6. Белишева, Н.К. Глобальная модуляция психо-эмоционального состояния человека геокосмическими агентами / Н.К. Белишева, Т.Л. Качанова: сб. научн. докл. VII Междунар. конф. "Экология и Развитие Северо-Запада России», г. Санкт-Петербург, 2-7 августа 2002 г. - С.110-118.
7. Приложения метода разделения состояний к управлению технологической безопасностью на основе индекса безопасности /В.Н. Богатиков и др. - Тверь: ТГТУ, 2009. -398с.
8. Палюх, Б.В. Надежность и эффективность экономических информационных систем / Б.В. Палюх, А.С. Мироненко. - Тверь, 2003. -157 с.
9. Пантелей, В.Г. Расчетные методы оценки надежности приборов /В.Г. Пантелей, И.Б. Шубинский. - М.: «Машиностроение», 1974. – 56 с.

Сведения об авторах

Богатиков Валерий Николаевич

д.т.н. ведущий научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: vnbgtk@iimm.kolasc.net.ru

Valery N. Bogatikov

Dr. of Sci. (Tech.) leading researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Олейник Андрей Григорьевич

д.т.н., зам. директора. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik

Dr. of Sci. (Tech.), Deputy director. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульской обл., ул. Дружбы, д. 8.

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University).

УДК 004.94

А.В. Вицентий

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ*

Аннотация

Для оценки надежности функционирования единого информационного пространства в работе предложена методика построения его модели, включающая семь основных множеств элементов, подлежащих оценке.

Ключевые слова:

Единое информационное пространство, модель, надежность.

A.V. Vicentiy

THE UNIFORM INFORMATION FIELD MODEL DESIGN FOR OPERATIONAL RELIABILITY EVALUATION

Abstract

In this paper the uniform information field reliability model definition procedure are considered. The model includes the seven basic sets of elements which are subject to estimation.

Keywords:

uniform information field, reliability model, reliability estimation.

Введение

Происходящие в мире в настоящее время процессы развития международной интеграции информационных ресурсов и инфраструктуры компьютерных сетей позволяют осуществлять взаимодействие пользователей для получения разнообразной информации в реальном масштабе времени вне зависимости от расстояния и используемых средств вычислительной техники. Благодаря бурному развитию информационных технологий появляется возможность преодоления информационного неравенства, что особенно важно для Российской Федерации, на обширной территории которой наряду с информационно развитыми городами и регионами имеются территории со слабой телекоммуникационной инфраструктурой [1].

Целью данной работы является описание методики построения модели единого информационного пространства (ЕИП) Арктических регионов Российской Федерации и выделение его основных компонентов, с точки зрения оценки и обеспечения надежности их функционирования.

Формирование и оценка надежности единого информационного пространства

Под Арктической зоной Российской Федерации понимается часть Арктики, в которую входят полностью или частично [4]: территории Республики

* Работа выполнена при финансовой поддержке ОНИТ РАН (проект №2.4 Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Информационные технологии методы анализа сложных систем»).

Саха (Якутия); Мурманской области; Архангельской области; Красноярского края; Ненецкого автономного округа; Ямало-Ненецкого автономного округа; Чукотского автономного округа; и прилегающие к этим территориям, землям и островам внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный шельф РФ, в пределах которых Россия обладает суверенными правами и юрисдикцией в соответствии с международным правом.

В данной работе единое информационное пространство понимается как совокупность данных, технологий их сопровождения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающих информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей.

Таким образом, можно сказать, что основными компонентами единого информационного пространства, требующими особого внимания к надежности их функционирования, являются:

- информационные ресурсы, содержащие данные, сведения и знания, зафиксированные на соответствующих носителях информации;
- организационные структуры, обеспечивающие функционирование и развитие единого информационного пространства, в частности, сбор, обработку, хранение, распространение, поиск и передачу информации;
- средства информационного взаимодействия граждан и организаций, обеспечивающие им доступ к информационным ресурсам на основе соответствующих информационных технологий, включающие программно-технические средства и организационно-нормативные документы.

Ввиду разнородности компонентов, составляющих единое информационное пространство, для оценки надежности каждого компонента ЕИП приходится применять специфические именно для него методы, а затем строить некоторый интегральный показатель, характеризующий надежность ЕИП в целом. Так, для оценки надежности коммуникационной структуры ЕИП применяются методы теории стохастических систем, математического программирования и теории экстремальных графов [3]. Для обеспечения надежности доступа к информационным ресурсам и их сохранности применяются методы защиты информации и резервирования из теории надежности. Работа организационных структур во многом регулируется законодательством РФ в рамках концепции формирования и развития единого информационного пространства России и т.д. [2].

Первым вопросом, требующим решения, является вопрос о структуре единого информационного пространства. Для представления такой структуры удобнее всего будет разложить ее на уровни и представить в виде дерева. В общем виде структура ЕИП Арктических регионов РФ представлена на рис. 1. На первом уровне находится федеральное ЕИП, включающее в себя единые информационные пространства семи субъектов РФ и прилегающих к этим территориям, землям и островам внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный шельф РФ, в пределах которых Россия обладает суверенными правами и юрисдикцией в соответствии с международным правом. На втором уровне находятся ЕИП каждого из вышеупомянутых субъектов РФ в отдельности. Единые

информационные пространства субъектов РФ включают ЕИП уровня муниципалитетов (районов, округов, крупных предприятий, государственных учреждений и т.д.).

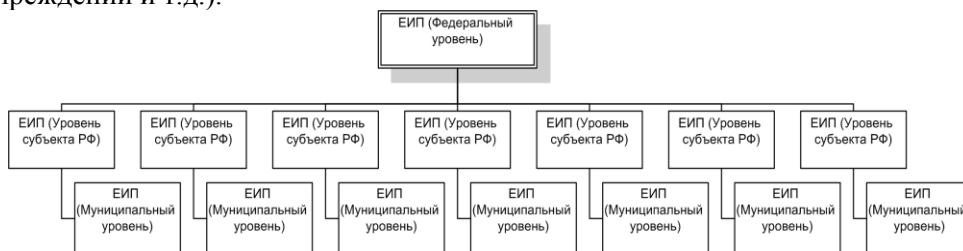


Рис.1. Структура единого информационного пространства

Таким образом, на высшем уровне иерархии – федеральном, концентрируются основные потоки информации. Спускаясь от этого уровня к нижележащим, можно получить информацию о конкретных учреждениях того или иного региона. С другой стороны, наличие некоторого общего узла (корня дерева) позволяет, в случае необходимости, относительно легко интегрировать ЕИП Арктических регионов в другие ЕИП, например, в ЕИП приарктических стран.

В свою очередь, каждый узел, начиная со второго уровня, должен иметь четкую структуру, аналогичную структуре одноуровневых узлов. Это позволяет существенно упростить навигацию в информационном пространстве, а также ускорить и снизить стоимость разработки внутреннего наполнения узла, т.к. появляется возможность использования стандартных шаблонов. Данное правило не касается только узлов самого нижнего уровня, т.к. решение задачи унификации их структуры является труднореализуемым и не дает значительного практического эффекта.

Формирование ЕИП на уровне региона следует начать с построения структуры ЕИП муниципалитетов и других образований, как наиболее насыщенных информационными субъектами территорий. При этом, на самом общем уровне, топологическую структуру информационных сетей можно представить как $S = \langle D, L \rangle$, где D - множество субъектов информационной структуры (различные учреждения в рамках территориального образования), а L - множество каналов связи между ними.

Обобщенную модель информационной сети (информационного пространства) в этом случае можно представить так:

$NET = \langle INF, SRV, SOFT, MEDIA, RUL, POINT, SRS \rangle$,

где INF - множество информации, т.е. совокупность данных, расположенных на серверах сети;

SRV - множество серверов, т.е. узлов сети, хранящих информацию и предоставляющих к ней доступ. В данной модели к множеству SRV также относится и другое коммуникационное оборудование, включенное в структуру сети;

$SOFT$ - множество (служебного) программного обеспечения, установленного на серверах сети, включая различные платформы операционных систем, протоколы связи, другие «служебные» программы, для организации коммуникаций, и т.п.;

MEDIA - множество сред передачи данных;
RUL - множество принципов и правил функционирования сети;
POINT - множество клиентов сети;
SRS - множество сервисов, предоставляемых сетью.

Для конкретизации описания и выбора адекватных методов анализа надежности компонентов ЕИП введем функции типизации каждого из указанных множеств.

Функция определения типов информации, расположенной на серверах сети: $(\forall x \in INF)(cn(x) = z, z \in CONTENT)$, где CONTENT - типы информации на серверах сети.

Функция определения типов серверов (коммуникационного оборудования): $(\forall x \in SRV)(tsrv(x) = z, z \in TSRV)$, где TSRV - типы серверов (коммуникационного оборудования).

Функция определения типов программного обеспечения: $(\forall x \in SOFT)(os(x) = z, z \in OS)$, где OS - типы (служебного) программного обеспечения, установленного на серверах сети.

Функция определения типов сред передачи данных: $(\forall x \in MEDIA)(dl(x) = z, z \in DL)$, где DL - типы сред передачи данных.

Функция определения типов/наборов принципов и правил функционирования сети: $(\forall x \in RUL)(pol(x) = z, z \in POL)$, где POL - множество типов/наборов правил (политик) функционирования сети.

Функция определения типов клиентов сети: $(\forall x \in POINT)(cl(x) = z, z \in CLIENT)$, где CLIENT - множество типов клиентов сети.

Функция определения типов сервисов, предоставляемых сетью: $(\forall x \in SRS)(tl(x) = z, z \in TOOL)$, где TOOL – типы сервисов, предоставляемых сетью.

Рассмотрим для примера, как может быть описан некоторый абстрактный узел ЕИП с помощью указанных выше функций типизации:

DOT_X = <cn (dot_x) = "map" & "law_loc"; // тип информации на сервере – карты и нормативно-правовые акты органов местного самоуправления.

tsrv (dot_x) = "IBM System p5 550Q Express"; // тип сервера.

os (dot_x) = "IBM AIX 5L"; // тип операционной системы.

dl (dot_x) = "SMF" // тип среды передачи данных - Single Mode Fiber (одномодовое оптоволокно).

pol (dot_x) = "map" = group_3 & "law_loc" = all; // данные типа "карта" доступны только пользователям из группы №3, а данные типа "нормативно-правовые акты органов местного самоуправления" доступны всем пользователям.

cl (dot_x) = "0"; // тип клиента не определен.

tl (dot_x) = "web" & "ftp"; // данным узлом предоставляется веб-сервис и сервис передачи файлов по протоколу ftp.>

В конкретных условиях описание некоторого узла или ресурса ЕИП может иметь другой вид, однако структура такого описания должна сохраняться. Наличие структурированного описания узлов (ресурсов) ЕИП позволяет повысить скорость и эффективность поиска необходимой информации и обеспечения интеграции нескольких узлов в «виртуальное пространство» для решения конкретной задачи, выраженной формальной моделью.

В ходе решения реальных задач обычно нет необходимости задействовать все уровни ЕИП, а достаточно организовать бесперебойное взаимодействие лишь некоторых из них. В такой ситуации проводить оценку надежности всех узлов или даже отдельной ветви ЕИП, может оказаться излишним. Необходимый уровень надежности для конкретной задачи может быть достигнут обеспечением надежности только тех узлов, ресурсов и связей, которые задействованы в ее решении.

Однако, при решении некоторых специфических задач, связанных с принятием решений в реальном масштабе времени, возможно, варьирование некоторых начальных условий и целей прямо в процессе решения, что может привести к необходимости добавления, исключения или модификации узлов (ресурсов) и связей и, как следствие, переоценке их надежности. В таких условиях необходимо использовать подходы, при которых структура «виртуального пространства» для подобных задач могла бы меняться в автоматизированном режиме. Примеры реализации таких подходов представлены в [6].

Надежность ЕИП в работе понимается как устойчивость системы приема-передачи информации к внешним воздействиям и внутренним возмущениям, а также как гарантия получения информации: 1) в полном и неискаженном виде; 2) только заданными адресатами; 3) в удовлетворительные сроки.

В качестве инструмента оценки надежности функционирования ЕИП предлагается использовать следующую методику оценки надежности на основе использования нечетко-логических моделей (НЛМ).

Оценку надежности предлагается проводить «снизу в вверх» на основе построения нечетко-логической модели и модифицированных методик оценки безопасности технологических процессов (выделение центра и индекса безопасности).

1. На первом шаге необходимо произвести построение нечетко-логических моделей нижних уровней (НЛМ^к_{хи} - нечетко-логическая модель хранимой информации k-го уровня; НЛМ^к_{ис} - нечетко-логическая модель информационных систем k-го уровня; НЛМ^к_{лвс} - нечетко-логическая модель вычислительных сетей k-го уровня) для оценки степени надежности текущей ситуации;

2. На втором шаге нужно произвести выделение так называемого «Центра надежности», описывающего допустимые значения параметров, определяющих надежность;

3. Далее следует построить и оценить «Индекс надежности», который дает количественную характеристику отклонения параметров от «Центра надежности»;

4. Получив количественную оценку, нужно произвести корректировку параметров;

5. После достижения необходимых показателей надежности на k-том уровне, следует перейти к построению нечетко-логических моделей нижних

уровней ($НЛМ^{k+1}_{хи}$; $НЛМ^{k+1}_{ис}$; $НЛМ^{k+1}_{лвс}$), и так до тех пор, пока не будет достигнут самый нижний уровень модели.

Заключение

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод, что построение ЕИП возможно путем модульного построения отдельных информационных систем по территориальному принципу «сверху-вниз». Модули информационной сети должны отвечать принципам совместимости и достижимости по информационному ресурсу на горизонтальном и вертикальном уровнях их организации; открытостью и адаптируемостью к постоянно меняющимся условиям функционирования; автономностью; инвариантностью данных к моделям развития и механизмам управления; адекватностью организационных структур [5]. Для оценки надежности функционирования ЕИП, напротив, предлагается применить метод оценки «снизу в вверх», основанный на применении нечетко-лингвистических моделей, выбор которых связан с большой долей неопределенности, возникающей при попытках определения причины и источника отказа в обслуживании.

Литература

1. Ракитов, А.И. Россия в глобальном информационном процессе и региональная информационная политика / А.И. Ракитов // Проблемы информатизации. - М.: 1993. - Вып. 1 - 2. - С.20-26.
2. Финько, О.А. О развитии информационного пространства России / О.А. Финько // Информационные ресурсы России, 1998. - №1. - С.12-13.
3. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский // Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. - М: Техносфера, 2003. - 512 с.
4. Постановление Президиума ЦИК СССР от 15.04.1926 "Об объявлении территорией Союза ССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане". - "СЗ СССР", 1926, № 32, ст. 203.
5. Фролов, В.Н. Информационно-логическая модель организационного управления в распределенной вычислительной системе / В.Н. Фролов, Д.В. Сысоев, Н.Г. Филонов // Информационные технологии и системы. Международная академия информатизации. - Воронеж, 1998. - С.123-125.
6. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов, А.Г. Олейник, Ю.С. Попков, В.А. Путилов.- М.: Едиториал УРСС, 2004. - 400 с.

Сведения об авторах

Вицентий Александр Владимирович

к.т.н, научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: alx_2003@mail.ru

Alexander V. Vicentiy

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.
Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 681.5

И.Н. Морозов¹, А.Е. Пророков², В.Н. Богатиков¹

РИСКОУСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Аннотация

Работа посвящена построению методики определения надежностных показателей сложных информационных систем и формированию на основе этих показателей управляющих решений с оценкой информационных рисков.

Ключевые слова:

индекс информационного риска, индекс информационной надежности.

I.N. Morozov, A.E. Prorokov, V.N. Bogatikov

MANAGEMENT RELIABILITY OF INFORMATIVE SYSTEMS WITH A CRITERION STEADY RISK

Abstract

Work is devoted the construction of method of determination of reliability of the difficult informative systems indexes and forming on the basis of these indexes of managing decisions with the estimation of informative risks.

Keywords:

index of informative risk, index of informative reliability.

Введение

В настоящее время в теории надежности существует единая установившаяся терминология, которая охватывает важнейшие понятия и определения. Основные понятия теории надежности изложены в ряде стандартов [1 – 6]. Согласно ГОСТ 27.002 «Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования».

Надежность информационной системы является одной из основных составляющих ее качества. В данной работе предложена методика определения надежностных показателей сложных информационных систем и формирования на основе этих показателей рискоустойчивого управления.

Индекс информационной надежности процесса

В результате изменения значений параметров информационного процесса происходит постоянная смена состояний, вследствие чего процесс может выйти из области безопасности (ОБ) [12]. Оценить этот выход можно с помощью

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Менделеева*

* Работа выполнена при финансовой поддержке ОНИТ РАН (проект № 2.4 Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Информационные технологии методы анализа сложных систем»)

определения смещения от центра безопасности (ЦБ) [12]. Количественная оценка, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса S^* от центра безопасности S_o , покажет степень надежности для данного состояния информационного процесса. В работе количественная характеристика по параметрам информационного процесса определена как индекс информационной надежности.

Для определения индекса информационной надежности текущего состояния процесса необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}_p^* с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности \tilde{S}_{pO} . При этом степень их нечеткого равенства будем называть индексом информационной надежности процесса:

$$In \left(\tilde{S}_p^* \right) = \nu \left(\tilde{S}_{pO}, \tilde{S}_p^* \right) \& \nu \left(\tilde{S}_p^*, \tilde{S}_{pO} \right), \quad (1)$$

где $In \left(\tilde{S}_p^* \right)$ – индекс информационной надежности текущего состояния информационного процесса.

Заметим, что индекс информационной надежности достигает своего максимального значения при совпадении рабочей точки процесса с ЦБ $\nu \left(\tilde{S}_{pO}, \tilde{S}_p^* \right) = 1$. При удалении рабочей точки процесса от ЦБ индекс безопасности уменьшается. При выходе рабочей точки из области регламентного (безопасного) состояния, либо при достижении одной из границ этой области $In \left(\tilde{S}_p^* \right) = 0$.

При такой оценке информационной надежности процесса в области регламентного состояния можно выделить ОБ следующим образом.

Процесс протекает в ОБ, если его индекс информационной надежности не превышает некоторой величины $b \in [0,1]$, называемой границей информационной надежности процесса по параметрам.

$$In \left(\tilde{S}_p^* \right) \geq b. \quad (2)$$

Ущерб от текущего состояния информационного процесса

Структура ущерба от текущего состояния информационного процесса, как правило, включает: полные финансовые потери организаций, физических лиц и других участников информационного процесса; расходы на ликвидацию аварии, возникшей в результате воздействия информационного процесса; социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц); вред, нанесенный окружающей природной среде; косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов, оборудования и т.д.

При оценке ущерба, возникшего в результате воздействия информационного процесса, как правило, подсчитываются те составляющие ущерба, для которых известны исходные данные. Окончательно ущерб рассчитывается после окончания сроков расследования последствий воздействия информационного процесса и получения всех необходимых данных. Составляющие ущерба могут быть рассчитаны независимо друг от друга.

Ущерб от текущего состояния информационного процесса может быть выражен в общем виде формулой [7]:

$$D_A = D_{ПП} + D_{ЛА} + D_{СЭ} + D_{НВ} + D_{ЭК} + D_{ВТР}, \quad (3)$$

где D_A - полный ущерб от текущего состояния информационного процесса, у.е.;

$D_{ПП}$ - прямые потери организаций, физических лиц и других участников информационного процесса, у.е.;

$D_{ЛА}$ - затраты на расследование последствий воздействия информационного процесса, у.е.;

$D_{СЭ}$ - социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), у.е.;

$D_{НВ}$ - косвенный ущерб, у.е.;

$D_{ЭК}$ - экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей природной среды), у.е.;

$D_{ВТР}$ - потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности.

Расчет ущербов в зависимости от состояния информационного оборудования

Для вычисления индекса ущерба информационного оборудования и систем управления, необходимо построить функции принадлежности ущербов d в зависимости от вероятности безотказной работы оборудования или системы управления Pr . Эксперту необходимо оценить по вероятности отказа оборудования или системы управления значения следующих термов: T_1 – очень малый ущерб; T_2 – малый ущерб; T_3 – средний ущерб, T_4 – высокий ущерб; T_5 – очень высокий ущерб. В результате получают графики соответствующих термов для определенных типов информационного оборудования или систем управления, один из этих графиков приведен ниже (рис. 1).

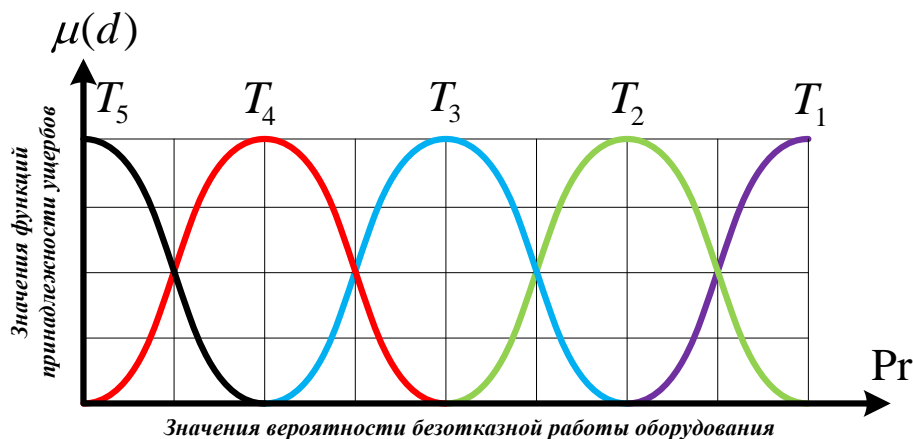


Рис.1. Функции принадлежности терм-множеств лингвистической переменной «ущерба от состояния информационного оборудования»

В качестве ОБ задают интервал вероятностей отказа информационного оборудования и систем управления в пределах от 0 % до n%, где верхний предел n определяется нормативной документацией. Относительно этого интервала и происходит вычисление индекса ущерба.

Индекс ущерба от состояния информационного процесса

В работе количественная оценка, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса S^* от ЦБ S_o по ущербам определена как индекс ущерба.

Для определения индекса ущерба от текущего состояния информационного процесса, как и для индекса безопасности, необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}_d^* с нечеткой ситуацией, которая характеризует ЦБ \tilde{S}_{do} . При этом степень их нечеткого равенства будем называть индексом ущерба от состояния информационного процесса:

$$In(\tilde{S}_d^*) = \nu(\tilde{S}_d^*, \tilde{S}_{do}) \& \nu(\tilde{S}_{do}, \tilde{S}_d^*), \quad (4)$$

где $In(\tilde{S}_d^*)$ – индекс ущерба от состояния информационного процесса.

Заметим, что индекс ущерба достигает своего минимального значения при совпадении рабочей точки процесса с ЦБ $\nu(\tilde{S}_{po}) = 0$. При удалении рабочей точки процесса от ЦБ индекс ущерба увеличивается. При выходе рабочей точки из области регламентного состояния, либо при достижении одной из границ этой области $In(\tilde{S}_d^*) = 1$.

При такой оценке безопасности процесса в области регламентного состояния можно выделить область безопасности следующим образом.

Процесс протекает в ОБ, если его индекс ущерба не выходит за рамки некоторой величины с $c \in [0,1]$ называемой границей информационной безопасности процесса по ущербам.

$$In(\tilde{S}_d^*) \leq c. \quad (5)$$

Индекс риска информационного процесса

В работе количественная оценка, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса S^* от ЦБ S_o , учитывающая как параметры информационного процесса, так и ущербы определена как индекс риска.

В работе под индексом риска принята следующая двойка:

$$In_{Risk}(\tilde{S}^*) = In(\tilde{S}_p^*) \& In(\tilde{S}_d^*),$$

Для определения индекса риска текущего состояния процесса необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию \tilde{S}^* с нечеткой ситуацией, которая характеризует ЦБ \tilde{S}_o . При этом степень их нечеткого равенства будем называть индексом риска информационного процесса:

$$In_{Risk}(\tilde{S}^*) = \nu(\tilde{S}^*, \tilde{S}_o) \& \nu(\tilde{S}_o, \tilde{S}^*), \quad (6)$$

где $In_{Risk}(\xi^*)$ – индекс риска текущего состояния информационного процесса.

Заметим, что индекс риска достигает своего минимального значения при совпадении рабочей точки процесса с ЦБ $B(\xi_0) = 0$. При удалении рабочей точки процесса от ЦБ индекс риска увеличивается. При выходе рабочей точки из области регламентного состояния, либо при достижении одной из границ этой области $In_{Risk}(\xi^*) = 1$.

При такой оценке безопасности процесса в области регламентного состояния можно выделить ОБ следующим образом.

Процесс протекает в ОБ, если его индекс риска не выходит за пределы некоторой величины $l \in [0,1]$ называемой границей информационной безопасности процесса по информационным параметрам и ущербам.

$$In_{Risk}(\xi^*) \leq l. \quad (7)$$

Таким образом, для организации управления безопасностью информационного процесса необходимо сформировать процесс получения достоверных сведений о параметрах и ущербах в условиях неопределенности. С целью снижения ее влияния следует объединить всю располагаемую информацию, представленную как накопленной статистикой, так и экспертными оценками. Алгоритм оценки текущей нечеткой ситуации был разработан в [12].

Градиентный метод управления информационным процессом с использованием индекса риска

Рассмотрим некоторый процесс, для которого определен ЦБ \tilde{s}_0 находящийся в ОБ, т.е. области функционирования информационного процесса, в которой значения параметров процесса и ущербов $p_i u d_j \in X$ находятся в заданном диапазоне.

Пусть в начальный момент времени t_0 рабочей точке процесса соответствует ситуация $\tilde{s}^0, s \in S$, характеризуемая состоянием процесса p^0 и ущербом $d^0, p u d \in X$. И пусть имеем однозначное отображение $f: X \times U \rightarrow X$ – модель объекта управления.

где S – множество возможных ситуаций;

X – множество возможных состояний процесса;

U – множество возможных значений управляющих параметров.

Вектор управления $\bar{u} = \langle u_1, u_2, \dots, u_w \rangle$ переводит процесс из одного состояния в другое. Причем такое функционирование информационной системы, т.е. ее переходы из состояния в состояние, описывается системой уравнений состояния

$$\begin{aligned} p_t &= f(p_{t-1}, u_{t-1}), & t \in \overline{1, t_K} \\ d_t &= f(d_{t-1}, u_{t-1}), & t \in \overline{1, t_K} \end{aligned}$$

Состоянию процесса (т.е. определенному набору параметров и ущербов) в любой момент времени $p_t, t = 0, 1, \dots, t_K$ будет соответствовать нечеткая ситуация \tilde{s}^t .

При таком подходе задача управления информационным процессом будет заключаться в том, чтобы определить такой вектор управления процессом \bar{u}_D , который переводит рабочую точку процесса \tilde{s}^* в ОБ.

Другими словами, задача управления информационным процессом заключается в выборе вектора управления \bar{u}_D , осуществляющего переход к ситуации, имеющей минимальный индекс риска In_{Risk} .

Задача принятия оптимального решения по управлению информационным процессом может быть сведена к задаче минимизации целевой функции вида:

$$E(u_k, p_i, d_j) = In_{Risk}(u_k, p_i, d_j)$$

при заданном ограничении на вектор управления данным процессом, зависящем от технологии производства

$$E(u_k, p_i, d_j) \rightarrow \min \text{ при } u_k \in [u_k^{\min}, u_k^{\max}]$$

где u_k^{\min} – минимальное допустимое значение управления;

u_k^{\max} – максимальное допустимое значение управления.

Для решения поставленной задачи будем использовать итеративный градиентный метод [8, 9].

Поиск оптимума при использовании градиентного метода производится в два этапа. На первом находят значения частных производных целевой функции по всем независимым переменным, которые определяют направление градиента в рассматриваемой точке. На втором этапе осуществляется шаг в направлении, обратном направлению градиента, т.е. в направлении наибоыстрейшего убывания целевой функции [9].

При выполнении шага одновременно изменяются значения всех независимых переменных. Каждая из них получает приращение, пропорциональное соответствующей составляющей градиента по данной оси [10].

Для начальной точки спуска независимые переменные u_w задаются нулевыми значениями для первого пуска информационного процесса или текущими значениями в процессе его работы.

Таким образом, задав начальную точку, можно приступить к поиску оптимума.

Формула спуска градиента целевой функции имеет следующий вид [11]:

$$u_k^{(g+1)} = u_k^{(g)} - h \cdot \nabla E(u_k^{(g)}, p_i^{(g)}, d_j^{(g)}) \quad (8)$$

где $\nabla E(u_k^{(g)}, p_i^{(g)}, d_j^{(g)})$ – градиент целевой функции $E(u_k, p_i, d_j)$ на g -ом шаге итерации.

$$\nabla E(u_k, p_i, d_j) = \left(\frac{\partial E(u_k, p_i, d_j)}{\partial u_1}, \frac{\partial E(u_k, p_i, d_j)}{\partial u_2}, \dots, \frac{\partial E(u_k, p_i, d_j)}{\partial u_w} \right)^T$$

Так как аналитический расчет частных производных целевой функции в нашем случае очень громоздок, то для вычисления их значений можно прибегнуть к приближенному соотношению [11]:

$$\frac{\partial E(u_k, p_i, d_j)}{\partial u_k} \approx \frac{\partial [In(u_k, p_i, d_j)]}{\partial u_k} = \frac{In(u_k + \Delta u_k, p_i, d_j) - In(u_k, p_i, d_j)}{\Delta u_k} \quad (9)$$

Для определения величины шага h проанализируем функцию

$$\Phi(\mathbf{u}) = E \left[\sum_k \left(h \cdot \nabla E(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right)^2 \right] \quad (10)$$

определяющую значение функции $E(\mathbf{u})$ в зависимости от величины шага h по выбранному направлению.

Величина шага h должна быть выбрана таким образом, чтобы функция $\Phi(\mathbf{u})$ имела при этом значении минимум. Поэтому можно записать необходимое для данного случая условие:

$$\frac{d}{dh} E \left[\sum_k \left(h \cdot \nabla E(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right)^2 \right] = 0. \quad (11)$$

Если вид функции $f_k(\mathbf{u}, p_i, d_j)$ известен в явной форме, то условие (11) позволяет найти также в явном виде уравнение относительно одной неизвестной h .

Хорошие результаты можно получить, применив приближенный метод расчета h [11].

Для функции $\Phi(\mathbf{u})$ (10) может быть представлено в виде:

$$\Phi(\mathbf{u}) = \sum_{k=1}^w f_k \left[\sum_k \left(h \cdot \nabla E(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right)^2 \right]. \quad (12)$$

Разложим функции $f_k(\mathbf{u}, p_i, d_j)$, стоящие под знаком суммы, в ряд по степеням параметра h с точностью до членов первого порядка малости. Это можно сделать, если предположить, что h – малая величина, степенями которой выше первой можно пренебречь [11].

Тогда

$$\Phi(\mathbf{u}) = \sum_{k=1}^w \left[f_k(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \cdot h \cdot \frac{\partial f_k(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)})}{\partial u_k} \cdot \nabla E(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right], \quad (13)$$

где $\frac{\partial f_k}{\partial u_k} = \left[\frac{\partial f_k}{\partial u_1}, \frac{\partial f_k}{\partial u_2}, \dots, \frac{\partial f_k}{\partial u_w} \right]$.

Выполняя дифференцирование (13), получим

$$\frac{d\Phi(\mathbf{u})}{dh} = -2 \sum_{k=1}^w \left\{ \left[\frac{\partial f_k(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)})}{\partial u_k} \cdot \nabla E(\mathbf{u}, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right] \right\} = 0. \quad (14)$$

Из выражения (14) можно определить оптимальное значение шага h :

$$h_k = \frac{\sum_{k=1}^w \left[\frac{\partial f_k(\tilde{u}_k, p_i^{(r)}, d_j^{(r)})}{\partial u_k} \cdot \nabla E(\tilde{u}_k, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right]}{\sum_{k=1}^w \left[\frac{\partial f_k(\tilde{u}_k, p_i^{(r)}, d_j^{(r)})}{\partial u_k} \cdot \nabla E(\tilde{u}_k, p_i^{(r)}, d_j^{(r)}) \right]^2}. \quad (15)$$

Рассмотрим пошаговую работу модели управления информационным процессом:

1. Вводятся начальные или текущие значения параметров управления.
2. Проводится измерение информационных параметров процесса и расчет ущербов.

3. Проводится оценка центра безопасности \tilde{S}_0 .

4. Проводится оценка текущей нечеткой ситуации \tilde{S}^T .

5. Определяется индекс риска $In_{Risk}(\tilde{S})$.

6. Определяется выполнение условия $In_{Risk}(\tilde{S}) < b$, т.е. определяется нахождение индекса риска в четко установленных границах (области безопасности). Если условие выполняется, то осуществляется применение параметров управления. В противном случае задается вид целевой функции $E(\tilde{S}) := In_{Risk}(\tilde{S})$.

7. Определяется градиент целевой функции $\nabla E(\tilde{S})$.

8. Определяется оптимальный шаг h .

9. Осуществляется спуск градиента целевой функции $u_k := u_k - h \cdot \nabla E(\tilde{S})$, т.е. осуществляется шаг в направлении, обратном направлению градиента, т.е. в направлении наибоыстрейшего убывания целевой функции.

10. Определяется выполнение условия $u_k \leq u_k^{\max}$, т.е. определяется возможность осуществления управления информационными параметрами. Если условие не выполняется, то управлению присваивается максимальное значение $u_k := u_k^{\max}$. Если условие выполняется, то производится прогноз на модели объекта управления (ОУ) новой ситуации \tilde{S} .

11. Если ситуация, полученная в результате моделирования, входит в ОБ процесса принимается решение о применении параметров управления. В противном случае шаги 7-10 повторяются.

Заключение

Таким образом, в работе рассмотрена методика определения индекса информационной надежности процесса и алгоритм выбора рискоустойчивого управления на его основе. Сформулирована одна из возможных постановок задач управления информационным процессом, которая решена с помощью градиентного метода, где в качестве критерия управления выступает индекс риска. Данный подход позволяет уменьшить потери, возникающие при функционировании системы, и стабилизирует ее работу в области рабочих режимов.

Литература

1. ГОСТ 27.001-89. Система стандартов "Надежность в технике". Основные положения: введ. с 01.01.1981. М., 1980. -136. с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: введ. с 01.07.1990. М., 1990. -128 с.
3. ГОСТ 27.003-90. Состав и общие правила задания требований по надежности: введ. с 01.01.1992. М., 1991. -103 с.
4. ГОСТ 27.203-83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности: введ. с 01.07.1984. М., 1984. -162 с.
5. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технологические требования к методам оценки надежности по параметрам производства: введ. с 01.01.1985. М., 1984. - 155 с.
6. ГОСТ 27.410-83. Надежность в технике. Методы и планы статистического контроля показателей надежности по альтернативному признаку: введ. с 01.01.1985, 01.01.1990. М., 1984. -132 с.
7. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах РД 03-496-02. -166 с.
8. Кафаров, В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. - М.: Химия, 1974. - 345 с.
9. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии /В.В. Кафаров. - М.: Химия, 1971. - 496 с.
10. Волошук, В.М. Кинетическая теория коагуляции / В.М. Волошук. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. -283 с.
11. Демидович, Б.П., Марон, И.А. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М., Физматгиз, 1963. - 659 с.
12. Морозов, И.Н. Управление технологическим процессом каталитической очистки газов на основе оценки индекса риска: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Морозов Иван Николаевич. – Апатиты, 2010. – 196 с.

Сведения об авторах

Морозов Иван Николаевич

к.т.н., младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences. Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS, Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульской обл., ул. Дружбы, д. 8

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University).

Богатиков Валерий Николаевич

д.т.н. ведущий научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: ybnbgtk@iimm.kolasc.net.ru

Valery N. Bogatikov

Dr. of Sci. (Tech.) leading researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS, Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

И.Е. Кириллов¹, А.Е. Пророков²

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЛИЯНИЯ ЦЕЛЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация

В статье представлены варианты решения задач по определению области надежного функционирования информационных систем при определенных финансовых ограничениях. Проводится постановка задачи и анализ возможности применения метода слияния целей и ограничений.

Ключевые слова:

единое информационное пространство, нечеткая логика, управление.

I.E. Kirillov, A.E. Prorokov

APPLICATION OF THE METHOD OF MERGE OF THE PURPOSES AND RESTRICTIONS TO THE DECISION OF THE PROBLEM OF DEFINITION OF AREA OF RELIABLE FUNCTIONING OF INFORMATION SYSTEMS

Abstract

In article variants of the decision of problems by definition of area of reliable functioning of information systems at certain financial restrictions are presented. Statement of a problem and the analysis of possibility of application of a method of merge of the purposes and restrictions is spent.

Key words:

common information space, fuzzy logic, control.

Постановка задачи определения надежности информационных систем

Одной из центральных проблем при проектировании, производстве и эксплуатации информационных систем (ИС) является проблема обеспечения надежности. Согласно ГОСТ 27.002 «Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования». Любая информационная система состоит из разнородных элементов – сетевых карт, серверов, каналов связи и т.д., следовательно, можно сделать вывод о том, что для надежного функционирования всей системы необходимо надежное функционирование всех элементов. Так же существует ряд причин, по которым задача обеспечения надежности функционирования информационных систем является сложной:

1. Неоднородность структуры данных систем.
2. Разнородность структуры конкретных элементов систем.
3. Алгоритмы функционирования, которые не всегда можно описать в четком виде.

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Менделеева

Для оценки надежности сложной информационной системы необходимо определиться с вопросом оценки надежности его отдельных элементов и связей между ними. На практике, в зависимости от решаемых задач и рассматриваемых ситуаций, используются различные показатели, которые относятся к одной из четырех категорий:

1. Показатели безотказности: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, средняя наработка на отказ, гамма-процентная наработка до отказа, интенсивность отказов, параметр потока отказов, средняя доля безотказной наработки, плотность распределения времени безотказной работы.

2. Показатели долговечности: средний ресурс, гамма-процентный ресурс, назначенный ресурс, средний срок службы, гамма-процентный срок службы, назначенный срок службы.

3. Показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления работоспособного состояния, среднее время восстановления работоспособного состояния, интенсивность восстановления.

4. Показатели сохраняемости: средний срок сохраняемости, гамма-процентный срок сохраняемости.

Различные показатели можно применять при исследовании надежности элемента информационной системы в зависимости от свойств данного элемента, при этом возникают сложности, связанные с оценкой надежности их соединений, вызванные разнородностью объектов и самих показателей.

В связи с данными обстоятельствами необходимо ввести общий критерий надежности, универсальный для всех элементов, связей и ситуаций, который позволял бы оценивать их надежность в одинаковых единицах. В теории надежности существуют несколько комплексных показателей надежности:

- 1) коэффициент готовности;
- 2) коэффициент оперативной готовности;
- 3) коэффициент технического использования;
- 4) коэффициент планируемого применения;
- 5) коэффициент сохранения эффективности.

Данные показатели нельзя использовать к определению надежности всех элементов информационной системы, что объясняется разнообразием её элементов. Для решения вопроса определения «универсального» показателя надежности можно использовать аппарат теории нечетких множеств.

Любой из показателей надежности можно представить в нечетком виде. Например, если для определенного элемента у нас известна вероятность безотказной работы, её можно представить в виде нечеткой функции принадлежности, представленной на рис. 1.

В данном примере имеется своего рода "шкала" с функциями, описывающими принадлежность вероятностей безотказной работы к нечетким определениям: "низкая", "средняя" и т. д.

Задавая точку – А, соответствующую вероятности безотказной работы элемента на оси абсцисс, с помощью проекции от точек пересечения функций принадлежности и перпендикуляра, проведенного из данной точки, можно вычислить значения принадлежности показателя надежности к тому или иному нечеткому определению, в данном примере точки В и С. Таким образом выполняется операция фаззификации - сопоставление множеству значений

аргумента функции принадлежности, т.е. перевод четких значений в нечеткий формат.

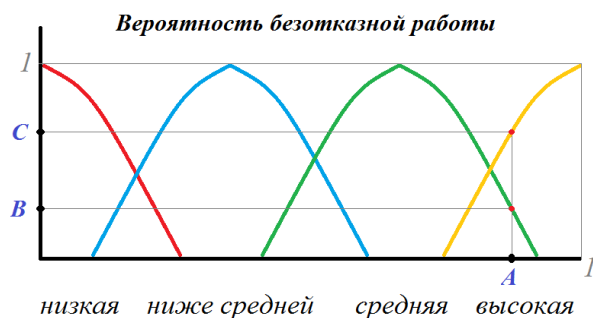


Рис.1. Нечеткая функция принадлежности показателя безотказной работы

Если мы можем определить для нашего элемента такой показатель как интенсивность восстановления, то и его можно представить в подобном виде.

Далее для «универсального» показателя надежности можно построить свои функции принадлежности (рис. 2), и затем составить ряд лингвистических правил связывающие отдельные показатели, и приводящие их нечеткое определение к нечеткому определению «универсального» показателя.

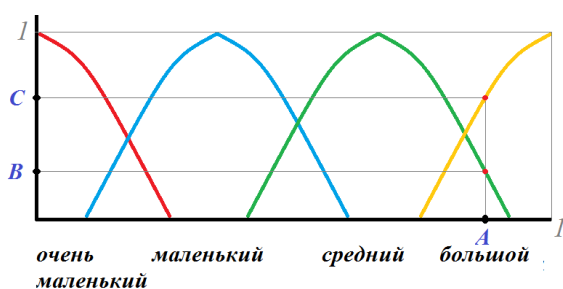


Рис.2. Нечеткая функция принадлежности «универсального» показателя надежности

Правила могут иметь следующий вид:

ЕСЛИ вероятность безотказной работы = «высокая» И интенсивность восстановления = «высокая», ТО «универсальный» показатель = «высокий».

Таким образом, совокупность всех составленных правил даст нам возможность вычисления нечеткого значения нашего «универсального» показателя. Затем с помощью методов известных в теории нечетких множеств можно провести операцию дефазификации и привести значение «универсального показателя» к четкому виду, причем значения данного показателя будет варьироваться в пределах от 0 до 1 в независимости от того, сколько исходных показателей мы использовали.

Достоинством данного подхода является то, что при вычислении «универсального» показателя помимо исходных показателей надежности, можно учитывать и другие внешние факторы, которые можно представить в

нечетком виде, например температуру среды, в которой функционирует объект или влажность.

Если рассматривать задачу определения надежности функционирования не конкретных элементов ИС, а всего ИС в целом, можно использовать топологический метод представления надежности системы. Метод основан на использовании математического аппарата Марковских процессов (вероятность нахождения системы в каком-либо состоянии в будущем не зависит от прошлых состояний системы).

Обозначим X как множество состояний системы:

$$X = \{x_i, i \in I, i = \overline{1, n}\},$$

где x_i – i -е состояние, I – множество индексов всех возможных состояний системы, n – количество возможных состояний системы.

Разобьем множество X на два подмножества:

– работоспособные состояния системы X_p :

$$X_p = \{x_i, i \in I_p \subset I\},$$

где I_p – множество индексов работоспособных состояний системы;

– неработоспособные состояния системы \overline{X}_p .

$$\overline{X}_p = \{x_i, i \in J \subset I\},$$

Таким образом, с использованием введенных обозначений все состояния ИС можно представить в виде графа, пример которого приведен на рис. 3.

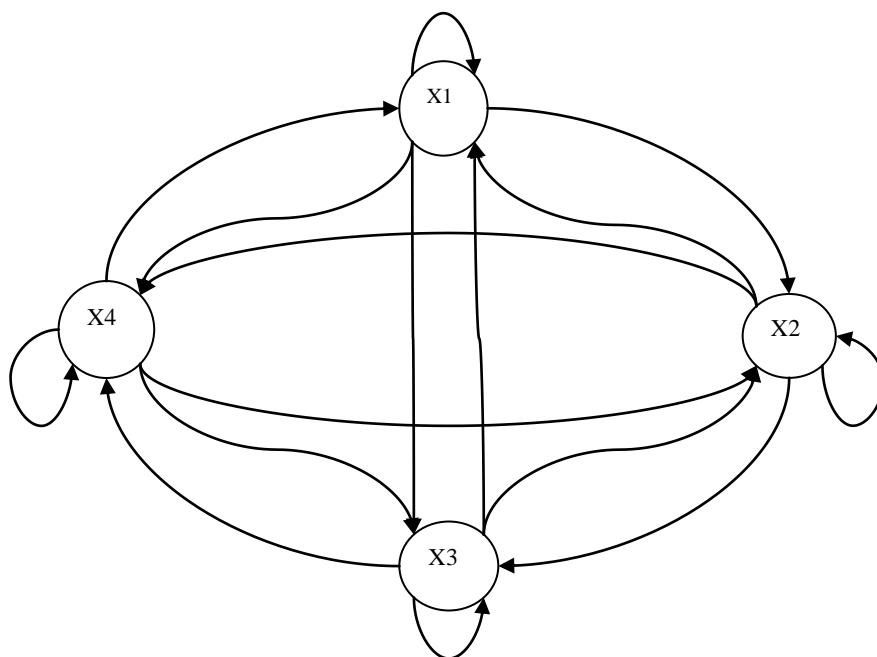


Рис.3. Пример вероятностного графа состояний

Каждое состояние, в котором может находиться система, можно охарактеризовать индексом надежности, который может быть рассчитан по методике, описанной выше. Обозначим эту величину как ind_X_i .

Следовательно, в самом общем случае индекс надежности всей системы можно представить как сумму индексов надежности всех элементов системы:

$$\Phi = \sum_{i=1}^g ind_x_i . \quad (1)$$

Здесь x_i – индекс надежности состояния, g – количество элементов графа (число состояний). Значение данной функции должно стремиться к максимуму.

Если оценивать надежность каждого состояния условным значением от 0 до 1, то максимально возможное значение Φ будет равно сумме количества узлов, в данном случае g . Таким образом, можно записать следующий критерий:

$$\Phi = \sum_{i=1}^g ind_x_i \rightarrow g . \quad (2)$$

На достижение данного критерия влияют ограничения, накладываемые на отдельные узлы графа. В качестве данных ограничений может выступать объем финансирования.

Пояснить влияние размера финансирования на надежность конкретного элемента можно с помощью иллюстрации на рис. 4:

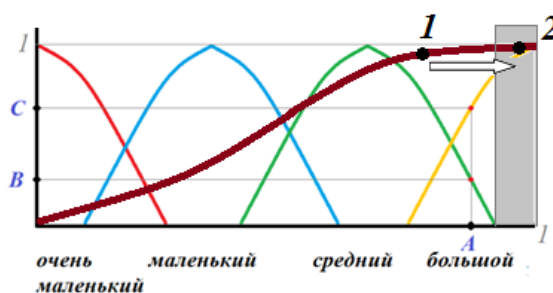


Рис.4. Влияние размеров финансирования на надежность

Допустим при вычислении индекса надежности состояния было получено значение точки 1, однако допустимой областью функционирования является выделенная область, в которую данная точка не попадает, т.е. надежность элемента отрицательно влияет на надежность системы в целом, в этом случае, при дополнительном финансировании выделяемом для повышения индекса надежности элемента можно сдвинуть данную точку в точку 2, при достаточном финансировании это можно сделать для всех узлов системы. Если финансирование не достаточно, т.е. существуют некоторые ограничения, возникает задача оптимального распределения финансов на различные узлы.

Обозначим общий объем финансирования выделяемого на данные цели как C , тогда ограничение будет сводиться к тому, что сумма средств направленных на обслуживание конкретных узлов не должна превышать общего объема финансирования.

$$0 < \sum_{i=1}^g p_i \leq C,$$

здесь p_i – средства, выделяемые на повышение индекса надежности состояния.

Также необходимо отметить тот факт, что в явном виде в связи со спецификой данных ограничений их удастся представить не всегда, поэтому необходимо использовать аппарат нечеткой логики. Обоснование её применения и другую подробную информацию можно найти в [1-3].

Применение метода слияния целей и ограничений

Поскольку структура ИС, алгоритмы её функционирования и особенности структурных элементов сильно отличаются друг от друга, часто не могут быть описаны в явном виде возникает необходимость применения специфических методов, с помощью которых можно учесть данные обстоятельства. Одним из таких методов, аппарата нечеткой логики, является метод слияния целей и ограничений.

В общепринятом подходе главными элементами процесса принятия решения являются: а) множество альтернатив; б) множество ограничений, которые необходимо учитывать при выборе между различными альтернативами; в) функция предпочтительности, ставящая каждой альтернативе в соответствие выигрыш (или проигрыш), который будет получен в результате выбора этой альтернативы.

При рассмотрении этого процесса с более общих позиций принятия решений в нечётких условиях естественно представляется другая логическая схема, важнейшей чертой которой является симметрия по отношению к целям и ограничениям. Эта симметрия устраняет различия между целями и ограничениями и позволяет довольно просто сформировать на их основе решение [4].

При использовании метода слияния целей и ограничений для решения задачи повышения надежности ИС в качестве вариантов решений будут выступать комбинации значений возможного финансирования различных состояний из множества возможных состояний Q . В данном случае необходимо, чтобы Φ , из критерия 4, стремилось к максимально возможному значению равному g . Целью при решении задачи оптимизации в данном случае будет:

$$\Phi = \sum_{i=1}^g ind_{x_i} \rightarrow \max,$$

при ограничении

$$0 < \sum_{i=1}^g p_i \leq C,$$

здесь p_i – средства, выделяемые на содержание информационной системы, для i состояния.

Исходя из условий задачи, максимальное значение Φ будет равняться g .

Чем ниже показатель надежности состояния, тем больше необходимо финансирования для него, при превышении определенного размера финансирования показатель надежности перестанет меняться т.к. достигнет максимального значения. Функцию связи параметра надежности и

финансирования в явном виде представить затруднительно, однако с помощью аппарата нечеткой логики данную зависимость можно описать.

Размеры финансирования, выделяемые на определенный узел так же можно представить в нечетком виде, как и любой показатель надежности, затем совместно с экспертом можно связать нечеткие значения финансирования со значениями показателя надежности блоком логических правил. Проведя операцию дефазификации на следующем этапе можно получить значения показателя надежности состояния, данная структура представлена на рис. 5.

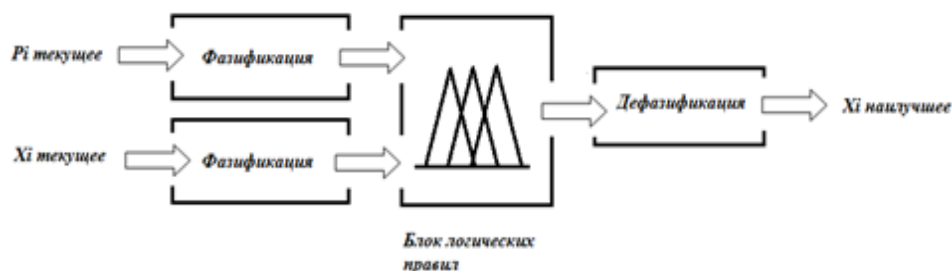


Рис.5. Структура системы оценки надежности системы при определенных объемах финансирования

Если допустить возможность наличия некоторой погрешности при решении данной задачи, то ограничения на нечеткую цель могут выглядеть следующим образом:

$$g - w \leq \sum_{i=1}^g ind_x_i \leq g \cdot \quad (5)$$

Здесь w – допустимая погрешность решения.

Данную нечеткую цель можно представить как нечеткое множество с функцией принадлежности, определяемой по формуле 8:

$$\mu(Q) = \begin{cases} 0, \sum_{i=1}^g ind_x_i \leq g - w \\ \left(\sum_{i=1}^g ind_x_i \right) / (g), \left(\sum_{i=1}^g x_i \right) \leq g \\ 0, \sum_{i=1}^g ind_x_i \geq g \end{cases} \cdot \quad (6)$$

Как уже было сказано выше, вид нечетких ограничений, влияющие на решение поставленной задачи, будет индивидуален в каждом конкретном случае, но для примера возьмем ограничения, накладываемые на финансирование всех состояний ИС, обозначим данное ограничение символом S . Их так же можно представить как нечеткие множества:

$$\mu_c = \begin{cases} 0, \sum_{i=1}^g p_i > C \\ 1/(1 + C - \sum_{i=1}^g p_i), \sum_{i=1}^g p_i \leq C \\ 0, \sum_{i=1}^g p_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Нечетким решением поставленной задачи будет множество Р, представляющее собой пересечение множества альтернатив и множеств ограничений: $P = Q \cap C$.

Функция принадлежности для пересечений примет вид:

$$\mu_{Q \cap C} = \begin{cases} 0, \sum_{i=1}^g ind_x_i \leq g - w \\ Min(\mu_Q, \mu_C), \left(\sum_{i=1}^g ind_x_i \right) \leq g \\ 0, \sum_{i=1}^g ind_x_i \geq g \end{cases} \quad (8)$$

Дальнейший алгоритм решения может быть следующим: последовательно меняя объемы финансирования для каждого конкретного состояния определяются по нечеткой модели, представленной на рис. 4, значения ind_Xi , это позволяет вычислить значение функции принадлежности к нечеткому решению учитывающему нечеткую цель и ограничения. Рассмотрев все возможные варианты решений можно сформировать область функционирования ИС при определенных объемах финансирования. Иллюстрацией данного решения служит рис. 6.

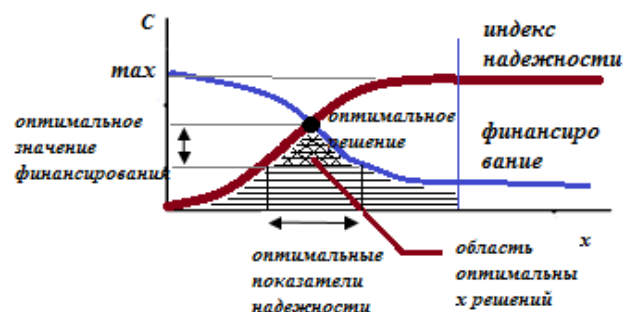


Рис.6. Область допустимых индексов надежности при ограниченном финансировании

При низком значении индекса надежности системы необходимо увеличивать размеры финансирования, при этом - индекс надежности начинает увеличиваться, но до определенного момента пока не достигнет возможного максимального значения. После этого дополнительные средства вкладывать бессмысленно. Поскольку размеры финансирования ограничены, то максимальное значение может быть не достигнуто, но могут быть получены

решения, удовлетворяющие как нечеткой цели, так и нечетким ограничениям (область решений), на рисунке это заштрихованная область.

Точка, соответствующая оптимальному решению показывает возможный максимум индекса надежности системы при определенных ограничениях на финансирование. Если ограничения будут увеличены, то данная точка будет перемещаться влево, т.е. в сторону уменьшения значения индекса надежности и наоборот. Область вокруг данной точки содержит множество оптимальных решений поставленной задачи.

Заключение

Применение данного подхода позволяет выявить область значений параметров, влияющих на надежность функционирования ИС. В дальнейшем в данной области возможно выявить наиболее рациональную точку, соответствующую значениям параметров ИС, при которых её функционирование будет наиболее надежно.

Литература

1. Заде, Л.А. Тени нечетких множеств / Л.А. Заде // Проблемы передачи информации. - 1966. – Т. II, вып. 1. -С.7-44.
2. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений /Л.А. Заде //Математика сегодня. -М.: Знание, 1974. - С.5-49.
3. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений /Л.А.Заде. -М.:Мир, 1976. -165 с.
4. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. - Режим доступа <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book5/references.php>

Сведения об авторах

Кириллов Иван Евгеньевич

к.т.н, младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: kirillov@rambler.ru

Ivan E. Kirillov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульская область, ул. Дружбы, д. 8.

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleyev Russian Chemical-Technological University).

УДК 004.7, 004.45

М.Г. Шишаев, М.Л. Куимов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ
МОБИЛЬНОЙ СЕТИ С МЕТРИКОЙ НА БАЗЕ ЧАСТОТЫ
ВСТРЕЧАЕМОСТИ УЗЛОВ***

Аннотация

Предложен метод организации динамической сети на базе мобильных узлов, использующий маршрутные метрики, основанные на частоте взаимной встречаемости узлов. Рассмотрена программная имитационная модель основанной на методе динамической сети. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова:

динамическая сеть, вектор расстояний.

M.G. Shishaev, M.L. Kuimov

**MODELLING DYNAMIC SELFORGANISING MOBILE NETWORK
WITH THE METRICS ON THE BASIS OF FREQUENCY OF NODES MEETINGS**

Abstract

The method of the organization of a dynamic mobile network, using the routing metrics based on frequency of nodes meetings is offered. The imitation model of the dynamic network based on a method is considered. Results of computing experiment are presented.

Keywords:

dynamic network, distance vector.

Введение

Одной из перспективных современных технологий сетей связи, претерпевающих сегодня быстрое развитие, являются динамические самоорганизующиеся сети. Отличительной особенностью таких сетей является то, что топология соединения узлов сети является динамичной во времени и в ряде случаев может формироваться «на лету» [1]. Перспективной разновидностью динамических сетей являются сети, основанные на мобильных в пространстве узлах [2]. В динамических сетях на базе мобильных узлов (динамических мобильных сетях) эффект нестационарности топологии еще выше, так как кроме фактора нахождения узла в активном (включенном) состоянии действует фактор относительного перемещения узлов в пространстве. Разумеется, алгоритмы функционирования мобильных сетей существенно сложнее в сравнении с динамическими сетями на базе стационарных устройств. Однако сложностью алгоритмов мы расплачиваемся за их важнейшие достоинства - высокий уровень отказоустойчивости, масштабируемости, наращиваемости сети [3].

* Работа выполнена при финансовой поддержке ОНИТ РАН (проект №2.4 Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Информационные технологии методы анализа сложных систем»).

В данной работе предложен метод организации динамической мобильной сети, использующий маршрутные метрики на базе частоты взаимной встречаемости узлов, а также программная имитационная модель основанной на нем сети. Целью вычислительного эксперимента, организованного на базе имитационной модели, на данном этапе являлась проверка работоспособности метода и получение предварительной оценки его эффективности с точки зрения доли и скорости доставки блоков данных между узлами. Данная работа подразумевает дальнейшее развитие в направлении полномасштабного исследования эффективности предложенных алгоритмов при различных эксплуатационных условиях.

Проблема передачи информации в условиях мобильности узлов сети

В традиционных коммуникационных сетях решения о маршрутизации потоков данных опираются на представленную в том или ином виде топологию сети, в которой отобразено, как устройства соединены друг с другом, и через какие каналы пересылка данных от одного устройства другому будет наиболее эффективна.

Основная проблема при разработке динамических сетей с мобильными узлами заключается в невозможности построения подобной топологии, поскольку все элементы сети имеют свойство перемещаться, а беспроводное соединение имеет ограниченный радиус действия (зону покрытия сети). Если представить динамическую сеть в виде взвешенного графа, где вершины будут обозначать узлы сети, а вес дуги будет означать вероятность нахождения соответствующей линии связи в активном состоянии (нахождении пары инцидентных вершин в зоне действия приемопередающей аппаратуры друг друга), то сеть, основанная на мобильных узлах, будет моделироваться полносвязным взвешенным графом, веса дуг которого будут функцией времени, имеющей область значений от 0 до 1.

В подобных условиях обеспечить гарантированную доставку блоков данных между парой узлов не представляется возможным. Одним из практически реализуемых подходов при этом является маршрутизация данных в направлении наиболее вероятного местонахождения адресата. В данной работе рассматривается алгоритм формирования и функционирования динамической мобильной сети, реализующей такой подход на базе сетевой метрики, характеризующей частоту взаимной встречаемости узлов. Проиллюстрируем основную проблему динамических мобильных сетей и идею предлагаемого подхода к ее решению простым примером.

На рис. 1. изображена схема небольшой динамической сети в зоне действия 2х устройств с идентификаторами 2 и 3. Устройства 1 и 3 находятся в зоне покрытия устройства 2, но не соединены друг с другом напрямую, поэтому могут обмениваться данными через устройство 2. Устройство 4 находится за пределами зоны покрытия устройства 2, но оно соединено с устройством 3. В итоге при возникновении необходимости передать данные от устройства 1 к 4 маршрут движения будет 1-2-3-4 или 1-2-5-3-4. Выбирается наиболее короткий – первый.

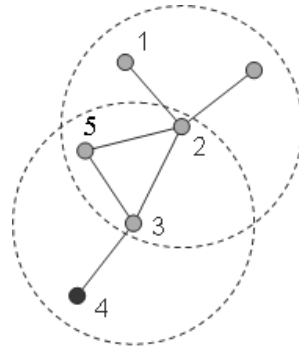


Рис.1. Динамическая коммуникационная сеть в момент времени А

Предположим, что устройство 1 отправляет данные устройству 4.

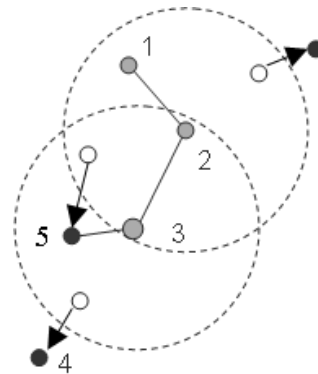


Рис.2. Динамическая коммуникационная сеть в момент времени В

Однако, на рис. 2 приведён пример той же сети в другой момент времени. Допустим это момент времени, равный передаче данных из устройства 1 на устройство 3. Несколько устройств остались на своих местах, однако несколько - переместились на некоторое расстояние. В их числе переместилось и устройство 4, и тем самым вышло из зоны покрытия устройства 3.

Результат – данные не доставлены. В лучшем случае устройство 3 будет хранить данные у себя до следующей связи с устройством 4 и передаст их тогда, однако неизвестна частота соединения 3 и 4. Если она мала, то данные будут доставлены с огромной задержкой.

Однако в данной системе передвинулось также устройство 5. Предположим, что при этом по статистике устройство 5 гораздо чаще соединяется с устройством 4, поэтому рациональнее передать данные устройству 5, чтобы оно при следующем контакте с 4 доставило данные получателю.

Механизм передачи данных

В исследуемом подходе к организации динамических мобильных сетей в качестве собственно механизма маршрутизации данных используется алгоритм Беллмана-Форда, реализующий подход к маршрутизации на базе векторов расстояний [4]. Суть подхода заключается в том, что узлы сети поддерживают в

собственной памяти таблицу векторов расстояний до других узлов, периодически диагностируют состояния ближайшего сетевого окружения, обмениваются с соседями своими векторами расстояний, и на их основании каждый раз обновляют собственные таблицы. При этом среди всех альтернативных маршрутов до некоторого узла в качестве «рабочего» выбирается кратчайший в терминах используемой в сети метрики. Отличительной особенностью алгоритма является тот факт, что узел при этом не строит топологию сети, а лишь оперирует информацией, полученной от ближайших соседей.

При использовании данного алгоритма в динамической мобильной сети возникают две специфические проблемы:

1) динамичность состава ближайших соседей;

2) динамичность топологии сети в целом, и, как следствие, необходимость специальных механизмов взвешивания (присваивания метрики) потенциальных маршрутов.

Проблема динамичности топологии сети в целом в предлагаемом подходе решается путем взвешивания всех известных попарных соединений узлов количественной мерой, характеризующей вероятность фактической доступности данного соединения (нахождения узлов в радиусе действия приемопередающей аппаратуры друг друга). Тогда в качестве метрики маршрута может рассматриваться вероятность одновременной активности всех составляющих его попарных связей узлов.

Введем следующие обозначения:

$D^x(n_i)$ - «прямая» дистанция от узла x до узла n_i (вероятность попадания узла n_i в радиус действия узла x);

$D^x(n_i, n_j)$ - дистанция от узла x до узла n_i через узел n_j .

Тогда

$$D^x(n_i, n_j) = D^x(n_j) \times \max_{\omega} D^{n_j}(n_i, \omega).$$

Для определения актуального на данный момент состава ближайших соседей и, одновременно, определения весов попарных связей каждое сетевое устройство (узел) осуществляет периодическую рассылку небольших служебных сообщений 'heartbeat' с частотой F . Получив подобное сообщение, узел обязан отправить отклик, идентифицирующий его нахождение в зоне действия узла-источника 'heartbeat'. Для каждого потенциального соседа n_i узел x ведет счетчик «встреч»:

$$f^T(x, n_i), \text{ где } T - \text{ период подсчета встреч.}$$

Тогда метрика прямого маршрута между x и n_i будет рассчитываться по формуле:

$$D^x(n_i) = \frac{f^T(x, n_i)}{T \times F}.$$

Кроме того, в соответствии с алгоритмом маршрутизации по вектору расстояния, каждый узел сети осуществляет периодическую, с частотой F' , рассылку своих векторов расстояний ближайшим соседям. При этом в общем случае $F' \leq F$.

В общем случае вектор расстояний узла x будет иметь вид квадратной матрицы с единичной диагональю:

1	$D^x(n_1, n_2)$	...	$D^x(n_1, n_K)$
$D^x(n_2, n_1)$	1	...	$D^x(n_2, n_K)$
...
$D^x(n_K, n_1)$	$D^x(n_K, n_2)$	...	1

Процедура маршрутизации блока данных узлом x в направлении узла n_i начинается с определения подмножества узлов, являющихся актуальными соседями исходного (находящихся в данный момент t в радиусе действия узла x):

$$N^x(t) \subseteq N,$$

где N – множество всех узлов сети.

Для передачи блока данных в направлении n_i выбирается маршрут, удовлетворяющий условию:

$$D^x(n_i, n_j) = \max_{\omega \in N^x(t)} D^{n_j}(n_i, \omega).$$

Алгоритм перемещения мобильных устройств

Важным аспектом рассматриваемой модели является алгоритм перемещения мобильных устройств. Предполагается, что коммуникационная сеть рассчитана на группу людей, работающих на относительно небольшой территории, и перемещающейся по ней в основном по некоторым типовым маршрутам (простой пример: группа геологов, проводящих исследование в необжитой местности). В связи с этим выделены 2 фактора перемещения:

1. Среда, в которой перемещаются мобильные устройства – двумерная, так как на открытой местности крайне мала вероятность того, что разница в вертикальном положении двух находящихся в достаточной близости по горизонтали устройств (людей с данными устройствами) больше 10 метров (стандартный диапазон для Bluetooth [5]).

2. На местности должны находиться как район, в котором проводятся непосредственно работы и где основную часть рабочего дня находятся сотрудники, так и район отдыха, где данные сотрудники в основном находятся, когда не работают.

В результате моделируемое пространство построено в системе XY координат. Расстояние за 1 метр в модели равно единичному отрезку. Вся площадь моделируемого пространства делится на районы. Каждому району присваивается идентификационный номер (ID) а также идентификатор типа – рабочая зона или зона отдыха. Пример представлен на рис. 3.

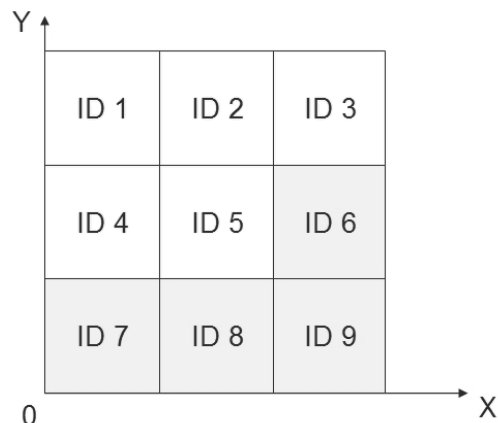


Рис.3. Пример разбиения рабочего пространства на блоки

Блоки с ID_1, ID_2, ID_3, ID_4, ID_5 – рабочие, а остальные – зона отдыха. Модель имеет агентную архитектуру – мобильные устройства, образующие сеть, представлены программными сущностями, обладающими, наряду с традиционными свойствами программных объектов (прежде всего - инкапсуляцией), интенциями – некими мотивами, побуждающими к активным действиям [6]. В данном случае такими интенциями является их периодическое перемещение из рабочих зон в зоны отдыха и наоборот. В программной реализации модели агент представлен классом «mobile_device». Каждому экземпляру класса mobile_device присваивается один рабочий блок и один блок отдыха. В процессе моделирования экземпляр будет «отдыхать» и «работать» в своих блоках, при этом перемещения между ними происходят в упрощённом формате – напрямую, с возможным небольшим отклонением. Также в классе mobile_device имеется дополнительное поле, которое определяет, «активный» экземпляр, или «пассивный». Активные мобильные устройства также перемещаются во время работы и отдыха, но при этом не выходят за пределы зоны.

Программная реализация модели

Модель реализована в виде консольного приложения. Некоторые особенности программной реализации обусловлены исследовательским назначением модели. В частности, с целью последующего анализа эффективности работы динамической коммуникационной сети при различных условиях, в программе реализована возможность сохранять статистику о переданных сообщениях в log-файле. Каждое сообщение сохраняется в виде структуры:

- ID сообщения;
- ID отправителя;
- ID получателя;
- моделируемое время отправления;
- моделируемое время доставки;
- маршрут следования сообщения.

Основной алгоритм работы программы представлен на рис. 4.

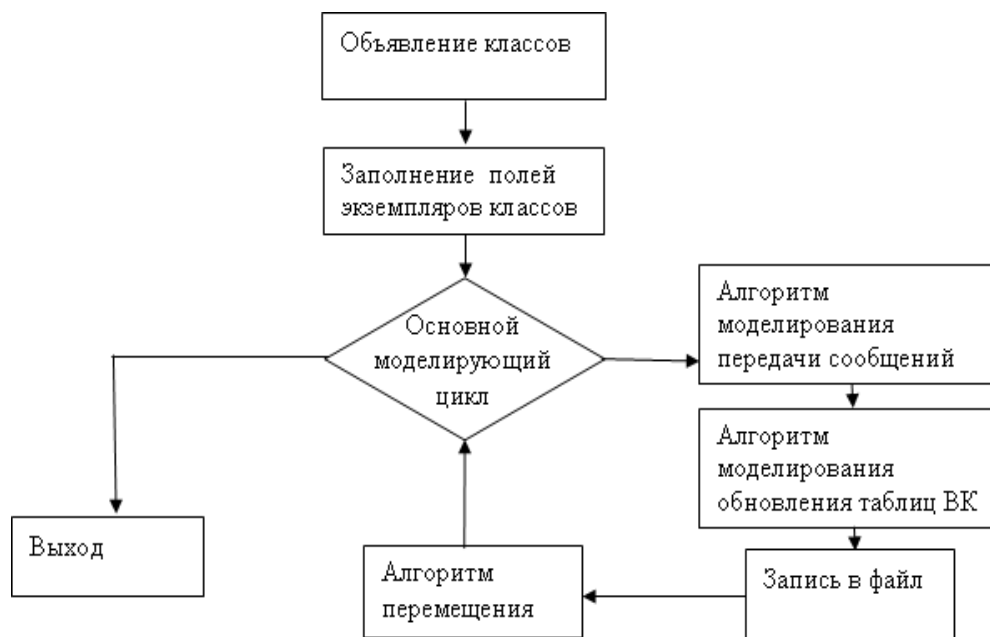


Рис.4. Алгоритм работы программы

Свойства основных классов программы – ‘mobile_device’ и ‘mess’ (мобильное устройство и сообщение, соответственно) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Свойства класса ‘mobile_device’, представляющего мобильный узел динамической сети

Mobile_device	Тип	Пояснение
Id	int	Персональный идентификатор
Coord_X	int	Координата x
Coord_Y	int	Координата y
mes	bool	Есть ли сообщение в устройстве
Log	mass int	Частота соединения с другими устройствами

Инициализация значений полей экземпляров классов (блок «Заполнение полей экземпляров классов») осуществляется следующими значениями «по умолчанию»:

- координаты XY задаются с помощью алгоритма псевдослучайного распределения устройств по блокам в моделируемом пространстве;
- сообщение, необходимое для передачи отсутствует;

- таблица векторов расстояний в начальном состоянии: метрики маршрутов к самим себе = 1, к остальным устройствам = 0.

Таблица 2

Свойства класса 'mess', представляющего передаваемое сообщение

Mess	Тип	Пояснение
ID	int	Персональный идентификатор (ID)
ID_sender	int	ID отправителя
ID_recip	int	ID получателя
ID_lastpassed	int	ID последнего пройденного промежуточного узла
path	mass int	Пройденный путь

Основной моделирующий цикл – цикл, моделирующий в программе процессы передачи сообщений и динамику изменения местоположения устройств с течением времени.

В связи с тем, что приложение консольное и вся статистическая информация сохраняется в log-файл текстового формата, общий размер программы не превышает 1 Mb.

Результаты вычислительного эксперимента

Важным аспектом, который учитывался при программной реализации модели, является проблема потребления вычислительных ресурсов. В связи с объёмным количеством вычислений программа может порой достаточно долго обрабатывать информацию, особенно при установленном большом количестве моделируемых узлов динамической сети. Для реализации вычислительного эксперимента с разработанной моделью на базе обычной персональной ЭВМ были введены дополнительные ограничения на структуру моделируемой сети. Моделируемая площадь рассредоточения узлов ограничивалась 90 000 квадратных метров (30x30 зон отдыха или работы), количество мобильных устройств ограничивалось 30-ю. Также была ограничена «активность» агентов в смысле частоты передачи пакетов: каждое устройство отправляет данные на каждом модельном шаге с вероятностью, равной 1%. Вместе с тем, при наличии более мощной вычислительной базы, моделирование с параметрами, отличающимися от приведённых выше, также возможно.

После реализации модели с установленными начальными данными (30 устройств на площади 90 000 квадратных метров) были получены следующие усредненные результаты:

- количество отправленных пакетов данных в среднем на эксперимент составляло 512 (регулировалась небольшими изменениями частоты отправки устройством блоков данных);

- среднее количество доставленных пакетов данных на момент завершения моделирования составило 478;

- преобладающее количество устройств в маршруте равно 5-6;
- минимальное время доставки = 2 сек;
- максимальное время доставки = 18 мин. 12 сек;
- максимальное время с момента отправки пакета, не доставленного до адресата в связи с окончанием работы модели, составило 7 мин. 49 сек.

Программная реализация модели на данном этапе упрощена и не ставит перед собой цели моделирования какой-либо конкретной среды применения для определения точных характеристик эффективности доставки данных. Вместе с тем, модель продемонстрировала работоспособность предложенного алгоритма передачи данных для динамической мобильной сети с метрикой на базе частоты встречаемости узлов.

Заключение

По результатам реализации модели можно судить о том, что данный алгоритм работоспособен, и доставляет данные с вероятностью 100% при выполнении трёх условий:

1) Устройство-адресат не должно покинуть данную сеть, то есть выйти из зоны покрытия всех остальных устройств в сети.

2) Для доставки сообщения необходимо поддерживать сеть в работоспособном состоянии. Определённое количество узлов должно быть активно постоянно.

3) Необходимо некоторое время для доставки данных. Чем больше узлов в сети, тем чаще будут происходить их соединения друг с другом, следовательно, возрастёт скорость доставки данных. Смоделированное количество 30ти узлов с возможностью соединения с другими устройствами на расстоянии 10 метров при площади территории сети, равной 90 000 квадратных метров достаточно мало. В среднем в один момент времени друг с другом соединены не более 6-7 устройств, отсюда высокое максимальное время доставки.

Также по результатам программного имитационного моделирования динамической мобильной сети можно сделать вывод о потенциальной практической реализуемости предложенной технологии на базе обычных мобильных устройств связи. Если учесть, что в практической реализации на каждом мобильном устройстве будет храниться лишь вектор расстояний, а технология Bluetooth не требовательна к ресурсам, имеет высокую пропускную способность и автоматически подключает все не закрытые паролями устройства в сеть при их расположении в зоне охвата, то приложение, реализующее сетевой функционал на узле, должно лишь обеспечивать опрос соседей, расчет векторов расстояний и выбор оптимально маршрута. Данное приложение не будет занимать много места и потреблять большое количество ресурсов, что для подобной сети является одним из первоочередных факторов - среди мобильных устройств элементами сети (маршрутизаторами) смогут выступать даже мобильные телефоны с ограниченными вычислительными возможностями – бюджетные или старые модели. Всё что необходимо – это поддержка распространённого языка программирования (например – Java), а также поддержка беспроводной сети (например – технологии Bluetooth с версии 1.2 включительно). Данные технологии поддерживаются 80% всех выпускаемых

с 2006-го года мобильных устройств, таких как: мобильные телефоны, смартфоны, коммуникаторы, PDA и ноутбуки.

Литература

1. Arunkumar Thangavelu, Sivanandam S.N (February 2007). "Location Identification and Vehicular Tracking for Vehicular Ad-Hoc Wireless Networks". IEEE Explorer 1 (2). –pp. 112–116.
2. Шишаев, М.Г. Современные технологии сетей типа ad-hoc и возможные подходы к организации одноранговых телекоммуникационных сетей на базе мобильных устройств малого радиуса действия /М.Г. Шишаев, С.А. Потаман // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С.70-74
3. Ляхов, А.И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности / А.И. Ляхов, И.А. Пустогаров, С.А. Шпилев // Информационные процессы, 2008.– Т.8, № 3 .– С.173–192.
4. Форд, Л. Потоки в сетях / Л. Форд, Д. Фулкерсон. -М.: Мир, 1966. -276 с.
5. Official Bluetooth SIG Member Website. Bluetooth Specifications. -Режим доступа: <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>
6. Маслобоев А.В. Обзор современного состояния технологии мультиагентных систем и перспективы ее развития / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов, М.Г. Шишаев // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2006. – Вып. VI. – С.6-12.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич

д.т.н., зав. лаборатории. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev

Dr. of Sci (Tech.) head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Куимов Максим Леонидович

соискатель. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

Maksim L. Kuimov

applicant. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.7, 004.45

С.С. Ковалёв¹; М.Г. Шишаев²

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫХ ПОЧТОВЫХ РАССЫЛОК

Аннотация

Приведен обзор используемых в настоящее время методов защиты пользователей электронной почты от нежелательных почтовых рассылок (спама), дана характеристика принципов их работы и недостатков, предложены принципы построения нового метода защиты от спама, решающего проблемы существующих методов.

Ключевые слова

спам, методы защиты от рассылок.

S.S. Kovalev, M.G. Shishaev

MODERN METHODS OF ANTI-SPAM PROTECTION

Abstract

Modern methods of protection of E-mail users from undesirable post mailings (spam) are observed. The principles of given methods and their lacks is given. Principles of a new method of protection against spam solving problems of existing methods are offered.

Keywords:

spam, protection against mailings.

Введение

Нежелательные почтовые рассылки (так называемый спам) в настоящее время стали серьёзной проблемой для пользователей электронной почты. По различным данным, доля спама в мировом Интернет-трафике составляет от 60 до 90%. Естественно, что это не может не сказываться на эффективности работы систем электронной почты, поэтому администратор любой почтовой системы желает получить наиболее эффективный и дешёвый способ защиты от спама.

В этой работе предложен краткий обзор ныне существующих методов защиты от спама, дана характеристика этих методов, описание их сильных и слабых сторон, а также определена потребность в разработке нового, более эффективного средства защиты.

Существующие в настоящее время методы борьбы со спамом можно разделить по способу их организации на две категории: распределённые и локальные. В отдельную категорию можно выделить закрытые методы, в том числе коммерческие.

Распределённые методы предполагают участие в сборе информации о спама от большого числа независимых почтовых систем, которые обмениваются данными между собой. Каждая из систем-участниц предоставляет необходимую

¹ ИТ ОАО «Апатит»

² ИИММ КНЦ РАН

(специфичную для каждого метода) информацию о проходящем через неё почтовом трафике, тем самым пополняя базу данных информации о спаме. Качество фильтрации достигается привлечением как можно большего числа участников и совершенствованием механизмов сбора и анализа информации о спаме. Чем больше точек сети предоставляют информацию о спаме и чем качественнее эта информация, тем полнее становится картина действий спамеров и тем эффективнее можно с ними бороться. Однако в рамках распределённых методов фильтрации спама отсутствует возможность тонкой настройки фильтра в отдельно взятой почтовой системе.

Локальные методы работают в рамках одной почтовой системы и не используют для работы внешних ресурсов. Так как эти методы не предполагают получения информации о спаме из внешних источников, то каждый раз при изменении вида входящих писем или тактики спамеров, приводящих к большому числу ошибок фильтра, настройка фильтра под характер почтового трафика и работа по повышению качества фильтрации полностью ложится на администратора. Но, в отличие от распределённых методов фильтрации, локальные методы изначально имеют возможность тонкой адаптации под конкретную почтовую систему.

Локальные методы

Локальные методы можно разделить по принципу, лежащему в основе их работы, на несколько семейств:

- байесовская фильтрация;
- методы на основе формальных протокольных правил;
- процедурные методы;
- проверка подлинности отправителя.

Байесовская фильтрация

Так как спам – это нежелательные письма рекламного характера, рассылаемые массово, то справедливым будет предположить, что эти письма будут содержать одни и те же слова, речевые обороты, названия торговых марок, контактные данные и прочие «атрибуты» рекламы, или даже идентичные фрагменты текста. Именно по наличию этих элементов в теле письма можно сделать вывод о том, является ли письмо спамом или нет.

Метод Байесовской фильтрации и позволяет классифицировать письма путём нахождения в теле письма признаков спама – заранее определённых строк и/или их комбинаций. В основе метода лежит использование наивного байесовского классификатора – классификатора, использующего теорему Байеса для определения принадлежности рассматриваемого элемента (в данном случае сообщения электронной почты) к одному из классов.

Общий алгоритм работы этого метода состоит из двух фаз:

1. Обучение фильтра – на этой фазе анализируется множество писем, про которые заранее достоверно известно, являются ли они спамом. Для каждого слова из этих писем вычисляется вес - вероятность того, что письмо, содержащее это слово, является спамом. Общая формула этого вычисления имеет вид:

$$P(S|W) = \frac{P(W|S)}{P(W|S) + P(W|H)}$$

где $P(W|S)$ – условная вероятность того, что определённое слово появляется в сообщении, которое является спамом. Это число приближённо равно частоте определённого слова в сообщении, идентифицированном как спам, используемом во время фазы обучения;

$P(S|W)$ – условная вероятность того, что сообщение является спамом при условии, что определённое слово находится в нём;

$P(W|H)$ – условная вероятность того, что определённое слово появляется в сообщениях, которые не являются спамом. Это число приближённо равно относительной частоте определённого слова в сообщении, идентифицированном как не спам, используемом во время фазы обучения.

2. Анализ сообщений – на этой фазе входящее почтовое сообщение сканируется на предмет наличия слов, для которых известен вес. Далее делается «наивное» предположение, что все эти слова являются независимыми событиями, то есть частота появления одного слова никак не зависит от частоты появления других. С учётом этого предположения из теоремы Байеса можно получить формулу, по которой будет рассчитываться вероятность того, что анализируемое сообщение – спам:

$$p = \frac{p_1 p_2 \dots p_n}{p_1 p_2 \dots p_n + (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n)}$$

где p – вероятность, что рассматриваемое сообщение – спам;

$p_1(p_2 \text{ и т.д.})$ – вес первого (второго и т.д.) слова.

После расчёта этой вероятности результат сравнивается с некоторым заранее определённым пороговым значением и принимается решение, к какому классу отнести сообщение.

Этот метод обладает рядом преимуществ, которые делают системы, построенные на его основе, самыми популярными на сегодняшний день решениями для защиты от спама. Они просты во внедрении и удобны в использовании, при качественном обучении отсекают до 98% спама [1] и дают возможность дополнительно обучить фильтр в случае ложных срабатываний.

Однако такой метод имеет два фундаментальных недостатка, которые широко используются отправителями спама, и могут свести эффективность фильтрации практически к нулю:

– Он ориентирован только на работу с текстом. Спамеры помещают информацию, которую хотят донести до получателей, в документ, который не может быть проанализирован как простой текст, например в изображение или документ формата PDF. А этот документ, в свою очередь, вставляют в тело письма. Фильтр не может классифицировать такое сообщение как спам, поэтому пропускает его.

– Метод основан на предположении, что в спаме чаще содержатся одни слова, а в нормальных письмах другие. Если это предположение оказывается неверным, то метод утрачивает свою эффективность. Для обхода фильтра используется метод «Байесовского отравления» - в письмо добавляется специально подобранный лишний текст, обманывающий фильтр и заставляющий его считать сообщение нормальным.

На базе этого метода реализованы системы SpamAssassin [2] и DSPAM [3].

Методы на основе формальных правил

Для передачи электронной почты в сети Интернет используется так называемый «простой протокол передачи почты» (Simple Mail Transfer Protocol - SMTP), который описан в документе RFC 5321 [4]. Этот протокол описывает процедуру передачи почтовых сообщений от клиента к серверу, формат почтовых сообщений, описывает команды, которыми могут обмениваться клиент и сервер, и определяет синтаксис этих команд. Также в протоколе SMTP определены коды ответов на команды и действий, которые должны быть предприняты при получении этих кодов. Основными командами протокола SMTP являются:

- HELO – служит для инициализации диалога между клиентом и сервером;
- MAIL – указывает адрес отправителя;
- RCPT – указывает адреса получателей;
- DATA – указывает на начало передачи данных (тела письма).

Коды ответа представляют собой трёхзначные числа, каждому из которых, соответствует определённый статус выполнения команды. Эти числа трактуются следующим образом:

- 2xx – команда выполнена успешно;
- 3xx – ожидаются дополнительные данные от клиента;
- 4xx – временная ошибка, клиент должен произвести повторную доставку позднее;
- 5xx – постоянная (неустраняемая) ошибка.

В основе метода фильтрации спама по формальным правилам лежит предположение, что современные способы рассылки спама не могут гарантировать стопроцентное соблюдение протокола SMTP, и при поступлении письма, содержащего спам, формальные требования этого протокола неизбежно будут нарушены. Следовательно, любого отправителя, нарушающего SMTP-протокол, можно считать спамером и не принимать письма от него.

В настоящее время для рассылки спама крайне неэффективно использовать легитимные почтовые сервера, письма с которых будут приниматься любым получателем. Владелец сервера или Интернет-провайдер, обслуживающий этот сервер, быстро заметят аномальный поток исходящего почтового трафика и оперативно заблокируют его. Поэтому для рассылки спама злоумышленники применяют так называемые ботнеты – компьютеры по всему миру, заражённые вирусом, который скрытно объединяет их в одну логическую сеть и даёт возможность управлять этими компьютерами и выполнять на них определённые задачи, в том числе рассылку спама. Но, в отличие от легитимного почтового сервера, эти компьютеры изначально не подготовлены для рассылки электронной почты. Поэтому когда с них начинается рассылка спама, они соблюдают SMTP-протокол лишь частично: нарушают очерёдность и синтаксис команд SMTP, подставляют в качестве их аргументов неверные данные или не выполняют требуемых для отправки письма действий. Например, не посылают команду инициализации сессии HELO и не ждут синхронизации с сервером получателя, как того требует протокол SMTP, а сразу

пытаются передать данные письма. Такие нарушения протокола дают возможность определять и блокировать источники рассылки спама.

Существует большое количество формальных правил, которые должны быть соблюдены при отправке электронной почты. При использовании метода фильтрации спама по формальным правилам конкретный набор используемых правил определяется администратором почтовой системы.

Одним из самых распространённых методов проверки по формальным правилам является метод серых списков (greylisting). Суть метода состоит в том, что по требованию протокола SMTP, сервер-отправитель почтового сообщения должен в случае возникновения у сервера-получателя временной ошибки повторить попытку пересылки сообщения спустя некоторое время. Однако есть некоторые технические аспекты реализации ботнетов, которые не позволяют выполнить это требование:

- в ботнетах для отправки почтовых сообщений используется облегчённое программное обеспечение, которое лишено большинства функций полноценного почтового сервера, в том числе полноценной очереди сообщений с механизмами повторения доставки;

- при проведении спам-рассылки при неудачной доставке отправка сообщения намеренно не повторяется либо повторяется без какой-либо существенной задержки между попытками, чтобы не замедлять процесс рассылки другим получателям и успеть за минимальное время разослать максимум сообщений.

Общая схема работы метода серых списков такова:

1. Для каждого поступающего сообщения из базы данных запрашивается информация об отправителе (в общем случае его IP-адрес и адрес электронной почты). Если эта информация отсутствует, она берётся из входящего письма, заносится в базу данных и письмо отклоняется с кодом временной ошибки на сервере;

2. Если информация об отправителе найдена, то делается вывод, что письмо пересылается повторно и отправитель выполняет требования протокола SMTP. Далее отправитель помечается как «белый» и письма от него больше не отклоняются. На практике же практически во всех реализациях этого метода после занесения в базу данных информации о получателе устанавливается определённый временной интервал, который должен пройти до того, как письмо от этого отправителя будет принято. Если попытка повторной пересылки будет принята до истечения установленного интервала, то сообщение опять будет отклонено с временной ошибкой.

Таким образом, отправители, которые выполнили требование протокола SMTP и повторили попытку пересылки письма, признаются нормальными, и письма от них принимаются. Спамеры же, напротив, не повторяют пересылку писем, и они до конечных получателей не доходят.

Другим популярным методом фильтрации по формальным правилам является проверка соответствия синтаксиса аргументов SMTP-команд тому, который описан в RFC. Например, аргумент команды HELO/EHELO должен являться либо полным доменным именем хоста, либо IP-литералом. Если предоставленный отправителем аргумент не является ни тем, ни другим, то письмо отклоняется как спам.

Проверки по формальным правилам могут быть довольно эффективны, однако они допускают большой процент ложных срабатываний фильтра, так как нет возможности отличить хост, рассылающий спам, от легитимного сервера, не исполнившего формальное требование в силу ошибок конфигурации или системного сбоя.

Процедурные методы

Эти методы направлены на повышение издержек при рассылке спама, чтобы сделать спам-рассылку невыгодной. Их суть заключается в том, чтобы перед приёмом письма от неизвестного ранее отправителя автоматически отправить ему ответ, в котором потребовать выполнить какое-то действие. Это действие выбирается таким образом, что для его выполнения однократно требуется приложить минимум усилий, тогда как при массовой рассылке, и, соответственно, многократном его выполнении усилий требуется очень много. Примерами таких действий могут служить:

- отправить в ответ на запрос пустое письмо;
- открыть в браузере ссылку, находящуюся в письме;
- прочитать приложенную в письме инструкцию, выполнить её и отправить в ответ результат выполнения;
- пройти полностью автоматизированный публичный тест Тьюринга для различия компьютеров и людей [5].

Такой подход может эффективно противостоять спаму, однако требование выполнить какое-либо действие может вызвать затруднения у пользователя, и, как следствие, нежелательные задержки в доставке письма, что критично в бизнес-среде, где переписка ведётся с множеством ранее неизвестных адресатов.

Проверка подлинности отправителя

В соответствии с протоколом SMTP, для того, чтобы почтовый сервер мог отправлять и принимать почту, он должен быть зарегистрирован в Системе доменных имён (Domain Name System – DNS). Система доменных имён представляет собой распределённую иерархическую базу данных, используемую для определения соответствия доменного имени узла сети и его IP-адреса, указания почтовых маршрутов и размещения служебной информации о доменах (записей типа SRV и TXT). Для указания сервера, который обслуживает данный почтовый домен, используется специальная запись типа MX (Mail eXchange). В ней хранится адрес сервера, отвечающего за доставку почты для этого домена. Для того чтобы выполнить доставку писем для адресата в определённом домене, отправитель запрашивает из DNS запись MX для этого домена, соединяется с полученным IP-адресом и производит отправку сообщения используя команды протокола SMTP.

Так как рассылка спама с помощью ботнетов происходит с хостов, которые не обслуживают ни один почтовый домен и не настроены как полноценный SMTP-сервер (в том числе не имеют необходимых для функционирования почтового сервера MX-записей в системе DNS), то данные отправителя в спам-письмах практически всегда оказываются поддельными. Этим фактом и оперируют методы фильтрации, построенные на проверке

подлинности отправителя. Под проверкой подлинности отправителя подразумеваются следующие виды проверок:

1. Хост-отправитель действительно тот, за кого он себя выдаёт;
2. Этот хост действительно обслуживает почтовый домен, в котором находится отправитель письма и имеет право отправлять почту этого домена;
3. Указанный в качестве отправителя почтовый адрес действительно существует в этом домене.

Первая проверка позволяет убедиться, что при отправке письма не использовано поддельное имя хоста или IP-адрес отправителя. Она осуществляется проверкой взаимного совпадения результатов прямого и обратного разрешения данных отправителя через систему DNS. Для этого используются имя хоста или IP-адрес отправителя, с которых происходит соединение или которые указаны в качестве аргумента команды HELO/EHELO.

Второй вид проверки также осуществляется через систему DNS. Владельцем доменной зоны в системе DNS размещается служебная запись типа TXT, содержащая описание того, какие серверы имеют право отправлять почту для этой зоны. Формат этого описания зависит от конкретной используемой технологии проверки. Например, для технологии Sender Policy Framework [6] запись обозначающая, что почту для домена может отправлять только сервер с IP-адресом 192.168.0.1, будет выглядеть следующим образом: `v=spf1 ip4:192.168.0.1/32 -all`.

Получатель может запросить эту информацию из системы DNS и с её учётом решить принимать ли почту от конкретного сервера или нет. Другой популярной технологией осуществления подобных проверок является DomainKeys Identified Mail [7].

Для выполнения третьей проверки почтовый сервер получателя пробует произвести отправку возвращённого сообщения (так называемого Delivery Status Notification) на адрес отправителя. Для того чтобы осуществить эту процедуру первым делом из системы DNS получается MX-запись, содержащая IP-адрес почтового сервера, обслуживающего домен отправителя. Если такая запись найдена и по указанному в ней адресу действительно работает SMTP-сервер, то делается попытка установить связь с этим сервером и отправить на проверяемый почтовый адрес письмо. Если этот адрес будет принят сервером отправителя, делается вывод, что он реально существует и проверка считается пройденной.

Методы проверки подлинности отправителя позволяют отсеять большинство поступающего спама. Однако они имеют тот же недостаток, что и методы формальных проверок: невозможно отличить хост, рассылающий спам, от нормального сервера с системным сбоем или ошибкой конфигурирования, что приводит к большому числу ложных срабатываний фильтра.

Распределённые методы

Разработанные на данный момент распределённые методы борьбы со спамом можно разделить на две категории:

- контрольные суммы – сигнатуры (в данном случае выполняют идентифицирующую функцию);
- списки блокировки.

Методы на основе сигнатур

Данные методы основаны на том факте, что любая спам-рассылка является массовой и число адресатов очень велико, иначе она будет экономически неэффективной и нецелесообразной. Рассылка спама на миллионы адресов может занимать довольно длительное время, вплоть до нескольких суток. Следовательно, если идентифицировать на начальном этапе рассылки тот факт, что отдельно взятое сообщение является массовым, то можно заблокировать рассылку, и это сообщение получит только небольшой процент пользователей, адреса которых оказались в начале списка получателей.

Общий алгоритм определения массовости письма с использованием контрольных сумм выглядит так:

1. Для каждого вновь пришедшего письма вычисляется контрольная сумма, которая сохраняется в базе данных. К каждой контрольной сумме привязывается счётчик повторений;

2. Если для контрольной суммы входящего письма уже имеется запись в базе данных, то её счётчик увеличивается на 1 и сравнивается с пороговым значением. Если значение счётчика превышает пороговое, то сообщение считается массовым, и его отклоняют как спам.

На практике при массовых рассылках для обхода фильтров в каждое письмо вносятся незначительные изменения, делающие его отличным от остальных, но не влияющие на читаемость письма человеком. Например, буква заменяется похожей по начертанию цифрой или буквой из другого алфавита, либо в письмо добавляется произвольный фрагмент текста. Таким образом, одно и то же письмо существует в огромном множестве вариантов. Такая «персонализация» спама является большой проблемой, так как алгоритмы вычисления чётких контрольных сумм (например, MD5), в которых любое изменение входных данных сильно отражается на результате, в данном случае не годятся. Для решения этой проблемы используются алгоритмы вычисления нечётких контрольных сумм – своего рода «слепок» письма, имеющих небольшую длину, но достаточно точно идентифицирующих этот вид писем и не чувствительных к небольшим изменениям. Существуют различные алгоритмы вычисления нечётких контрольных сумм, например:

- Winnowing [8];
- Nilsimsa [9];
- Rabin signature algorithm [10].

Также в некоторых системах, реализующих метод фильтрации спама на основе контрольных сумм, например Cloudmark Anti-spam [11], используются собственные закрытые алгоритмы вычисления нечётких контрольных сумм.

Проблему обнаружения «массовости» почтового сообщения невозможно решить в рамках отдельной почтовой системы, так как этой системе видна лишь малая часть общей картины рассылки – спам может приходиться слишком малому числу получателей или рассылка может продолжаться короткое время. Поэтому система, реализующая описанный выше метод, на практике будет представлять собой большую базу данных, к которой имеет доступ множество почтовых серверов. Чем больше почтовых систем будет вносить данные о полученных письмах в эту базу данных, тем полнее будет картина происходящих рассылок и тем эффективнее будет фильтрация.

К достоинствам этого метода можно отнести отсутствие необходимости регулярного «обучения» и самостоятельной настройки фильтра – необходима только связь с базой данных контрольных сумм и клиент этой базы данных. Качество фильтрации при этом будет напрямую зависеть от количества различных контрольных сумм, хранящихся в базе данных, оперативности её обновления и от характера спама, поступающего в конкретную почтовую систему. Эффективность фильтрации спама существующими в настоящее время системами, использующими подобные методы, доходит до 95%.

Главные проблемы методов на основе сигнатур это:

- «персонализация» спама – хоть математический аппарат метода постоянно совершенствуется, проблема обнаружения нечётких дубликатов писем ещё не решена до конца, вследствие чего качество фильтрации снижается;

- невозможность отличить легальные массовые рассылки от спамерских.

Описанный выше метод фильтрации спама используют сервисы DCC [12], Vipul's Razor [13], Pyzor [14].

Списки блокировки

Списки блокировки (RBL – Real-time Block Lists), или «черные списки», представляют собой глобальные, коллективно обновляемые базы данных хостов, доменов или сетей, являющихся источниками спама. Принцип работы этих баз данных заключается в том, что каждый получатель сообщений электронной почты может добавить в базу данных информацию об определённом отправителе, что он является источником спама или наоборот. Другие пользователи могут воспользоваться информацией о репутации этого отправителя для принятия решения: принимать почту от него или нет.

Качество работы системы фильтрации, основанной на списках блокировки, прямо зависит от полноты, актуальности и достоверности информации, содержащейся в чёрном списке. А это, в свою очередь, прямо зависит от количества пользователей, наполняющих базу данных, от их оперативности и качества работы. На практике же использование списков блокировки эффективно только при использовании совместно с какими-либо из методов, описанных выше.

Одни из самых популярных на сегодняшний день реализаций такого подхода это сервисы SpamCop [15] и SORBS [16].

Прочие методы

Существует также ряд закрытых коммерческих методов для защиты почтовых систем от нежелательных рассылок. Одни реализованы в виде программно-аппаратных комплексов, например, Barracuda Spam & Virus Firewall [17], другие в виде онлайн-сервисов, например, SpamExperts [18]. Принцип функционирования этих решений не разглашается и является коммерческой тайной их владельцев. Главные недостатки коммерческих систем это:

- продукты, которые хорошо справляются со своей задачей и обеспечивают высокое качество фильтрации, довольно дороги и не многие организации могут себе их позволить;

- в силу закрытой архитектуры коммерческих решений невозможно гарантировать, что почта организации не предоставляется третьим лицам.

Потребность в новых методах защиты

В настоящее время спам является не только технической проблемой, но и социологической. Спам – самый простой и доступный вид рекламы и распространения информации, следовательно, и самый востребованный. Если взглянуть на динамику рынка рассылок спама, то можно увидеть, что, несмотря на все предпринимаемые против рассылок меры, за последние годы он только вырос: от 200 миллионов долларов в 2008 году [19] до почти миллиарда в 2010 [20]. А это свидетельствует только о росте спроса на услуги спамеров. А раз есть спрос, будет и предложение, и, следовательно, технологии рассылок спама будут развиваться вместе с развитием методов защиты от них.

Все существующие на данный момент методы защиты от спама отстают от методов рассылки спама и развиваются «вслед» за ними. Сначала появляется новый вид или механизм рассылок, затем против него создаётся защита. Но как только эта защита внедряется повсеместно, появляются новые виды рассылок, которые с большой долей успеха обходят существующие фильтры. Достигнуть паритета в этой «гонке вооружений» возможно только разработав метод, который позволит отслеживать и анализировать динамику поведения спамеров, прогнозировать их дальнейшие действия и по результатам этого прогноза максимально быстро принимать ответные меры. Такой подход значительно повысит издержки отправителей спама на обход фильтров, и, следовательно, на услуги по рассылке спама, что сделает их неактуальными и сократит их популярность.

Первой и главной проблемой, которую предстоит решить для разработки этого метода, является определение сущности, которая в рамках метода будет рассматриваться в качестве источника спама. Иными словами эту задачу можно определить так: необходимо выбрать из всех наблюдений некоторое подмножество, которое однозначно идентифицировало бы искомую сущность, в данном случае - источник спама. Причём эта сущность должна быть устойчивой во времени, чтобы проанализировав ряд её состояний можно было сделать прогноз будущих состояний.

Для определения подмножества наблюдений, которые могли бы идентифицировать источник спама, можно использовать совокупность существующих методов защиты от спама и имеющиеся знания о методах рассылки спама. Можно сделать следующие предположения:

1. Известно, что на данный момент большинство спама рассылается ботнетами [21]. Раз ботнет – это совокупность компьютеров, заражённых однотипным вредоносным программным обеспечением, то вполне логично будет предположить, что все машины-участники ботнета будут рассылать спам по сходному алгоритму.

2. Из предыдущего предположения можно сделать вывод, что на спаме, рассылаемом участниками одного ботнета, будут срабатывать одни и те же правила фильтрации одних и тех же методов. Например, во всех письмах, отправленных из одного ботнета, будет подделан адрес отправителя, и они не будут проходить проверку подлинности отправителя.

3. Следовательно, можно выделить устойчивые группы отправителей (хостов, персон, подсетей и т.п.), допускающих однотипные ошибки при отправке, то есть подходящие под один «шаблон» поведения.

Далее можно детально анализировать поведение и почтовый трафик выделенных таким образом сущностей с целью выявления ранее неизвестных закономерностей в их поведении и строить прогноз действий этих сущностей.

Стоит отметить, что проведение описанных выше наблюдений невозможно в рамках отдельно взятого почтового домена, так как в этом случае картина действий отправителей спама будет не полной – одной почтовой системе видна лишь малая часть того, что происходит. Необходимо наблюдение за почтовым трафиком сотен или тысяч почтовых доменов, чтобы выявить отправителей спама по описанной выше схеме.

Заключение

Проблема защиты от спама является сложной, многоаспектной и, увы, обещает быть «вечной» в размерности времени жизни современного Интернета. Это обусловлено высокой степенью неопределенности задачи и динамичностью развития Интернет-технологий и Интернет-сообщества. Неопределенность проявляется уже в самом определении спама. «Нежелательная почтовая корреспонденция»: что является критерием «нежелательности» - рекламный характер письма, его массовость, или неизвестность для его получателя автора корреспонденции? Однозначные ответы на эти вопросы дать практически невозможно. Защищаясь от спама, пользователь Интернета вынужден постоянно искать компромисс между собственной информационной открытостью и подверженностью нежелательным почтовым рассылкам. Полностью автоматизировать данный процесс вряд ли возможно, однако ряд подходов к автоматической фильтрации спама, все же, существуют. Вместе с тем, все рассмотренные в статье подходы не являются стопроцентно надежными и, как правило, снижают свою эффективность с течением времени за счет появления новых, более изощренных с точки зрения толерантности к спам-фильтрам способов рассылки массовой нежелательной корреспонденции. Перспективным направлением развития существующих методов борьбы со спамом, на наш взгляд, является их комплексное использование, направленное на «упреждающее» противодействие нежелательным рассылкам за счет предсказания поведения их источников.

Литература

1. Независимое тестирование различных антиспам решений. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/blogs/spam/56779>
2. The Apache SpamAssassin Project. - Режим доступа: <http://spamassassin.apache.org>
3. Dspam - Community Driven Antispam Filter. - Режим доступа: <http://www.nuclearelephant.com>
4. Simple Mail Transfer Protocol.- Режим доступа: <http://tools.ietf.org/html/rfc5321>
5. CAPTCHA. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/CAPTCHA>
6. Sender Policy Framework. - Режим доступа: <http://www.openspf.org>
7. DomainKeys Identified Mail. -Режим доступа: <http://www.dkim.org>

8. WinoWing: Local Algorithms for Document Fingerprinting. - Режим доступа:
<http://theory.stanford.edu/~aiken/publications/papers/sigmod03.pdf>
9. <http://lexx.shinn.net/cmeclax/nilsimsa.html>
10. Rabin signature algorithm. - Режим доступа:
http://en.wikipedia.org/wiki/Rabin_signature_algorithm
11. Cloudmark. - Режим доступа: <http://www.cloudmark.com>
12. Distributed Checksum Clearinghouses. - Режим доступа:
www.rhyolite.com/anti-spam/dcc/
13. Vipul's Razor. - Режим доступа: <http://razor.sourceforge.net>
14. Pyzor. Режим доступа: <http://pyzor.sourceforge.net>
15. SpamCop. -Режим доступа: <http://www.spamcop.net>
16. Spam and Open Relay Blocking System. - Режим доступа: <http://www.sorbs.net>
17. Barracuda Spam & Virus Firewall. - Режим доступа:
http://www.barracudanetworks.com/ns/products/spam_overview.php
18. Spam Experts. - Режим доступа: <http://www.spamexperts.com>
19. Лаборатория Касперского оценила российский рынок спам-услуг в 2008 г.
- Режим доступа: <http://www.itbestsellers.ru/news/detail.php?ID=14741>
20. Вредоносная Россия. - Режим доступа:
<http://www.finmarket.ru/z/nws/hotnews.asp?id=2056281>
21. Ботнеты. - Режим доступа:
http://www.kaspersky.ru/reading_room?chapter=207367651

Сведения об авторах

Ковалев Сергей Сергеевич

аспирант. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования КНЦ РАН, ведущий инженер службы программно-технического сопровождения дирекции ИТ ОАО «Апатит».
Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: srg.kvlv@gmail.com

Sergey S. Kovalev

post-graduate. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.
Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Шишаев Максим Геннадьевич

д.т.н., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.
Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru

Maksim G. Shishaev

Dr. of Sci (Tech.) head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.
Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.89, 004.9

А.А. Зуенко

СИНТЕЗ МЕТОДОВ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В РАМКАХ ЗАКОНОВ КЛАССИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ*

Аннотация

Дается краткое введение в теоретические основы математических структур, часто используемых в информационных технологиях и тесно связанных с алгеброй кортежей (АК). Доказывается, что АК относится к классу булевых алгебр. Приводится обзор методов АК, позволяющих унифицировать процедуры дедуктивного и недедуктивного анализа.

Ключевые слова:

булевы алгебры, алгебра кортежей, логико-семантический анализ, дедуктивные рассуждения, недедуктивные рассуждения.

A.A. Zuenko

SYNTHESIS OF METHODS OF LOGICAL-SEMANTIC ANALYSIS BASED ON LAWS OF CLASSICAL LOGIC

Abstract

The article presents the theoretical bases of mathematical structures often used in informational technologies and closely related to N-tuple algebra (NTA). We prove that N-tuple algebra belongs to the class of Boolean algebras. Review of NTA methods for unifying the procedures of deductive and non-deductive analyses is given.

Keywords:

boolean algebra, N-tuple algebra, logical-semantic analysis, deductive and non-deductive reasoning.

Введение

При разработке современных средств моделирования структурно-сложных систем наметилась тенденция к интеграции хорошо зарекомендовавших себя методов (например, методов теории управления), и новых для этой области исследований методов искусственного интеллекта [1]. В результате, в состав упомянутых программных комплексов включаются такие компоненты, как нейронные сети; базы знаний; компоненты, реализующие рассуждения и т.д. Однако, как правило, компоненты, предназначенные для моделирования рассуждений, основаны на аксиоматическом методе, и поэтому реализуют только один вид рассуждений. Дело в том, что различные виды рассуждений (дедукция, абдукция, аналогия, индукция) формализуются различными системами аксиом и правил вывода, что затрудняет их сопряжение в единой программной среде. В связи с этим, представляется актуальной проблема создания математического аппарата, который бы мог послужить базой для разработки интегрированных методов логико-семантического анализа, синтезирующих различные познавательные процедуры.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066, № 11-08-00641-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15).

В качестве такого аппарата далее рассматривается алгебра кортежей (АК), представляющая собой общую теорию многоместных отношений [2, 3, 4]. Основы АК излагаются в [2]. Применение АК при решении различных задач логико-семантического анализа можно найти в [5, 6]. В настоящей работе приводятся некоторые сведения из дискретной математики и математической логики, необходимые для того, чтобы обосновать принадлежность АК к классу булевых алгебр и показать, что в АК соблюдаются все законы классической логики. Затем продемонстрировано, что средствами АК, не прибегая к помощи многозначных логик, можно решать основные задачи дедуктивного и недедуктивного анализа.

Чтобы обозначить место АК среди других алгебраических систем, введем некоторые определения и понятия.

1. Решетки и булевы алгебры

Сначала рассмотрим *частично упорядоченные множества* (ч.у.м., посеты, u -множества) $\langle X, \leq \rangle$, которые можно представить как частный случай графов, где для элементов носителя задано *отношение частичного порядка* со свойствами рефлексивности, транзитивности и антисимметричности. Примерами ч.у.м. являются числа, упорядоченные по величине; слова с лексикографическим порядком; множества, упорядоченные по включению; целые числа с отношением делимости и т.д. Формально отношение частичного порядка определяется как заданное на множестве X бинарное отношение со следующими свойствами:

- 1) *рефлексивности*: $a \leq a$;
- 2) *транзитивности*: если $a \leq b$ и $b \leq c$, то $a \leq c$;
- 3) *антисимметричности*: из $a \leq b$ и $b \leq a$ следует $a = b$,

где a, b и c – произвольные элементы X .

Используя понятие частично упорядоченного множества, можно описать еще один фундаментальный класс алгебраических систем – решетки. Для этого введем несколько вспомогательных определений.

Пусть X – ч.у.м. с частичным порядком \leq . Элемент x называется *нижней гранью* для a и b , если $x \leq a$ и $x \leq b$. Аналогично, y называется *верхней гранью* для a и b , если $a \leq y$ и $b \leq y$. Элемент x называется *точной нижней гранью* для a и b , если x – нижняя грань элементов a и b и для любой другой их нижней грани v выполняется $v \leq x$. Обозначение: $x = \inf(a, b)$. Элемент y называется *точной верхней гранью* для a и b , если y – верхняя грань элементов a и b и для любой другой их верхней грани u выполняется $y \leq u$. Обозначение: $y = \sup(a, b)$.

Решеткой [7] называется ч.у.м. $\langle X, \leq \rangle$, для любых двух элементов a, b которого существует точная нижняя грань $\inf(a, b) \in X$ и точная верхняя грань $\sup(a, b) \in X$.

Другими словами, если в модель ч.у.м. добавить две двухместные операции \inf и \sup , то получим известную алгебраическую систему, которая называется решеткой.

Примечательно, что решетка может быть представлена и как "чистая" алгебра $\langle B, \cap, \cup \rangle$, если положить, что $a \cap b = \inf(a, b)$, $a \cup b = \sup(a, b)$, а отношение \leq заменить следующим образом: $a \leq b \Leftrightarrow a \cap b = a$ или $a \cup b = b$

(знак \Leftrightarrow здесь означает "равносильно"). Далее приведем формальное определение решетки через операции \cap, \cup (в некоторых источниках эти операции обозначаются, как \wedge и \vee соответственно). Алгебра $\langle B, \cap, \cup \rangle$, где B – непустое множество элементов решетки, а \cap, \cup – двухместные операции (*пересечение* и *объединение*), называется *решеткой*, если для всех a, b, c из B выполняются следующие требования:

- 1) *замкнутость*: множество B содержит $a \cap b, a \cup b$;
- 2) *свойства идемпотентности*: $a \cap a = a, a \cup a = a$;
- 3) *коммутативные законы*: $a \cap b = b \cap a, a \cup b = b \cup a$;
- 4) *ассоциативные законы*: $a \cap (b \cap c) = (a \cap b) \cap c,$
 $a \cup (b \cup c) = (a \cup b) \cup c$;
- 5) *законы поглощения*: $a \cup (a \cap b) = a, a \cap (a \cup b) = a$.

Решетка называется *дистрибутивной*, если соблюдается хотя бы один из следующих законов:

- б) *законы дистрибутивности*: $a \cap (b \cup c) = (a \cap b) \cup (a \cap c),$
 $a \cup (b \cap c) = (a \cup c) \cap (a \cup c)$.

Решетка называется *ограниченной*, если:

- 7) $0 \in B$ (*нуль* или *нижняя грань решетки*) и $1 \in B$ (*единица* или *верхняя грань решетки*) такие, что для $a \in B$ выполняется $0 \cap a = 0, 1 \cup a = 1, a \cup 0 = a, a \cap 1 = a$.

Решетки сами по себе часто встречаются в разных прикладных задачах, но еще важнее то, что понятие решетки непосредственно приводит нас к понятию булевой алгебры, значение которой для основ современной двоичной компьютерной техники трудно переоценить.

Алгебра $\langle B, \cap, \cup, \bar{} \rangle$, где $\bar{}$ – есть одноместная операция (*дополнение*), называется *булевой алгеброй* (*булевой решеткой*), если в B , помимо условий 1 – 7, выполняются следующее условие:

- 8) Для каждого элемента a множество B содержит элемент \bar{a} (*дополнение элемента a*) такой, что $a \cup \bar{a} = 1, a \cap \bar{a} = 0$.

Другими словами, булева алгебра является дистрибутивной ограниченной решеткой, в которой для каждого элемента существует дополнение.

Большой список литературы по различным вариантам аксиоматических определений булевой алгебры приведен в [8].

К булевым алгебрам относятся:

- 1) алгебра множеств (алгебра Кантора, алгебра классов, алгебра подмножеств, алгебра частей множества) $\langle P(M), \cap, \cup, \bar{} \rangle$, причем M (универсум) – верхняя грань, \emptyset – нижняя грань, \subseteq – естественный частичный порядок, $P(M)$ – булеан (множество всех подмножеств) множества M ;

- 2) алгебра Буля (алгебра логики, алгебра высказываний, алгебра B_2) $\langle \{0, 1\}, \wedge, \vee, \neg \rangle$, причем 1 – верхняя грань, 0 – нижняя грань.

Своеобразным эталоном в классе булевых алгебр является алгебра множеств, о чем свидетельствует следующая теорема.

Теорема (Стоуна). Всякая конечная булева алгебра B изоморфна алгебре множеств [9].

Семейство L подмножеств опорного множества X называется *решеткой подмножеств* для X , если выполнены условия:

- I) $X \in L$; $\emptyset \in L$ (эти множества играют роль единицы и нуля);
- II) из $\lambda_1, \lambda_2 \in L$ следует $\lambda_1 \cap \lambda_2 \in L$;
- III) из $\lambda_1, \lambda_2 \in L$ следует $\lambda_1 \cup \lambda_2 \in L$;
- IV) из $\lambda_1, \lambda_2 \in L$ следует $\lambda_1 \setminus \lambda_2 \in L$.

Решетка подмножеств — это булева решетка с нулем, единицей и операцией дополнения $\bar{\lambda} = X \setminus \lambda \in L$ для любого $\lambda \in L$. При этом $\lambda_1 \setminus \lambda_2 = \lambda_1 \cap \bar{\lambda}_2$. Отношение порядка в решетке подмножеств есть отношение включения $\lambda_1 \in \lambda$, при этом:

$$\sup\{\lambda_1, \lambda_2\} = \lambda_1 \cup \lambda_2;$$

$$\inf\{\lambda_1, \lambda_2\} = \lambda_1 \cap \lambda_2.$$

Другими словами, чтобы обосновать принадлежность алгебраической системы к классу булевых алгебр, достаточно доказать, что выполнены свойства I-IV.

2. АК как булева алгебра

Алгебра кортежей (АК) – это алгебраическая система, предназначенная для моделирования и анализа многоместных отношений. Носителем АК является произвольная совокупность многоместных отношений, выраженных в матрицеподобных структурах (C -системах, C -кортежах, D -системах, D -кортежах), которые называются *АК-объектами*. В отличие от матриц и реляционных таблиц, компонентами этих структур служат не отдельные элементы, а их множества. В качестве базовой структуры АК выступает C -кортеж, представляющий собой, по сути, изображение декартова произведения. В АК любое многоместное отношение можно “компактно” выразить как совокупность C -кортежей, то есть в виде C -системы. Для C -систем определены операции взятия дополнения, пересечения и объединения. Все операции в АК выполняются без разложения АК-объектов в набор элементарных кортежей, поскольку в основе законов алгебры кортежей лежат следующие свойства декартовых произведений [10].

1. Пересечение декартовых произведений.

Если даны декартовы произведения $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ и $Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n$, то их пересечение вычисляется как:

$$(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n) \cap (Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n) = (X_1 \cap Y_1) \times (X_2 \cap Y_2) \times \dots \times (X_n \cap Y_n).$$

Таким образом, надо сначала вычислить пересечение пар множеств, находящихся на соответствующих “местах” исходных декартовых произведений, а затем сформировать декартово произведение полученных множеств. Например, пусть заданы следующие декартовы произведения:

$$\{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\} \text{ и } \{a, b, c, d\} \times \{a, c, d\} \times \{b, c, d\}.$$

В соответствии с приведенным правилом вычисления пересечения декартовых произведений имеем:

$$\begin{aligned}
& (\{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\}) \cap (\{a, b, c, d\} \times \{a, c, d\} \times \{b, c, d\}) = \\
& = (\{a, c, d\} \cap \{a, b, c, d\}) \times (\{b, c\} \cap \{a, c, d\}) \times (\{b, c, f\} \cap \{b, c, d\}) = \\
& = \{a, c, d\} \times \{c\} \times \{b, c\}.
\end{aligned}$$

Нетрудно убедиться, что результат пересечения содержит 6 элементарных кортежей: (a, c, b) ; (a, c, c) ; (c, c, b) ; (c, c, c) ; (d, c, b) ; (d, c, c) .

Тот же результат можно получить, если развернуть первое декартово произведение (в нем содержится 18 элементарных кортежей), затем второе (в нем 36 элементарных кортежей), а потом выбрать из этих двух совокупностей одинаковые элементарные кортежи. Но вычислять результат таким путем намного сложнее. При пересечении двух C -систем C -кортежи, принадлежащие различным отношениям, пересекаются по схеме "каждый-с-каждым".

2. Пустое декартово произведение.

Если при вычислении пересечения декартовых произведений окажется, что в полученном декартовом произведении хотя бы одно множество – пустое, то результатом будет *пустое* декартово произведение. Например,

$$\{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\} \cap \{a, b, d\} \times \{a, d\} \times \{b, c, d\} = \{a, d\} \times \emptyset \times \{b, c\} = \emptyset.$$

3. Объединение декартовых произведений.

В общем случае объединение двух декартовых произведений нельзя представить как одно декартово произведение:

$$\prod_{i=1}^n X_i \cup \prod_{i=1}^n Y_i \subseteq \prod_{i=1}^n (X_i \cup Y_i). \quad (1)$$

Существуют случаи, когда в соотношении (1) знак включения можно заменить знаком равенства. Таких случаев два.

Первый случай. Если для двух декартовых произведений A и B соблюдается $A \subseteq B$, то справедливо $A \cup B = B$. Например,

$$\{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\} \cup \{a, d\} \times \{b, c\} \times \{b, f\} = \{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\},$$

так как проверка показывает, что второе декартово произведение включено в первое.

Второй случай. Если в двух декартовых произведениях все "места", за исключением одного, содержат равные множества, то в соотношении (1) знак включения заменяется на знак равенства. Например,

$$\{a, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, d\} \cup \{a, d\} \times \{b, f\} \times \{b, c, d\} = \{a, d\} \times \{b, c, f\} \times \{b, c, d\},$$

так как в этих декартовых произведениях отличаются друг от друга только множества на втором "месте", а все остальные "места" содержат равные множества.

Если объединение двух декартовых произведений (C -кортежей) не удастся записать в виде единственного декартового произведения (C -кортежа), то из них формируется C -система.

4. Проверка включения декартовых произведений.

Если, при сравнении двух декартовых произведений $A = (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n)$ и $B = (Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n)$ окажется, что для всех "мест" соблюдаются соотношения

$$(X_1 \subseteq Y_1), (X_2 \subseteq Y_2), \dots, (X_n \subseteq Y_n), \quad (2)$$

то справедливо $A \subseteq B$, то есть все элементарные кортежи декартова произведения A обязательно принадлежат также и декартову произведению B . В

противном случае отношение $A \subseteq B$ не соблюдается. Например, если заданы два декартовых произведения $\{a, c, d\} \times \{b, c\} \times \{b, c, f\}$ и $\{a, d\} \times \{b, c\} \times \{b, f\}$, легко убедиться, что второе из них включено в первое, так как каждая компонента второго декартова произведения есть подмножество соответствующей компоненты первого.

5. Разность декартовых произведений.

Пусть даны два декартовых произведения $\prod_{i=1}^n X_i$ и $\prod_{i=1}^n Y_i$. Тогда

$$\prod_{i=1}^n X_i \setminus \prod_{i=1}^n Y_i = ((X_1 \setminus Y_1) \times X_2 \times \dots \times X_n) \cup (X_1 \times (X_2 \setminus Y_2) \times \dots \times X_n) \cup \dots \cup (X_1 \times X_2 \times \dots \times (X_n \setminus Y_n)).$$

Структуру этой формулы легче понять, если расположить объединяемые в правой части подформулы в виде таблицы:

$$\left| \begin{array}{cccc} X_1 \setminus Y_2 & \times & X_2 & \times \dots \times & X_n \\ X_1 & \times & X_2 \setminus Y_2 & \times \dots \times & X_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_1 & \times & X_2 & \times \dots \times & X_n \setminus Y_n \end{array} \right|.$$

Опираясь на это свойство, можно утверждать, что дополнение C -кортежа является C -системой.

Замечание. В математике под *многоместным отношением* понимается подмножество некоторого декартова произведения. Доказано, что для совокупности многоместных отношений, сформированных в одном декартовом произведении, выполняются все законы булевой алгебры, поскольку в этом случае отношения можно рассматривать как обычные множества (множества элементарных кортежей). Однако для отношений, заданных в различных декартовых произведениях операции алгебры множеств не определены.

В АК обобщены операции алгебры множеств на случай, когда многоместные отношения сформированы в различных схемах (декартовых произведениях). С этой целью в АК введены пять операций с атрибутами отношений (столбцами АК-объектов). Кратко затронем некоторые из них. Операция $+Atr$ (операция добавления атрибута) позволяет добавлять в заданное отношение новый столбец и соответствует известному в исчислении предикатов правилу обобщения: из $P(y)$ выводимо $\forall x(P(x,y))$. Операция $-Atr$ (операция элиминации атрибута) заключается в удалении столбца из АК-объекта и также может быть интерпретирована с помощью кванторов, но тип квантора (\forall или \exists) зависит от типа структуры (C -структура или D -структура), к которой эта операция применяется.

В АК доказано, что алгебра C -систем (в том числе, сформированных в различных схемах) изоморфна алгебре подмножеств, то есть является булевой алгеброй [2]). Нетрудно убедиться, что свойства II - IV выполняются, поскольку результатом обобщенных операций $(\cap_G, \cup_G, /_G)$ над C -системами также являются C -системы. Отдельно поясним, насчет свойства I. Пустое множество является C -кортежем, а значит, это вырожденный случай C -системы. Опорным множеством для семейства C -систем служит *гибкий универсум*, представляющий декартово произведение множеств, входящих в схемы C -систем упомянутого семейства. Следовательно, по аналогии с пустым множеством, гибкий универсум является C -системой.

Использование в АК обобщенных операций ($\cap_G, \cup_G, /_G$) и отношений ($\subseteq_G, =_G$ и др.), аналогичных по смыслу соответствующим операциям и отношениям алгебры множеств, расширяет аналитические возможности АК по сравнению с реляционной алгеброй и теорией бинарных отношений, а также дает возможность реализовывать не только известные в логике методы, но и создает предпосылки для разработки новых методов логико-семантического анализа, некоторые из них представлены ниже.

5. Краткий обзор методов АК.

Перечислим основные задачи логического анализа, решаемые в АК.

Логический вывод. В АК реализован принципиально новый алгебраический подход к логическому выводу. Пусть посылки (или аксиомы) A_1, A_2, \dots, A_n и предполагаемое следствие B выражены как АК-объекты. Кратко опишем схемы решения двух задач логического вывода:

1) проверка правильности следствия осуществляется как проверка обобщенного включения $(A_1 \cap_G A_2 \cap_G \dots \cap_G A_n) \subseteq_G B$;

2) вывод возможных следствий: сначала вычисляется:

$A = A_1 \cap_G A_2 \cap_G \dots \cap_G A_n$, после чего подбираются такие B_j , чтобы выполнялось $A \subseteq_G B_j$. При формировании возможных следствий часто необходимо учитывать определенные семантические ограничения (например, число и/или состав атрибутов в следствии), в связи с чем поиск B_j сводится к нахождению интересующих проекций АК-объекта A .

Недедуктивные методы логико-семантического анализа. Помимо представленных задач логического вывода (дедуктивный анализ), в АК успешно решаются и задачи недедуктивного анализа: формирование и проверка корректности гипотез, вывод абдуктивных заключений [5, 6]. В отличие от формальной логики, в АК контроль корректности посылок (и/или гипотез, абдуктивных заключений) не сводится лишь к анализу их противоречивости (контрадикторности), а реализуется более тонкий семантический анализ несовместности посылок (например, выявление контрарных следствий), который опирается на понятие “Коллизия”. Коллизии в основном возникают как нарушение определенных формально выраженных правил или ограничений, регулирующих целостность или смысловое содержание системы. В системах пересматриваемой аргументации коллизиям в какой-то степени соответствуют понятия “опровержение”, “подрыв аргумента”, “атака” и т.д.

Анализ неопределенностей. Для решения этой задачи в АК на данный момент реализовано два метода [2]. Первый заключается в том, что параметры с неопределенными значениями могут быть заданы в виде множеств или интервалов возможных значений. Второй метод позволяет применить вероятностный анализ ситуации, используя логико-вероятностный подход на основе АК.

Заключение

Обзор возможностей АК показывает, что в ней реализуется широкий спектр задач логико-семантического анализа: логический вывод, недедуктивные методы, анализ неопределенностей. По сути, предлагается новый алгебраический подход к унификации решения перечисленных задач, опирающийся на законы булевой алгебры без привлечения неклассических логик.

Литература

1. Васильев, С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федун. – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с.
2. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. 235 с.
3. Кулик, Б.А. Математическое отношение как основная структура логики / Б.А. Кулик // Труды междунар. научной школы "Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах – 2008" СПб., ГУАП, 2008. – С.190-192.
4. Зуенко, А.А. Унификация обработки данных и знаний на основе общей теории многоместных отношений / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010. – Вып. 3. – С.52-62.
5. Кулик, Б.А. Управление логико-семантическим анализом на основе теории отношений. / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // VIII Всероссийская школа-семинар «Прикладные проблемы управления макросистемами» г. Апатиты, 29 марта – 2 апреля 2010 г.: мат. докл. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – С.23-24.
6. Kulik, B. Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method /B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Cybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010) Vienna, Austria. 2010. – pp.198-203.
7. Дискретная математика: учебник для студ. вузов / Т.С. Соболева, А.В. Чечкин; под ред. А.В. Чечкина. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 256 с.
8. Сикорский, Р. Булевы алгебры / Р. Сикорский. – М.: Мир, 1969. – 375 с.
9. Столл, Р. Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории / Р.Р. Столл. – М.: "Просвещение", 1968. – 232 с.
10. Бурбаки, Н. Теория множеств / Н. Бурбаки. – М.: Мир, 1965. – 465 с.

Сведения об авторе

Зуенко Александр Анатольевич

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander A. Zuenko

Ph.D. (Tech. Sci.), a researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.89, 004.9

А.А. Зуенко, А.Я. Фридман

УПРАВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯМИ В СИСТЕМАХ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ*

Аннотация

В статье рассматривается проблема интеллектуализации баз данных в системах моделирования на основе открытой концептуальной модели и предлагается контекстно-ориентированный подход к ее решению. Приводится классификация вычислительных моделей. Основное внимание уделено перспективным направлениям исследований, таким как динамический синтез ограничений в процессе имитации и разработка математического аппарата для унификации обработки данных и знаний.

Ключевые слова:

концептуальное моделирование, контекстно-ориентированный подход, динамический синтез ограничений.

A.A. Zuenko, A.Ya. Fridman

CONTROL OVER CONSTRAINTS IN CONCEPTUAL SIMULATION SYSTEMS: STOCK AND PROSPECTS

Abstract

The paper considers a context management technique tailored for the problem of creation of intelligent DB interface in simulation systems based upon an open conceptual subject domain model. A classification of computing models is given. We focus on perspective directions of researches such as dynamic synthesis of constraints during simulation and working out a mathematical apparatus for unification of data and knowledge processing.

Keywords:

conceptual simulation, context management technique, dynamic synthesis of constraints.

Введение

Тематике концептуального моделирования процессов различной природы посвящено много публикаций (например, [1, 2]). Системы концептуального моделирования изначально использовались для проектирования программных комплексов, затем область их применения пополнилась исследованиями природно-технических объектов. Основная цель создания подобных программных систем состоит в автоматизации всех этапов работы с моделью предметной области (МПО). Здесь термин МПО означает обобщенную вычислительную модель, называемую концептуальной МПО (КМПО). Кратко поясним отличие КМПО от простых вычислительных моделей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066, № 11-08-00641-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15).

Простая вычислительная модель [3] определяется как совокупность переменных и частичных отношений между ними. Для представления отношений используются функциональные отображения (операторы).

Частичным отношением называется конечная непротиворечивая последовательность операторов. Совокупность операторов считается непротиворечивой, если их применение в различных последовательностях не позволяет по одним и тем же исходным значениям вычислить различные значения одной и той же переменной.

При синтезе вычислений анализируется применимость операторов по следующим правилам. Оператор:

- может быть выполнен, если определены значения всех его входных переменных;

- имеет смысл применять, если он вычисляет новую переменную по отношению ко множеству известных на текущем шаге.

При наличии в модели альтернативных путей используется любой из них. Решение задачи осуществляется перебором всех операторов модели. В ходе перебора обнаруживается оператор, который может быть выполнен, и вычисляется некоторое новое значение его выходных переменных. Итеративный процесс поиска решения прекращается, если получены все требуемые результаты или нет оператора, удовлетворяющего приведенным выше условиям. В последнем случае задача неразрешима в вычислительной модели.

Простые вычислительные модели позволяют эффективно синтезировать вычислительные процессы на основе заданных отношений лишь для простых ациклических последовательностей обработки.

Для синтеза более сложных вычислений используются расширения вычислительных моделей (*расширенные вычислительные модели*), содержащие дополнительные механизмы управления. К числу современных вариантов реализации расширений вычислительных моделей можно отнести систему PowerSim [4], где введены новые типы вершин и связей, обеспечивающие управление, а также имеется удобный графический редактор.

При построении информационных моделей сложных объектов эффективно использование различных приемов декомпозиции (см., например, [5, 6]), с помощью которых задача моделирования сводится к совокупности более простых для формализации и численного решения подзадач. Одним из самых существенных недостатков простых вычислительных моделей и их расширений является то, что они описывают только способы преобразования данных и не позволяют производить структурную декомпозицию данных и процессов их обработки, поэтапно уточняя процесс преобразований. Далее рассмотрим обобщенные вычислительные модели (ОВМ) [7], а именно КМПО, как средство преодоления этого недостатка.

ОВМ представляют собой надстройку над простой или расширенной вычислительной сетью в том смысле, что на множествах процессов и потоков данных дополнительно устанавливаются иерархические отношения “часть-целое”. Это дает возможность, с одной стороны, поэтапно уточнять описание предметной области, а с другой стороны, – автоматически контролировать согласованность описаний исследуемого процесса на различных уровнях декомпозиции, анализируя различного рода структурные ограничения. На уровне интерпретации ОВМ обычно представляется двудольным

ориентированным графом (ОВМ-сетью), в котором выделены два типа вершин: объекты (данные) и функции. Дуги связывают объектные и функциональные вершины. Входящие в вершину-функцию дуги соотносят с ней объекты, которые выступают в качестве входных аргументов для функции, исходящие – указывают на объекты, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией результатов. Каждой объектной вершине сопоставляются тип и значение. С каждой функциональной вершиной соотносены целое число, играющее роль приоритета, и тип.

В рамках систем концептуального моделирования на основе типизации элементов модели исследуемого процесса разработаны процедуры проверки ее корректности (полнота, связность, разрешимость и т.д.). В результате, у пользователя появилась возможность оперативно по мере уточнения знаний вносить изменения в концептуальную модель исследуемого объекта или создавать модели различных объектов, а затем автоматически проверять их корректность.

Однако в существовавших ранее системах концептуального моделирования все проверки корректности модели были жестко "зашиты" в специализированных программных процедурах, поэтому возникало несоответствие между "открытым" декларативным представлением модели предметной области, допускающим оперативную модификацию ее структуры и подключение новых элементов из вычислительной среды, и процедурным вводом ограничений в систему. При переходе от одной предметной области к другой отсутствовала возможность "наращивать" набор процедур проверки корректности модели. Все проверки относились скорее к особенностям самой системы моделирования, нежели были продиктованы спецификой предметной области. Другими словами, "жесткое" программирование ограничений, не допускающее их модификации в процессе моделирования, стало основным недостатком рассматриваемого класса программных систем.

Далее кратко описывается подход, направленный на преодоление этих трудностей.

1. Контекстный подход к управлению ограничениями и его преимущества

Для решения обозначенной проблемы авторами было предложено создать семантический интерфейс реляционных баз данных для систем моделирования слабо формализованных предметных областей. В результате исследований был разработан контекстно-ориентированный подход к управлению ограничениями в системах концептуального моделирования [8]. Согласно этому подходу в обработке данных моделирования участвуют следующие объекты: задача, прикладная программа (приложение), запрос приложения и база данных системы моделирования (БД СМ), предназначенная для хранения элементов концептуальной модели предметной области и результатов процесса имитации. Прототипом рассматриваемой контекстно-ориентированной технологии послужила технология управления контекстом, направленная на интеллектуальную поддержку принятия решений в открытой информационной среде [9]. Ее суть заключается в динамической интеграции контекстов объектов взаимодействия системы интеллектуальной поддержки принятия решений (пользователя, запроса пользователя, приложения и окружающей среды) в

контекст задачи, которая ставится пользователем, с последующим ее решением как задачи удовлетворения ограничений.

Разработанный семантический интерфейс реляционной БД СМ контролирует корректность взаимодействия блоков модели, обеспечивая возможность отслеживать действия блоков модели над общими данными на основе анализа гибко модифицируемых и оперативно подгружаемых предметно-ориентированных ограничений. Применение реляционных баз данных обусловливается необходимостью сопровождать открытую модель предметной области и обеспечивать точность реализации запросов, как в фактографических информационных системах. Под семантизацией БД в [8] понималось контекстно-ориентированное управление данными с учетом ограничений двух видов: ограничений системы моделирования и ограничений предметной области. С помощью предложенного контекстно-ориентированного подхода были решены задачи поддержки согласованности БД, анализа незапланированных запросов и контроля подключений программных модулей. Эти аспекты работы подробно освещены в [8, 10, 11]. Применение контекстно-ориентированного подхода к обработке ограничений позволило объединить преимущества таких направлений, как обобщенные вычислительные модели и программирование в ограничениях (constraints programming), а также реализовать эти преимущества при автоматизации контроля корректности процесса моделирования.

Перечислим некоторые достоинства контекстно-ориентированного управления ограничениями в системах концептуального моделирования.

1. Возможность активировать (отбирать) только те контекстные ограничения, которые актуальны для исследуемой в текущий момент модели предметной области. Это позволило гибко перенастраивать и оперативно анализировать как ограничения, общие для всего класса допустимых моделей, так и специфичные для конкретной предметной области.

2. На основе анализа контекстных ограничений на этапе построения обеспечивается более детальный контроль модели, в том числе состава и правильности подключения расчетных модулей. На этапе имитации путем анализа незапланированных запросов отслеживаются некорректные обращения к базе данных системы моделирования.

3. За счет декларативного представления ограничений ускорилась разработка и модификация инструментов контроля корректности по сравнению с непосредственным программированием ограничений.

В настоящее время исследования проводятся по следующим двум направлениям: 1) динамический синтез контекста в зависимости от ситуации, складывающейся на реальном объекте и/или в процессе имитации; 2) создание математического аппарата для унификации представления и обработки данных и знаний. Рассмотрим их подробнее.

2. Перспективные направления дальнейших исследований

Первое направление исследований. Основные отличия методов контекстно-ориентированного управления при решении задач поддержки принятия решений в системах концептуального моделирования от проблематики работы [9] таковы:

– в ходе классификации ситуаций необходимо подтвердить или опровергнуть гипотезу о соответствии поведения моделируемой системы и ее текущей модели. Если выявлено несоответствие, то необходимо принять решение о выборе новой текущей модели из заданного набора моделей, отображающих различные возможные варианты изменения структуры моделируемой системы. Изменения могут быть вызваны как штатными, так и нештатными воздействиями на систему, в последнем случае требуется дополнительно определить меры по минимизации ущерба, что может быть реализовано на основе известных методов [2];

– после выбора текущей модели требуется выявить предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), по тенденции будущего поведения системы и предложить ему вариант(ы) изменения существующей структуры системы, в максимальной степени реализующие эти предпочтения, а также провести имитацию предложенных вариантов при необходимости.

Другими словами, система моделирования должна обладать средствами оперативной (в процессе имитации) реконфигурации структуры модели для обеспечения ее катастрофоустойчивости [7].

Если ранее семантический интерфейс анализировал только ограничения, которые не изменяются в процессе имитации, то теперь предполагается ввести еще один вид контекстных ограничений (ограничения текущей ситуации) и разработать методы их автоматической генерации в ходе функционирования вычислительной сети. Проще говоря, предлагается ввести в рассмотрение еще один объект взаимодействия – *ситуацию*.

Согласно принципам ситуационного управления, *полная ситуация* описывается в трех основных аспектах – это знания о текущей структуре объекта, о текущем состоянии системы управления и о технологии (стратегиях) управления. В системе ситуационного моделирования (ССМ) [2] обработка ситуаций реализована следующим образом. *Исходной ситуацией* называется конечный список фактов, вводимый пользователем при постановке задачи моделирования. На основе анализа исходной ситуации встроенная в ССМ экспертная система (задавая при необходимости дополнительные вопросы пользователю) доопределяет исходную ситуацию до полной ситуации, которой соответствует связный фрагмент модели, возможно, включающий некоторые альтернативы. *Достаточная ситуация* получается из соответствующей ей полной ситуации путем выбора альтернатив, предпочтительных по результатам классификации ситуаций. Достаточные ситуации должны быть предварительно классифицированы по структурам реализации исследуемой системы и упорядочены внутри каждого класса по критерию доминирования вклада одного из скалярных критериев качества объекта, на котором находится ЛПР, в обобщенный критерий качества этого объекта.

Поскольку на этапе имитации мы имеем дело с достаточной ситуацией, то под абстрактным контекстом ситуации будем понимать ограничения, накладываемые на достаточную ситуацию, как на фрагмент модели. Прикладной (оперативный) контекст ситуации представляет собой ограничения, которые характеризуют определенный шаг имитации, в частности, ограничения на внутренние и выходные переменные.

Исходя из вышеизложенного, процедура инкрементного ситуационного моделирования с применением представленного контекстного подхода будет состоять из перечисленных ниже этапов.

1. *Мониторинг ситуации* на моделируемой системе по обобщенному критерию качества [2] объекта, на котором находится ЛПР.

2. *Детектирование изменений* с учетом прикладного контекста в целях выявления подобъекта, являющего первопричиной проблемы.

3. *Классификация ситуации* на проблемном объекте.

4. *Выявление класса желательных ситуаций* на этом объекте с точки зрения ЛПР.

5. *Анализ чувствительности* с целью поиска точек воздействия.

6. *Выработка управляющих решений* (с учетом контекстов).

7. *Корректировка прикладных контекстов* для поддержания их релевантности по отношению к текущей ситуации.

При невозможности выбора единственной структуры на этапе выработки управляющих решений, имеющиеся альтернативы могут исследоваться в имитационном режиме согласно *сценариям*, представляющим собой последовательность достаточных ситуаций и определяющим конкретный вариант расчета. Для автоматизации работы с логическими формулами на всех этапах моделирования используется аппарат алгебры условных кортежей [12].

Представленные исследования ведутся совместно со СПИИ РАН с применением методологии полимодельных комплексов [7].

Второе направление исследований. При создании семантического интерфейса авторы столкнулись с тем, что интеллектуализация БД сильно осложнена отсутствием единого математического аппарата, который бы обеспечивал унификацию обработки данных и знаний, а также позволял единообразно моделировать различные механизмы рассуждений, как дедуктивных, так и недедуктивных. Применяемая в управлении данными реляционная алгебра не приспособлена для решения задач логического анализа. С другой стороны, используемый при обработке знаний аксиоматический метод доказал свою несостоятельность в управлении данными. В результате совместно с Б.А. Куликом (ИПМаш РАН) была разработана алгебра кортежей (АК) [12]. Доказано, что основные структуры данных и знаний, применяемые при моделировании рассуждений, представимы в терминах этой алгебраической системы. Кроме того, созданы алгебраические методы решения таких задач дедукции, как проверка правильности следствия, порождение возможных следствий. Были решены также некоторые задачи недедуктивного анализа, в частности, получение абдуктивных заключений, анализ гипотез с применением коллизий. Таким образом, АК предоставляет аппарат, позволяющий унифицировать дедуктивный и абдуктивный анализ. В дальнейшем планируется разработать алгебраические методы моделирования таких форм рассуждений, как индукция и аналогия.

Заключение

По мнению авторов, совместное использование контекстно-ориентированного подхода, представленного в настоящей работе, методов ситуационного моделирования промышленно-природных объектов [2], а также

методологии полимодельных комплексов [7], позволит значительно повысить эффективность и оперативность принятия решений по управлению гибкими дискретными системами в условиях меняющейся обстановки, обеспечивая их катастрофоустойчивость. Комбинированные методы логико-семантического анализа таких дискретных систем планируется реализовывать средствами алгебры кортежей и алгебры условных кортежей.

Литература

1. Бржезовский, А.В. Синтез моделей вычислительного эксперимента / Бржезовский, А.В. и др. – СПб: Наука, 1992. – 231 с.
2. Фридман, А. Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. – 436 с.
3. Тыгу, Э.Х. Концептуальное программирование / Э.Х. Тыгу. – М.: Наука, 1984. – 255с.
4. Сидоренко, В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: Справочник по интерфейсу и функциям / В.Н. Сидоренко. – М.: МАКС-ПРЕСС, 2001. – 159 с.
5. Бусленко, Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Сов.радио, 1993. – 439 с.
6. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1993. – 344 с.
7. Охтилев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
8. Зуенко, А.А. Контекстный подход в системах сопровождения открытых моделей предметной области / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений, 2008. – №3. – С.41-51.
9. Smirnov A., Levashova T., Shilov N. Context-Driven Decision Support for Megadisaster Relief / A. Smirnov, T. Levashova, N. Shilov //Journal of Emergency Management. Prime National Publishing Corporation, September/October, 2006. - Vol. 4-5. - pp. 51-56.
10. Зуенко, А.А. Анализ контекстов при моделировании слабо формализованных предметных областей / А. А. Зуенко, Б. А. Кулик, А. Я. Фридман // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010, г. Тверь, 20 -24 сентября 2010 г.,: труды конф.– М.: Физматлит, 2010. -Т.2. – С.164-172.
11. Зуенко, А.А. Управление контекстом при организации интеллектуализированного интерфейса БД в системах моделирования на основе концептуального подхода / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Труды ИСА РАН. Прикладные проблемы управления макросистемами / Под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова.– М., Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. -Т.39. – С.128-141.
12. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. – 235 с.

Сведения об авторах

Зуенко Александр Анатольевич

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander A. Zuenko

Ph.D.(Ttch.Sci.), a researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Фридман Александр Яковлевич

д.т.н., проф., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander Ya. Fridman

Dr. of Sci (Tech.), Professor, head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.9, 004.65

А.А. Зуенко¹, А.Я. Фридман¹, Б.А. Кулик²

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ (РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА 4.3 ПРОГРАММЫ № 15 ПРАН)*

Аннотация

В статье приведен обзор результатов разработки методов общей теории многоместных отношений (алгебры кортежей) в предметных областях, связанных с совместной обработкой данных и знаний. В работе излагается решение проблемы совмещения вероятностных и логических методов в рамках единого математического аппарата алгебры кортежей при прямом и обратном расчете надежности и безопасности структурно-сложных систем. Также приводится оценка сложности основных операций АК.

Ключевые слова:

общая теория многоместных отношений, алгебра кортежей, логико-вероятностный анализ, вероятностная логика.

A.A. Zuenko, A. Ya. Fridman, B.A. Kulik

INTELLIGENT DATABASES: SURVEY OF RESULTS OBTAINED WITHIN THE PROJECT 4.3 OF THE PROGRAMME № 15 OF THE CHAIR OF RAS

Abstract

The paper describes development of a general theory of n -ary relations, namely n -tuple algebra (NTA), for the subject domains requiring combined processing of data and knowledge. We propose a solution of the problem to unite probabilistic and logical techniques in frames of a unified NTA mathematical method for implementing both direct and backward calculation of reliability and safety in structural complex systems. Also, we present complexity estimations for basic NTA operations.

Key words:

general theory of n -ary relations, n -tuple algebra, logical-probabilistic analysis, probabilistic logic.

Введение

В истории развития средств логического анализа можно выделить следующие этапы:

1. Силлогистика Аристотеля (IV век до н.э.).
2. Алгебраический подход: теория множеств, булева алгебра, элементы теории отношений (XVII- XIX век).
3. Теория формальных систем (рубеж XIX и XX веков).
4. Эра вычислительной техники (сер. XX века).

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Институт проблем машиноведения РАН, г. С-Петербург

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066, № 11-08-00641-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15).

В фундаменте современной логики лежит математическая система, которая имеет несколько названий: аксиоматический метод, символическая логика, теория формальных систем (ТФС). ТФС начала развиваться в начале XX века, когда были открыты парадоксы наивной теории множеств. Тогда многие математики, логики и философы (Б. Рассел, Л. Витгенштейн, Д. Гильберт, Дж. Пеано и др.) решили, что ТФС может стать защитой от парадоксов и основой всей математики и логики, а алгебраический подход стал постепенно утрачивать свое влияние [1].

С приходом эры вычислительной техники вновь был поднят вопрос о поиске предпочтительного подхода к моделированию рассуждений на компьютере, выбор между алгебраическими методами и ТФС до сих пор не очевиден.

Язык математической логики есть частный случай ТФС. В системах искусственного интеллекта концепции ТФС воплотились в *декларативном подходе*, где знания имеют форму утверждений (или правил), записанных на некотором формальном языке, а задачи решаются путем применения процессов логического вывода к знаниям.

Альтернативу декларативному составляет *процедурный подход*, по сути алгебраический, в котором правила или высказывания выражаются в виде алгоритмов и, в конечном итоге, кода программы. К настоящему моменту исследователи пришли к выводу, что успешно действующие интеллектуальные системы должны сочетать в себе и декларативные, и процедурные элементы.

Развитие декларативного подхода сопровождается рядом трудностей и проблем, обусловленных его спецификой, включая перечисленные ниже.

1. Зачастую декларативный подход не позволяет оценить значения параметров системы, состав и число объектов, удовлетворяющих заданным условиям. Как следствие, декларативные языки искусственного интеллекта значительно усложняются из-за необходимости их наполнения различными "недекларативными" процедурами и функциями. В последнее время наблюдается также тенденция программирования интеллектуальных систем не с помощью специфических языков искусственного интеллекта, а на базе процедурно-ориентированных языков. При этом сохраняется разрыв между "декларативной" теорией и "процедурной" практикой.

2. Полноценный логический анализ систем включает в себя не только логический вывод, но также анализ неопределенностей и противоречивости, формирование гипотез, абдуктивных заключений. Однако, если задачи логического вывода и решаются при помощи законов классической логики, то для остальных задач привлекаются в основном неклассические логики, где эти законы нарушаются. Другими словами, отсутствует единый математический аппарат, позволяющий унифицировать дедуктивный и недедуктивный анализ.

3. Современные интеллектуальные системы состоят из двух типов разнородных объектов: *баз данных* (БД) и *баз знаний* (БЗ). Представление и обработка данных (фактов, таблиц, графов, сетей, текстов и т.д.) осуществляется алгебраическими методами, а модели баз знаний (предикаты, фреймы, семантические сети, правила) строятся на основе декларативного подхода. Это существенно затрудняет сопряжение БД и БЗ в одной системе.

Традиционно к недостаткам алгебраического подхода в применении к задачам логического анализа относят высокую вычислительную сложность

алгоритмов их решения (так называемую проблему "экспоненциальной катастрофы"). Однако полностью решить эту проблему не удастся и средствами ТФС, несмотря на то, что здесь достигнуты значительные положительные результаты.

Попытка изложить методы логического анализа рассуждений на языке, отличающемся от языка ТФС, сегодня представляется проблематичной. В рассматриваемом проекте был разработан инструмент логико-семантического анализа в рамках алгебраического подхода, опирающийся на понятие многоместного отношения.

1. Алгебра кортежей как общая теория многоместных отношений

Термин "многоместное отношение" широко используется при моделировании и анализе информационных и управляющих систем, он же позволяет найти более тесную связь логики высказываний и предикатов со структурами данных и знаний, применяющимися в информатике. В математике под теорией отношений понимается либо *теория бинарных отношений*, либо *реляционная алгебра*. Первая служит для отображения графов, семантических сетей, систем логического анализа на решетках и т.д. Вторая тесно связана с системами управления базами данных (СУБД). Однако с помощью бинарных отношений в общем случае нельзя выразить отношения и предикаты с размерностью более двух, а реляционная алгебра не предназначена для решения многих задач логического анализа.

Следовательно, общей теории многоместных отношений, пригодной для решения задач логико-семантического анализа, до сих пор не существовало. Для реализации такой теории авторами разработана математическая система, названная алгеброй кортежей (АК) и базирующаяся на представлении многоместных отношений в виде новых структур (*C*-кортеж, *C*-система, *D*-кортеж, *D*-система) табличного или матрицеподобного типа (АК-объектов). Теоретические основы АК подробно изложены, например, в [2].

Здесь выделим лишь наиболее значимые отличия АК от упомянутых теории бинарных отношений и реляционной алгебры:

1. В АК в качестве основной структуры выступает не элементарный кортеж, а декартово произведение множеств, что обеспечивает более "компактное" (по сравнению с прототипами) представление многоместных отношений в памяти компьютера, а также сокращение вычислительных затрат (повышение эффективности) при их обработке.

2. В АК обобщены операции алгебры множеств на случай, когда многоместные отношения не являются подмножествами одного и того же декартова произведения. Для работы с отношениями, требующими преобразований к единой схеме отношения, в АК введено пять операций с атрибутами (столбцами АК-объектов). Свойства операций АК опираются на свойства декартовых произведений.

3. Для *C*-кортежей и *C*-систем определены структуры, которые являются их дополнениями.

Перечисленные особенности АК позволяют отнести ее к классу булевых алгебр (сохранить изоморфизм с алгеброй множеств) [3]. С другой стороны,

доказано, что все структуры и операции АК имеют эквиваленты в многосортном исчислении предикатов.

В результате, АК позволяет унифицировать представление различных структур знаний (предикатов, бинарных отношений, графов, семантических сетей и т.д.) и данных, например, реляционных таблиц. А также реализацию многих сложных процедур (соединение, композиция, транзитивное замыкание, квантификация и т.д.), связанных с обработкой многоместных отношений и предикатов [4-7].

2. Возможности алгебры кортежей в логическом анализе данных и знаний

В плане расширения возможностей логического анализа данных и знаний АК дает следующие преимущества:

1. В АК предложены новые методы решения таких стандартных задач логического вывода, как порождение возможных следствий из заданной системы посылок, проверка правильности следствия. Как показали исследования, применение методов алгебры кортежей к стандартным задачам логического анализа способствует ускорению процедур их решения, поскольку при выводе учитывается внутренняя структура обрабатываемых знаний, а не только выполнимость отдельных подстановок [8, 9].

2. Свойства АК-объектов позволяют не только осуществлять логический вывод, но и решать задачи, выходящие за пределы дедукции: порождение и анализ гипотез, поиск абдуктивных заключений, которые входят в состав модифицируемых рассуждений. Отличительная особенность предлагаемых методов решения состоит в том, что они реализованы в рамках классической логики, то есть не используют неклассические логики (немонотонные логики, логики умолчаний и т.д.), в которых допускаются нарушения некоторых законов булевой алгебры и алгебры множеств [10, 11].

3. Для организации процедур логико-семантического анализа систем посылок без привлечения неклассических логик в АК введено понятие "коллизия", с помощью которого удастся устранить несоответствие между формальной логикой, где система посылок проверяется лишь на противоречивость (контрадикторность), и естественными рассуждениями, где требуется более тонкий анализ несовместности посылок (например, выявление контрарных следствий) [12-14].

4. Алгебра кортежей позволяет распараллеливать алгоритмы логического вывода, то есть производить обработку знаний аналогично обработке табличных данных в реляционных СУБД [4, 7].

5. В АК разработаны алгоритмы сокращения трудоемкости вычислительных процедур, направленные на снижение остроты проблемы "экспоненциальной катастрофы". Эти алгоритмы используют матричные свойства АК-объектов (монотонные и бесконфликтные блоки и т.п.), позволяющие не только эффективно распараллеливать вычисления, но и, зачастую, снизить сложность решаемых задач до полиномиальной. В АК выявлены новые структурные и статистические классы конъюнктивных нормальных форм с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости. Доказано, что если КНФ выражена как D -система, где содержатся только три

равномерно распределенные (с вероятностью $1/3$) символа: 1, 0 и \emptyset , такая КНФ разрешима в среднем за полиномиальное время [2, 8, 9].

6. Разработаны методы погружения АК-объектов в вероятностное пространство (ортогонализация, метод квантования интервалов и т. д.) [2, 8].

Изложенное обосновывает целесообразность применения алгебраического подхода для унификации процедур управления данными и обработки знаний в интеллектуальных системах.

Ниже приводится перечень важнейших научных достижений по Программе, касающихся применения алгебраического подхода в системах концептуального моделирования, а именно при реализации семантического интерфейса реляционных баз данных в системе ситуационного концептуального моделирования [15]:

1. На основе аппарата многосортных алгебр разработан контекстный подход к управлению сложными ограничениями в ходе анализа нерегламентированных путевых запросов и содержимого баз данных при исследовании слабо формализуемых предметных областей, в частности, в системах моделирования и информационных системах [16-18]. Результат включен в годовой отчет ИИММ КНЦ РАН.

2. Для повышения корректности процедур логического анализа данных и знаний в интеллектуальных системах разработана алгебра условных кортежей. По сравнению с известным аппаратом алгебры кортежей, представление реляционных отношений, запросов к ним и структурных ограничений предметной области в виде объектов предложенной алгебры расширяет возможности обработки информации и позволяет автоматизировать обработку логических формул, содержащих элементарные одно- и двуместные предикаты без кванторов [4, 19-21]. Результат включен в годовой отчет ИИММ КНЦ РАН.

3. Предложен метод семантического анализа данных и знаний на основе разработанной теории многоместных отношений с использованием алгебры кортежей и алгебры условных кортежей [19, 21-24]. Результат включен в годовой отчет ИИММ КНЦ РАН.

4. Разработан метод контекстного управления ограничениями в ходе анализа нерегламентированных путевых запросов к реляционным базам данных проблемно-ориентированных информационных систем. Контексты задач, прикладных программ, запросов и баз данных формируются на основе аппарата многосортных алгебр [25-27]. При исследовании слабо формализуемых предметных областей использование метода обеспечивает отбор ограничений, актуальных в текущей ситуации обработки запроса, что повышает быстродействие системы. Результат включен в список "Научные достижения в 2010 году" ОНИТ РАН.

Помимо систем моделирования в работах [2, 28-30] были продемонстрированы и другие возможные применения алгебры кортежей и алгебры условных кортежей.

Из вышеизложенного следует, что за счет разработанных обобщенных операций и отношений аналитические возможности и области применения объектов алгебры кортежей существенно расширены по сравнению с математическими структурами, применяющимися в настоящее время при моделировании и анализе отношений, в частности, в теории бинарных отношений и реляционной алгебре. Далее детально излагается решение

проблемы совмещения вероятностных и логических методов в рамках единого математического аппарата алгебры кортежей при прямом и обратном расчете надежности и безопасности структурно сложных систем, а также приводится оценка сложности основных операций АК, поскольку эти вопросы наименее полно освещены в приведенном перечне публикаций.

3. Анализ неопределенностей с помощью АК

Совмещение понятий "логика" и "вероятность" вызывает немало трудностей. В настоящее время имеется два основных научных направления, представляющих различные взгляды на эту проблему: "логико-вероятностный анализ" (ЛВА) и "вероятностная логика".

В рамках логико-вероятностного анализа решается *прямая задача*, когда при заданных вероятностях элементарных событий выполняется расчет вероятности сложного события. В *обратной задаче* постановка иная – на основе заданных оценок о вероятностях некоторых сложных событий, представленных формулами исчисления высказываний, нужно найти вероятности элементарных событий, после чего можно рассчитать вероятную оценку других сложных событий, отличающихся от исходных. Обратные задачи – предмет изучения вероятностной логики.

При реализации вероятностных методов в АК используется такая операция, как ортогонализация. Ее суть заключается в том, чтобы в рамках S -системы, погружаемой в метрическое пространство, сформировать попарно непересекающиеся S -кортежи. Ортогонализация позволяет значительно упростить расчеты в случаях, когда требуется учитывать все возможные пересечения пар, троек и т.д. S -кортежей, в частности при работе с вероятностными характеристиками.

Ортогонализация. Рассмотрим основные соотношения ортогонализации, используемые в математической логике.

Дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ) называется *ортогональной*, если любая пара ее конъюнктов не имеет общих выполняющих подстановок. *Ортогонализация* – это преобразование, переводящее произвольную формулу в эквивалентную ей ортогональную ДНФ. В общем случае ортогональной также можно считать любую формулу вида $H_1 \vee H_2 \vee \dots \vee H_k$, если для любой пары (H_i, H_j) ее подформул соблюдается $H_i \wedge H_j = \text{false}$ при условии, что $i \neq j$. Это равносильно пустоте пересечения АК-объектов, моделирующих формулы H_i, H_j . Оценка меры ортогональной формулы, если известна мера $\mu(H_i)$ каждой из ее подформулы H_i , может быть вычислена с помощью простого суммирования мер составных частей.

Частный случай ортогональной функции – *совершенная ДНФ* (СДНФ), в которой каждый конъюнкт содержит столько литералов, сколько переменных в данной формуле. В АК совершенной ДНФ соответствует S -система, где каждый S -кортеж содержит в качестве компонент только одноэлементные множества. В основе существующих методов ортогонализации лежит следующее соотношение, полученное П.С. Порецким для формул исчисления высказываний:

Дизъюнкция $H_1 \vee H_2 \vee \dots \vee H_k$ эквивалентна ортогональной ДНФ вида $(H_1) \vee (\overline{H_1} \wedge H_2) \vee \dots \vee (\overline{H_1} \wedge \overline{H_2} \wedge \dots \wedge \overline{H_{k-1}} \wedge H_k)$.

C -система называется *ортогональной*, если пересечение любой пары содержащихся в ней различных C -кортежей пусто. Ортогонализация диагональной C -системы (D -кортежа) производится согласно теореме 1 [2].

Теорема 1. D -кортеж вида $]Q_1 Q_2 \dots Q_{m-1} Q_m[$, где Q_i – произвольные компоненты, преобразуется в эквивалентную ему ортогональную C -систему:

$$\begin{bmatrix} \overline{Q_1} & * & \dots & * & * \\ \overline{Q_1} & Q_2 & \dots & * & * \\ & & \dots & & \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \dots & \overline{Q_{m-1}} & * \\ \overline{Q_1} & \overline{Q_2} & \dots & \overline{Q_{m-1}} & Q_m \end{bmatrix}.$$

Рассмотрим пример. Пусть в схеме отношения $[XYZ]$, где $X = Y = Z = \{a, b, c, d\}$, задан D -кортеж $] \{a, c\} \{d\} \{b, d\} [$. Тогда по теореме 1 получим следующие равенства:

$$] \{a, c\} \{d\} \{b, d\} [= \begin{bmatrix} \{a, c\} & * & * \\ * & \{d\} & * \\ * & * & \{b, d\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{a, c\} & * & * \\ \{b, d\} & \{d\} & * \\ \{b, d\} & \{a, b, c\} & \{b, d\} \end{bmatrix},$$

причем вторая C -система ортогональна.

Ортогонализация произвольных АК-объектов сводится к ортогонализации эквивалентных им D -систем (преобразованию D -систем в ортогональные C -системы). Для этого требуется:

- 1) выразить исходный АК-объект как D -систему;
- 2) представить D -систему как пересечение D -кортежей;
- 3) каждый D -кортеж преобразовать в ортогональную C -систему с использованием теоремы 1;
- 4) выполнить пересечение промежуточных ортогональных C -систем, опираясь на теорему 2 [2].

Теорема 2. Если P и Q – ортогональные C -системы, то пересечение этих C -систем либо пусто, либо состоит из одного C -кортежа, либо представляет собой ортогональную C -систему.

Рассмотрим пример ортогонализации для D -системы

$$P = \begin{bmatrix} \{a, c\} & \{d\} & \{b, d\} \\ \emptyset & \{a, d\} & \{a, c\} \\ \{b, c\} & \emptyset & \{b\} \end{bmatrix},$$

имеющей ту же схему отношения и состав атрибутов, что и в предыдущем примере. Используя теоремы 1 и 2, получим:

$$P = \begin{bmatrix} \{a,c\} & * & * \\ \{b,d\} & \{d\} & * \\ \{b,d\} & \{a,b,c\} & \{b,d\} \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & \{a,d\} & * \\ * & \{b,c\} & \{a,c\} \end{bmatrix} \cap$$

$$\cap \begin{bmatrix} \{b,c\} & * & * \\ \{a,d\} & * & \{b\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{c\} & \{a,d\} & * \\ \{a\} & \{a,d\} & \{b\} \\ \{c\} & \{b,c\} & \{a,c\} \\ \{b\} & \{d\} & * \\ \{d\} & \{d\} & \{b\} \\ \{b\} & \{a\} & \{b,d\} \\ \{d\} & \{a\} & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Если заданы вероятностные меры компонент, то вероятность всей системы вычисляется суммированием всех произведений мер компонент, содержащихся в каждом S -кортеже ортогональной S -системы.

Кроме того, ортогонализация дает эффективные средства уменьшения трудоемкости алгоритмов преобразования АК-объектов в альтернативные классы и, в частности, D -систем в S -системы.

Логико-вероятностный анализ. В настоящее время ЛВА надежности и безопасности структурно сложных систем, разработанный И.А. Рябининым и его учениками, широко используется как в теоретических исследованиях, так и в практических приложениях [31-33]. Однако ЛВА применяется в основном в моделях исчисления высказываний, и при переходе к более сложным моделям со многими состояниями приходится использовать методики, предназначенные для частных случаев.

В ЛВА обычно в качестве исходных данных при вероятностных расчетах используются не логические формулы, а структурные схемы, отображающие причинно-следственные связи между множествами элементарных событий в системе. Если такие схемы могут быть представлены логическими формулами, то они легко преобразуются в вероятностные модели АК [2]. Логическая функция F , связывающая состояние системы с состоянием элементов, в ЛВА называется **функцией работоспособности системы** (ФРС). В качестве примера рассмотрим двухполюсник с мостиковой схемой, изображенный на рисунке.

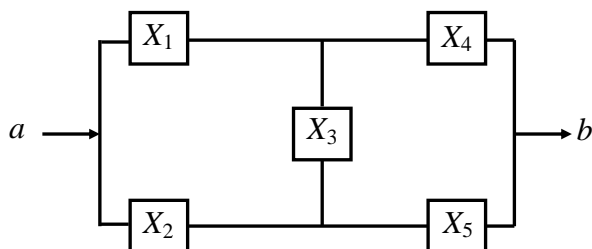


Рис. Мостиковая схема

Такая схема, в частности, описывает систему энергоснабжения какого-либо объекта, в которой X_1 и X_2 – источники энергии, X_3 – распределительный щит, X_4 и X_5 – потребители. Здесь элемент X_3 выполняет роль переключателя, в силу чего между полюсами a и b допустимы только следующие пути: X_1X_4 , X_2X_5 , $X_1X_3X_5$, $X_2X_3X_4$.

Пример 1. Пусть множество путей в двухполюснике можно представить как ДНФ:

$$F = (X_1 \wedge X_4) \vee (X_2 \wedge X_5) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge X_4) \vee (X_1 \wedge X_3 \wedge X_5).$$

Каждый элемент системы имеет два состояния (работоспособен и неисправен) и известны вероятности p_i безотказной работы всех элементов. Требуется по ФРС определить вероятность безотказной работы всей системы.

В АК функцию F можно отобразить как C -систему в универсуме $X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 = \{0, 1\}^5$ (для упрощения компоненты $\{0\}$ и $\{1\}$ далее записываются как 0 и 1):

$$R = \begin{bmatrix} 1 & * & * & 1 & * \\ * & 1 & * & * & 1 \\ * & 1 & 1 & 1 & * \\ 1 & * & 1 & * & 1 \end{bmatrix},$$

а ее отрицание – как D -систему

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} 0 & \emptyset & \emptyset & 0 & \emptyset \\ \emptyset & 0 & \emptyset & \emptyset & 0 \\ \emptyset & 0 & 0 & 0 & \emptyset \\ 0 & \emptyset & 0 & \emptyset & 0 \end{bmatrix}.$$

Используя методы АК, представленные в [2], преобразуем D -систему \bar{R} в ортогональную C -систему:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \begin{bmatrix} 0 & * & * & * & * \\ 1 & * & * & 0 & * \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & 0 & * & * & * \\ * & 1 & * & * & 0 \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} * & 0 & * & * & * \\ * & 1 & * & 0 & * \\ * & 1 & 0 & 1 & * \end{bmatrix} \cap \\ &\cap \begin{bmatrix} 0 & * & * & * & * \\ 1 & * & * & * & 0 \\ 1 & * & 0 & * & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & * & * & * \\ * & 1 & * & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & * & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Поскольку уже известно распределение вероятностей событий в атрибутах (p_i – вероятность безотказной работы элемента; $q_i = 1 - p_i$ – вероятность отказа), то можно сразу, используя ортогональную C -систему \bar{R} , написать формулу для расчета вероятности безотказной работы системы:

$$P(R) = 1 - P(\bar{R}) = 1 - (q_1q_2 + p_2q_4q_5 + q_1p_2q_3p_4q_5 + p_1q_2q_4q_5 + p_1q_2q_3q_4p_5).$$

В ЛВА пока не разработан единый подход к анализу и оценке вероятностных характеристик *систем со многими состояниями*, в то время как в АК эта проблема в общем случае решена.

Пример 2. Предположим, что теперь некоторые элементы мостиковой схемы (рис.) имеют не 2, а 3 состояния. Система задана в универсуме

$$X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 = \{a_1, a_2\} \times \{b_1, b_2, b_3\} \times \{c_1, c_2, c_3\} \times \{d_1, d_2, d_3\} \times \{e_1, e_2, e_3\}.$$

Модель такой системы в АК имеет вид:

$$Q = \begin{bmatrix} \{a_1\} & * & * & * & \{e_1, e_2\} \\ * & \{b_1, b_2\} & * & \{d_1, d_2\} & * \\ * & \{b_2, b_3\} & \{c_1, c_2\} & * & \{e_2, e_3\} \\ \{a_2\} & * & \{c_2, c_3\} & \{d_3\} & * \end{bmatrix}.$$

Распределение вероятностей элементарных событий приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение вероятностей

X ₁		X ₂			X ₃			X ₄			X ₅		
a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	b ₃	c ₁	c ₂	c ₃	d ₁	d ₂	d ₃	e ₁	e ₂	e ₃
0.6	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.7	0.2	0.1

Необходимо выполнить расчет вероятностей событий Q . Для вычисления $P(Q)$ сначала найдем дополнение \bar{Q} :

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} \{a_2\} & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \{e_3\} \\ \emptyset & \{b_3\} & \emptyset & \{d_3\} & \emptyset \\ \emptyset & \{b_1\} & \{c_3\} & \emptyset & \{e_1\} \\ \{a_1\} & \emptyset & \{c_1\} & \{d_1, d_2\} & \emptyset \end{bmatrix}.$$

Используя методы АК, преобразуем \bar{Q} в ортогональную C -систему:

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} \{a_2\} & \{b_1\} & \{c_1\} & \{d_3\} & * \\ \{a_1\} & \{b_1\} & * & \{d_3\} & \{e_3\} \\ \{a_2\} & \{b_2, b_3\} & \{c_1\} & \{d_3\} & \{e_1\} \\ \{a_2\} & \{b_3\} & * & \{d_1, d_2\} & \{e_1\} \\ \{a_1\} & \{b_2, b_3\} & \{c_3\} & \{d_3\} & \{e_3\} \\ \{a_2\} & \{b_3\} & \{c_3\} & \{d_1, d_2\} & \{e_2, e_3\} \\ \{a_1\} & \{b_3\} & \{c_3\} & \{d_1, d_2\} & \{e_3\} \end{bmatrix}.$$

Подставляя в эту матрицу значения вероятностей из таблицы, получим значение $P(\bar{Q}) = 0.13012$. Отсюда $P(Q) = 1 - P(\bar{Q}) = 0.86988$. Заметим, что вероятности сложных компонент, например, $\{b_2, b_3\}$, равны сумме вероятностей элементов этих компонент.

Вероятностная логика. Термин "вероятностная логика" получил широкое распространение в работах по искусственному интеллекту после опубликования статьи известного специалиста по искусственному интеллекту Н. Нильсона [34]. Его идея была продолжена другими исследователями. Анализ работ по вероятностной логике показывает, что в них результатом соединения классических понятий "вероятность" и "логика" оказываются некоторые неклассические логики. В частности, Н. Нильсон для решения обратной задачи предложил теорию, использующую геометрические построения и концепции возможных миров. Далее приводится концепция вероятностной логики через призму алгебры кортежей без нарушения законов классической логики.

Рассмотрим пример, приведенный в статье по вероятностной логике Н. Нильсона [34].

Пример 3. Дана совокупность событий, заданных формулами A и $A \supset B$ исчисления высказываний, при этом $P(A) = p_1$ и $P(A \supset B) = p_2$. Требуется оценить вероятность $P(B)$ события B .

Покажем, как данная задача решается с помощью АК.

В задаче имеются две логические переменные (A, B) , которые можно считать элементарными событиями. Предположим, что вероятность этих событий равна соответственно $P(A)$ и $P(B)$. Выразим заданные формулы в структурах АК, используя универсум $A \times B = \{0, 1\}^2$:

$$A = [\{1\} *]; B = [* \{1\}]; A \supset B = \bar{A} \vee B =]\{0\} \{1\}[= \begin{bmatrix} \{0\} & * \\ \{1\} & \{1\} \end{bmatrix},$$

(здесь D -кортеж преобразован в ортогональную C -систему).

На основании этого найдем формулы вероятностей событий A и $A \supset B$:

$$P(A) = p_1; P(A \supset B) = (1 - P(A)) + P(A)P(B) = p_2.$$

Получилась система из двух уравнений:

$$P(A) = p_1;$$

$$(1 - P(A)) + P(A)P(B) = p_2,$$

из которой несложно вывести:

$$P(B) = \frac{p_1 + p_2 - 1}{p_1}.$$

Это точный ответ. В [34] ответ получен как интервальная оценка:

$$p_2 + p_1 - 1 \leq P(B) \leq p_2.$$

Ответ, полученный методами АК, также позволяет по значениям заданных вероятностей событий оценить допустимость или недопустимость этих событий. Это можно сделать, используя неравенства:

$$p_1 + p_2 - 1 \geq 0 \text{ и } p_1 + p_2 - 1 \leq p_1.$$

Из них следует допустимость событий при условии $p_1 + p_2 \geq 1$. Второе неравенство после преобразования становится очевидным: $p_1 \leq 1$. Таким образом, верхняя граница для $P(B)$, полученная Н. Нильсоном, избыточна.

В общем случае алгоритм решения задач вероятностной логики следующий. Пусть заданы исходные логические формулы F_i с известными вероятностями $P(F_i)$ и формула G , вероятность которой $P(G)$ требуется вычислить. Тогда выполняется следующая последовательность операций:

1) формулы F_i и G преобразуются в ортогональные C -системы;

2) для каждой из полученных систем составляется уравнение регрессии $E(F_i)$ и $E(G)$;

3) составляется и решается система уравнений $\{E(F_i)\}$;

4) если система уравнений $\{E(F_i)\}$ имеет единственное решение, то полученные значения переменных подставляются в формулу $E(G)$ и находится точный ответ.

Приведем более сложный пример.

Пример 4. Даны вероятности событий, описанных формулами исчисления высказываний: $P(A \supset \bar{C}) = p_1$; $P((A \wedge \bar{B}) \vee B) = p_2$; $P(A \vee \bar{B}) = p_3$. Требуется найти вероятность события $(A \vee C)$.

Выразим заданные события в терминах АК:

$$A \supset \bar{C} = \bar{A} \vee \bar{C} \Leftrightarrow]\{0\} \emptyset \{0}[= \begin{bmatrix} \{0\} & * & * \\ \{1\} & * & \{0\} \end{bmatrix};$$

$$(A \wedge \bar{B}) \vee B \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \{1\} & \{0\} & * \\ * & \{1\} & * \end{bmatrix};$$

$$A \vee \bar{B} \Leftrightarrow]\{1\} \{0\} \emptyset[= \begin{bmatrix} \{1\} & * & * \\ \{0\} & \{0\} & * \end{bmatrix};$$

$$A \vee C \Leftrightarrow]\{1\} \emptyset \{1}[= \begin{bmatrix} \{1\} & * & * \\ \{0\} & * & \{1\} \end{bmatrix}.$$

Пусть $x = P(A)$; $y = P(B)$; $z = P(C)$. Тогда для первых трех событий получим следующую систему уравнений:

$$(1-x) + x(1-z) = p_1;$$

$$x(1-y) + y = p_2;$$

$$x + (1-x)(1-y) = p_3.$$

Результатом решения этой системы будет:

$$x = p_2 + p_3 - 1; y = \frac{1-p_3}{2-p_2-p_3}; z = \frac{1-p_1}{p_2+p_3-1}.$$

Далее построим уравнение регрессии для события $A \vee C$: $x + (1-x)z$. Подставляя в это уравнение значения вычисленных вероятностей, находим:

$$P(A \vee C) = \frac{1-p_1(2-p_2-p_3)}{p_2+p_3-1}.$$

В предыдущих двух примерах был получен точный ответ. Но такая ситуация возможна не всегда, в частности, когда число полученных уравнений меньше числа переменных. Но неопределенности возможны и тогда, когда количество уравнений и переменных одинаково. Рассмотрим пример.

Пример 5. Пусть вероятности событий заданы логическими формулами:

$$P(A \vee B) = a; P(A \wedge B) = b.$$

Требуется найти оценку $P(A)$ и $P(B)$. Выразим данные события в системе как ортогональные C -системы:

$$A \vee B \Leftrightarrow]\{1\} \{1}[= \begin{bmatrix} \{1\} & * \\ \{0\} & \{1\} \end{bmatrix}; A \wedge B \Leftrightarrow]\{1\} \{1}[.$$

Составим систему уравнений:

$$P(A) + (1-P(A))P(B) = a;$$

$$P(A)P(B) = b.$$

Решая данную систему уравнений, получим

$$P(A) = \frac{a + b \pm \sqrt{(a + b)^2 - 4b}}{2}; P(B) = \frac{a + b \mp \sqrt{(a + b)^2 - 4b}}{2}.$$

Видно, что полученные решения не дают однозначного ответа в тех случаях, когда подкоренное выражение не равно 0.

Чтобы охарактеризовать вычислительную сложность алгоритмов в АК, далее приводится оценка вычислительной сложности операций с АК-объектами.

4. Оценка вычислительной сложности алгоритмов

Значительная задач (например, задача выполнимости КНФ), возникающих в логическом анализе при организации процедур вывода, относится по вычислительной сложности к классу *NP*-полных [35], то есть приводит к алгоритмам экспоненциальной сложности. Однако имеется немало частных случаев этих задач, которые решаются за полиномиальное время. Для задачи выполнимости КНФ к таковым относятся КНФ, в которых каждый дизъюнкт имеет не более двух литералов, или КНФ, содержащие только хорновские дизъюнкты. Выявление частных случаев с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости имеет большое значение в прикладных исследованиях, поскольку способствует ускорению алгоритмов.

Известные частные случаи могут быть интерпретированы и в структурах АК, но здесь появляются дополнительные средства снижения трудоемкости, в частности за счет анализа монотонных и бесконфликтных блоков [2, 8].

Особенность АК состоит в том, что операции и сравнения с АК-объектами сводятся к операциям и сравнениям с множествами, являющимися компонентами этих АК-объектов. Во многих приложениях компоненты представляют собой конечные множества, либо могут быть сведены к системам конечных множеств (например, системы из конечного числа интервалов, заданных на действительной числовой оси). С учетом этого для оценки вычислительной сложности алгоритмов в среде АК примем сложность операций с компонентами равной некоторой константе *C*. Тогда можно считать, что вычислительная сложность всех операций и сравнений над АК-объектами зависит только от размерностей участвующих в операциях и сравнениях АК-объектов. В табл. 2 приведены различные сочетания АК-объектов и операций над ними, знаком "+" помечены сочетания, для которых алгоритмы выполнения соответствующих операций полиномиальны при условии, что все домены атрибутов есть простые множества (а не многоместные отношения).

Из табл. 2 видно, что вычислительная сложность операций зависит от класса структур используемых при этом АК-объектов. Например, проверка включения *C*-кортежа в *C*-систему выполняется в общем случае с помощью алгоритма экспоненциальной вычислительной сложности, в то время как алгоритм проверки включения *C*-кортежа и даже *C*-системы в *D*-систему имеет полиномиальную сложность. В табл. 2 отсутствуют операции пересечения, объединения и дополнения. Операция дополнения АК-объекта во всех случаях требует алгоритмов полиномиальной вычислительной сложности, но при этом система преобразуется в альтернативный класс. Операции пересечения и объединения АК-объектов, относящихся к одному классу, выполняются

алгоритмами полиномиальной сложности. Трудности возникают в случаях, когда для реализации операций или сравнений требуется преобразование C -систем или D -систем в альтернативный класс.

Задача преобразования АК-объекта в альтернативный класс для случая, когда АК-объект есть D -система (или C -система), по вычислительной сложности выходит за предел NP -полных задач и относится к классу $\#P$ -полных, то есть задач перечисления.

Таблица 2

Трудоёмкость операций АК

Действие	C -кортеж	C -система	D -кортеж	D -система
Проверка принадлежности заданного элементарного кортежа в	+	+	+	+
Проверка включения C -кортежа в	+		+	+
Проверка включения C -системы в	+		+	+
Проверка включения D -кортежа в	+		+	+
Проверка включения D -системы в				
Кванторная операция $\forall x$	+		+	+
Кванторная операция $\exists x$	+	+	+	

Если требуется преобразовать АК-объект R размерности $m \times n$ (n – число атрибутов, a – число кортежей) в альтернативный класс, то в худшем случае потребуется Cn^m операций (каждая строка R преобразуется в систему из n кортежей и необходимо выполнить такой же объем операций, как при вычислении декартова произведения полученных после преобразования систем). Причем это соотношение справедливо, даже если каждая компонента является подмножеством множества $\{0, 1\}$ (модели исчисления высказываний). На первый взгляд представляется, что при реализации в структурах АК задач, относящихся в исчислении высказываний и в исчислении предикатов к классам NP -полных, трудоёмкость решения не только не уменьшается, но в ряде случаев даже увеличивается. Однако, как показывает практика, большинство задач логического анализа можно решить без преобразования АК-объектов в альтернативные классы [2]). Если же таких преобразований не избежать, то даже в том случае, когда матрица АК-объекта содержит сравнительно небольшое число фиктивных компонент, методы уменьшения трудоёмкости на основе матричных свойств АК-объектов оказываются удобными для использования. Иногда для таких "плотных" АК-объектов удается найти частные случаи, когда сложность преобразования полиномиальна [2, 36].

Для разреженной матрицы АК-объекта оценка Cn^m заменяется оценкой Ck^m , где $k \ll n$. Поиск и разработка новых методов снижения трудоемкости алгоритмов в АК значительно упрощается за счет большей регулярности структур АК-объектов по сравнению с формальными представлениями логических систем. В частности, матричное представление АК-объектов позволяет естественно применять методы распараллеливания алгоритмов.

При реализации в АК алгоритмов задач, относящихся в соответствующих логических моделях к классам NP -полных, существенную роль в уменьшении их трудоемкости играет предварительная ортогонализация структур. В этом случае соответствующая организация вычислений в дереве поиска решения приводит к более интенсивному отсечению ветвей, что часто значительно уменьшает общее число вычислительных операций.

Заключение

Таким образом, АК реализует общую теорию многоместных отношений, пригодную для решения следующих задач обработки данных и знаний:

- 1) унифицированное представление данных и знаний;
- 2) моделирование систем дедуктивного вывода;
- 3) моделирование и анализ модифицируемых рассуждений (гипотезы, абдукция и т.д.) и рассуждений с неопределенностями;
- 4) логико-семантический анализ моделируемых систем;
- 5) сокращение трудоемкости алгоритмов решения сложных задач логического анализа;
- б) вероятностный анализ логических систем.

В конечном счете, в рамках законов классической логики предложен новый алгебраический подход к унифицированному представлению основных видов данных и знаний, встречающихся в интеллектуальных системах, и решению задач дедуктивного и недедуктивного логико-семантического анализа.

Резюмируя итоги выполнения проекта, можно утверждать, что на базе предложенных основе алгебры кортежей и алгебры условных кортежей разработан методологический и алгоритмический аппарат комбинированного логико-семантического анализа баз данных и знаний.

Литература

1. Бурбаки, Н. Теория множеств / Бурбаки Н. – М., Мир, 1965. – 465 с.
2. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. -235 с.
3. Зуенко, А.А. Синтез методов логико-семантического анализа в рамках законов классической логики / А.А. Зуенко // Настоящий сборник. - С.112-119.
4. Зуенко, А.А. Унификация обработки данных и знаний на основе общей теории многоместных отношений / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений, 2010. – Вып. 3. – С.52-62.
5. Kulik, B. Algebraic Method of Intelligent Data and Knowledge Processing /B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Proceedings of First Russia and Pacific

- Conference on Computer Technology and Applications (Vladivostok, 6-9 September, 2010). – pp.130-135.
6. Artemieva, I.L. Integration of Ontologies, Knowledge and Data Archives into Ontology-Based Modeling Systems / I.L. Artemieva, A. A.Zuenko, A. Ya.Fridman. // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2011): Proceedings of the 11th International Conference (18- 20 May, Minsk, Republic of Belarus). – Minsk: BSUIR, 2011. – pp.303-306.
 7. Зуенко, А.А. Интеграция баз данных и знаний интеллектуальных систем на основе алгебраического подхода / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2011): материалы Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 10-12 февраля 2011 г.) – Минск: БГУИР, 2011. – С.59-70.
 8. Kulik, B. Algebraic Approach to Logical Inference Implementation. / B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Computing and Informatics (CAI), Slovakia (в печати).
 9. Kulik, B. Logical Inference and Defeasible Reasoning in N-tuple Algebra / B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // In: “Diagnostic Test Approaches to Machine Learning and Commonsense Reasoning Systems”, IGI Global (в печати).
 10. Kulik, B. Modified Reasoning by Means of N-Tuple Algebra / B. Kulik, A. Zuenko, A. Fridman // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2011): Proceedings of the 11th International Conference, 18-20 May, Minsk, Republic of Belarus). – Minsk: BSUIR, 2011. – pp.271-274.
 11. Kulik, B. Logical Analysis of Intelligence Systems by Algebraic Method / B. Kulik, A. Fridman, A. Zuenko // Cybernetics and Systems 2010: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2010). - Vienna, Austria, 2010. – pp.198-203.
 12. Кулик, Б.А. Анализ семантики на основе общей теории многоместных отношений./ Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман// Системный анализ и информационные технологии: тр. Четвертой Междунар. конф., г. Абзаково, Россия, 17-23 августа 2011 г. - Т.1. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2011. – С.88-94.
 13. Кулик, Б.А. Теория отношений как инструмент семантического анализа данных и знаний./ Б.А. Кулик, В.Г. Курбанов, А.Я. Фридман // Вестник СПбГУ, 2010. -Вып. 4. -С.86-96.
 14. Кулик, Б. А. Управление логико-семантическим анализом на основе теории отношений / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // VIII Всерос. школа-семинар «Прикладные проблемы управления макросистемами», г. Апатиты, 29 марта – 2 апреля 2010 г. Материалы докл. – Апатиты: Изд-во КНИЦ РАН, 2008. – С.23-24.
 15. Фридман, А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. – 436 с.
 16. Фридман, А.Я. Контекстный подход к обработке ситуаций в системах концептуального моделирования / А.Я. Фридман, А.А. Зуенко // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009). Материалы X Междунар. научно-техн. конф. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.118-120.

17. Зуенко, А.А. Контекстный подход в системах сопровождения открытых моделей предметной области / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. – №3. – С.41-51.
18. Зуенко, А.А. Анализ контекстов при моделировании слабо формализованных предметных областей / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Двенадцатая нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2010, г. Тверь, Россия, 20 -24 сентября 2010 г.: тр. конф. Т.2 – М.: Физматлит, 2010. – С.164-172.
19. Зуенко, А.А. Анализ корректности запросов к базам данных систем концептуального моделирования средствами алгебры кортежей / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009): мат. X Междунар. научно-техн. конф. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.86-88.
20. Зуенко, А.А. Развитие алгебры кортежей для логического анализа баз данных с использованием двуместных предикатов / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Известия РАН. Теория и системы управления.- 2009. – №2. – С.95-103.
21. Зуенко, А.А. Автоматический контроль корректности процесса моделирования в рамках алгебраического подхода / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман, Б.А. Кулик // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Информационные технологии. – Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С.18-22.
22. Зуенко, А.А. Метод семантического анализа нерегламентированных запросов в реляционной базе данных с иерархической структурой / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Труды ИСА РАН. Прикладные проблемы управления макросистемами / под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова.– М., Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2008. – Т. 39. – С.141-159.
23. Зуенко, А.А. Логический вывод при семантическом анализе нерегламентированных путевых запросов / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Одиннадцатая нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2008, г., Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008: труды конф. – М., ЛЕНАНД, 2008. – Т.1. – С.298-304.
24. Зуенко, А.А., Кулик Б.А., Фридман А.Я. Интеллектуализация анализа сложных запросов в реляционных СУБД / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // 21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Севастополь, 12—16 сентября 2011 г.: мат. конф. — Севастополь : Вебер, 2011. — С. 61, 62.
25. Зуенко, А.А. Управление контекстом при организации интеллектуализированного интерфейса БД в системах моделирования на основе концептуального подхода. / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Труды ИСА РАН. Прикладные проблемы управления макросистемами / Под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова. – М., Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – Т.39. - С.128-141.
26. Зуенко, А.А. Контекстно-ориентированное управление данными в системах моделирования сложных объектов / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Информационные технологии в региональном развитии: сб. научн. тр. ИИММ КНЦ РАН.– Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. - Вып. IX. – С.45-50.

27. Зуенко, А.А. Управление ограничениями в системах концептуального моделирования: имеющийся задел и перспективы / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Настоящий сборник. – С.120-127.
28. Зуенко, А. А. Примеры применения алгебры кортежей в интеллектуальном анализе данных / А. А. Зуенко, Б. А. Кулик, А. Я. Фридман // Двенадцатая нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2010, г.Тверь, 20-24 сентября 2010 г.: тр. конф. Т. 3. – М.: Физматлит, 2010. – С.279-287.
29. Зуенко, А.А. Семантическая обработка информации в современных фактографических системах / А.А.Зуенко, А.Я.Фридман // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Информационные технологии. – Апатиты, 2010. – Вып. 1. – С.23-28.
30. Кулик, Б.А. Алгебраическое моделирование вопросно-ответных систем / Б.А. Кулик, А.Я. Фридман, А.А. Зуенко // Материалы первой российской научной конф. с междунар. участием «Системный анализ и семиотическое моделирование (SASM'2011)». – Казань: Изд-во «Фэн» Академия наук РТ, 2011. -С.290-298.
31. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин – СПб., Политехника, 2000. – 248 с.
32. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н.Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
33. Соложенцев, Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Е.Д. Соложенцев – СПб., Издательский дом "Бизнес-пресса", 2004. – 432 с.
34. Nilsson, N. J. Probabilistic Logic / N.J. Nilsson // Artificial Intelligence. -1986. – №28. – pp. 71-87.
35. Гэри, М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Л. Джонсон. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
36. Кулик, Б.А. Новые классы КНФ с полиномиально распознаваемым свойством выполнимости / Б.А. Кулик // Автоматика и телемеханика, 1995. – № 2. – С.111-124.

Сведения об авторах

Зуенко Александр Анатольевич

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander A. Zuenko

PhD (2009), a researcher of the Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Фридман Александр Яковлевич

д.т.н., проф., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander Ya. Fridman

Dr. of Sci (Tech.), Professor, head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Кулик Борис Александрович

д.ф.-м. наук, ведущий научный сотрудник. Учреждения Российской Академии Наук Институт Проблем Машиноведения РАН (ИПМаш РАН).

Россия, 199178, Санкт Петербург, Васильевский остров, Большой проспект, 61.

e-mail: ba-kulik@yandex.ru

Boris A. Kulik

Dr. of Science (Physics and Mathematics), leading researcher in the St.-Petersburg Institute of Problems in Machine Science of the Russian Academy of Sciences.

Russia, 199178, St. Petersburg, V. O., Bolshoj prosp., 61.

В.В. Быстров., А.В. Горохов, С.Н. Малыгина, Д.Н. Халиуллина

ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РФ

Аннотация

В работе представлен цикл исследований, включающий основные этапы проектирования имитационных моделей для задач управления безопасностью развития арктических регионов РФ. Задача информационно-аналитической поддержки управления безопасностью регионального развития формализована в виде концептуальной модели. На основе концептуальной модели выполнена постановка задачи и разработка базовой системно-динамической модели управления безопасностью региона. Выделены параметры системно-динамической модели, используемые для оценки экономических рисков.

Ключевые слова: имитационное моделирование, управление безопасностью.

V.V. Bystrov, A.V. Gorokhov, S.N. Malygina, D.N. Khaliullina

INFORMATION INFRASTRUCTURE SAFETY MANAGEMENT OF RUSSIAN ARCTIC REGIONS DEVELOPMENT

Abstract

Paper present a cycle of research which includes basic design stages of the simulation models for the tasks safety management of Russian arctic regions development. Task of information-analytical support safety management of regional development formalize in the form of a conceptual model. Statement of the problem and design a basic system-dynamic model of the region safety management are executed on the basis of a conceptual model. Parameters of the system-dynamic model which use for the assessment of economic risk are allocated.

Keywords: simulation, safety management.

Введение

Работа выполнялась в рамках Темы НИР ИИММ КНЦ РАН «Когнитивные информационные технологии информационно-аналитической поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов России (на примере Мурманской области)» силами лаборатории информационных технологий управления региональным развитием. Работа содержит следующие основные разделы: формализация задачи информационно-аналитической поддержки управления безопасностью регионального развития на основе методов и средств концептуального моделирования; обоснование рациональных структур информационного обеспечения управления промышленно-экологической безопасностью регионального развития; разработка базовой системно-динамической модели управления безопасностью региона. Актуальность проводимых исследований определяется возрастающим значением и спецификой Арктических регионов, а также тем, что на территории Мурманской области планируется создание специализированного центра исследования и обеспечения безопасности в Арктике. Основанием для создания такого центра явилось принятие постановления Правительства РФ «Основы государственной

политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Президентом РФ 18.09.2008 г.). Новизна предлагаемого подхода заключается в создании на основе комплексного имитационного моделирования социально-экономических систем информационных технологий для поддержки управления безопасностью развития регионов.

Формализация задачи информационно-аналитической поддержки управления безопасностью регионального развития на основе методов и средств концептуального моделирования

Построена концептуальная модель, содержащая базовые показатели социально-экономической системы региона. Модель реализована средствами разработанной в ИИММ КНЦ РАН инструментальной системы поддержки создания концептуальных моделей сложных систем. Концептуальная модель имеет древовидную структуру, полученную в результате декомпозиции следующих базовых показателей: валовой региональный продукт; население; бюджет. Примитивами (объектами нижнего уровня декомпозиции) модели являются: выручка от продажи товаров; себестоимость проданных товаров; численность населения по возрастным группам; среднедушевые денежные доходы населения по каждой группе; среднегодовая численность занятых в экономике; инвестиции в основной капитал; среднегодовая заработная плата; уровень безработицы; миграционный прирост; естественный прирост; уровень социальной обеспеченности; количество предприятий (рабочих мест); социальное потребление; федеральная финансовая помощь. Для каждого примитива предложена эмпирическая шкала риска. На основе концептуальной модели построена интегральная шкала риска, обеспечивающая комплексную оценку безопасности различных сценариев регионального развития.

Обоснование рациональных структур информационного обеспечения управления промышленно-экологической безопасностью регионального развития

Выполнена постановка задачи и разработаны композитные системно-динамические модели промышленного потенциала и экологической системы для оценки рисков сценариев регионального развития. Комплекс моделей промышленного потенциала региона включает в себя разработанные в ИИММ КНЦ РАН модели основных отраслей экономики Мурманской области: горнопромышленного; топливно-энергетического; рыбопромышленного; транспортного и сельскохозяйственного комплексов. Разработана системно-динамическая модель основной составляющей промышленных регионов Севера России – моногорода. Разработана системно-динамическая модель загрязнения окружающей среды. В модели имитируются процессы загрязнения воздуха и загрязнения воды (рек, озер, которые являются источником питьевой воды). Для исследования динамики взаимного влияния промышленных, экономических и экологических параметров вводятся два понятия: реальное загрязнение окружающей среды; воспринимаемое человеком загрязнение. Второе понятие введено вследствие того, что практически любое загрязнение окружающей среды, в которой находится человек, не отражается на состоянии его здоровья немедленно. В качестве источников загрязнения воздуха приняты: действующий

транспорт; промышленные предприятия; предприятия топливно-энергетического комплекса и прочие объекты (например, хранилище отходов обогатительной фабрики – рассматривается процесс пыления поверхности отходов). Основными источниками загрязнения воды являются промышленные предприятия (сброс недостаточно очищенных вод промышленного использования). Каждый из этих источников имеет свои характеристики по интенсивности действия в различное время года и по влиянию на здоровье человека. Предложенные композитные системно-динамические модели позволяют путем многократной имитации оценивать экономический и связанный с ним экологический риски различных сценариев развития региона.

Разработка базовой системно-динамической модели управления безопасностью региона

Базовая системно-динамическая модель управления безопасностью Мурманской области состоит из следующих основных компонентов [1]:

- население региона;
- производство;
- финансы;
- рынок труда.

Для каждого компонента на модели формализованы основные риски.

Население: падение коэффициента рождаемости ниже значения 2,15 ведет к отсутствию простого замещения поколений; доля лиц, старше 65 лет к общей численности населения более 7% ведет к «старению населения».

Производство: уровень падения промышленного производства более 30% ведет к разрушению промышленного потенциала; доля экспорта продукции обрабатывающей промышленности менее 45% ведет к колониально-сырьевой структуре экономики; доля импортных продуктов питания более 30% ведет к стратегической зависимости от импорта.

Финансы: превышение дефицита бюджета 30% ведет к нарушению финансовой устойчивости региона; отношение дефицита бюджета региона к общим доходам бюджета региона без учета финансовой помощи из вышестоящего бюджета более 5% ведет к заметному повышению уровня кредитных рисков; доля федеральной финансовой помощи не должна превышать 20%.

Рынок труда: уровень безработицы, превышающий 10% ведет к социальной дестабилизации; превышение доли населения, живущей за «чертой бедности» 10% ведет к «люмпенизации» населения; соотношение минимальной и средней заработной платы более 1/3 ведет к деградации рабочей силы.

Заключение

Предложен подход к созданию информационной инфраструктуры управления безопасностью развития арктических регионов РФ. Подход основан на имитационном моделировании, что позволяет учитывать динамику взаимного влияния базовых показателей социально-экономической системы с целью оценки экономических и социальных рисков сценариев регионального развития. Это обеспечивает комплексную оценку экономической и социальной безопасности на каждом этапе выбранного сценария развития региона.

Литература

1. Горохов, А.В., Иванова, М.В., Малыгина, С.Н. Проектирование имитационной модели для оценки экономических рисков регионального развития (на примере Мурманской области) / А.В. Горохов, М.В. Иванова, С.Н. Малыгина // Настоящий сборник. – С.151-155.

Сведения об авторах

Быстров Виталий Викторович

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

E-mail: vitbist@mail.ru

Vitalij V. Bystrov

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Горохов Андрей Витальевич

д.т.н., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: gorokhov@iimm.kolasc.net.ru

Andrey V. Gorokhov

Dr. of Sci (Tech.) head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia. 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Малыгина Светлана Николаевна

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: malygina@iimm.kolasc.net.ru

Svetlana N. Malygina

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Халиуллина Дарья Николаевна

младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: abalymka@mail.ru

Daria N. Khaliullina

junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia. 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

А.В. Горохов¹, М.В. Иванова², С.Н. Малыгина¹

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ РИСКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
(НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Аннотация

В работе представлены основные этапы проектирования имитационной модели социально-экономической системы Мурманской области: формализация предметной области (выделены и специфицированы основные объекты моделирования); построение концептуальной модели в виде причинно-следственных диаграмм, формализующих взаимодействие объектов моделирования. Выделены параметры имитационной модели, используемые для оценки экономических рисков.

Ключевые слова: имитационное моделирование, социально-экономические процессы.

A.V. Gorokhov, M.V. Ivanova, S.N. Malygina

**THE SIMULATION MODEL DESIGN FOR ASSESSMENT
OF THE REGIONAL DEVELOPMENT ECONOMIC RISKS
(EXAMPLIFIED WITH THE MURMANSK REGION)**

Abstract

The paper presents the main design stages of a simulation model of the socio-economic system in the Murmansk region, namely formalization of the subject domain (the main objects of the simulation are identified and specified); design of a conceptual model in the form of cause-and-effect diagrams, which formalize interaction modeling objects. Parameters of the simulation model used for the assessment of economic risk are allocated.

Keywords: simulation, socio-economic processes.

Введение

Северные территории России – это, прежде всего, районы добычи и первичной переработки сырьевых ресурсов. В последнее столетие, в связи с истощением запасов полезных ископаемых в центральных районах, центры добычи сырья перемещались все далее на Север. В настоящее время Север является главным и определяющим поставщиком сырьевых ресурсов, как для внутренних потребностей России, так и на экспорт. За 20 лет модернизации хозяйственного уклада России модель развития Севера осталась, по существу, неизменной. Сырьевая направленность экспорта и преобладание горно-добывающего и топливно-энергетического комплекса в структуре промышленности, позволяют, так или иначе, решать текущие социально-экономические задачи, однако в обозримой перспективе без кардинального повышения эффективности использования природных ресурсов и производительности труда «благополучие» северных территорий нашей страны

¹ ИИММ КНЦ РАН

² КФ ПетрГУ

будет под угрозой. Поэтому оценка возможных рисков для различных сценариев развития Арктических регионов РФ является актуальной задачей. Возможности исследования сложных систем, подобных государству, региону ограничены тем, что каждая связь, которую можно выделить для исследования, может находиться под влиянием самых разнообразных системных компонентов. Тем не менее, практика показывает, что на определенных отрезках времени возможно эффективное управление сложными системами, а, следовательно, моделирование и прогнозирование. Сложные системы ведут себя дискретно – им присущи некие квазистационарные состояния, когда их реакции на изменения окружающей среды просты и однообразны. Таким образом, поведение сложной системы, находящейся в квазистационарном состоянии, можно описать системами обыкновенных дифференциальных уравнений, что и обеспечило высокую эффективность в таких задачах специализированного метода имитационного моделирования – системной динамики.

Концептуальная модель социально-экономической системы

Концептуальная модель социально-экономической системы Мурманской области состоит из следующих основных компонентов:

- население региона;
- производство;
- финансы;
- рынок труда;
- уровень жизни населения.

Население – отвечает за осуществление прогнозных расчетов общей численности населения с учетом естественного движения и процессов миграции, его половозрастной структуры, численности экономически активного контингента. Риски: падение коэффициента рождаемости ниже значения 2,15 ведет к отсутствию простого замещения поколений; доля лиц, старше 65 лет к общей численности населения более 7% ведет к «старению населения».

Производство – моделируется развитие производственного комплекса, который состоит из шести основных отраслей [1]:

- горнопромышленный комплекс;
- энергетический комплекс;
- транспортный комплекс – включает пассажиро- и грузоперевозки всеми видами транспорта;
- строительный комплекс – объединяет строительно-монтажные и специализированные организации, предприятия по производству строительных материалов, изделий и конструкций, проектные и изыскательские организации всех форм собственности.
- рыбопромышленный комплекс – основой является рыбная отрасль, включающая добывающие и рыбообрабатывающие предприятия.
- агропромышленный комплекс – включает сельскохозяйственные предприятия, предприятия перерабатывающей и пищевой промышленности. Основная задача, стоящая перед агропромышленным комплексом – производство социально значимых продуктов питания.

Риски: уровень падения промышленного производства более 30% ведет к разрушению промышленного потенциала; доля экспорта продукции

обрабатывающей промышленности менее 45% ведет к колониально-сырьевой структуре экономики; доля импортных продуктов питания более 30% ведет к стратегической зависимости от импорта.

Финансы – прогнозируются финансовые результаты деятельности предприятий, доходы и расходы населения, поступления в государственный бюджет и направления расходования средств с возможного анализа и прогнозной оценки регионального отклика на изменения налоговой системы и структуры региональной экономики.

Рынок труда – моделируется межотраслевое движение рабочей силы в зависимости от потребности, уровня скрытой и структурной безработицы, размера оплаты труда.

Уровень жизни населения – представляет во взаимосвязи динамику инвестиционно-фондовых процессов, формирования материальных и трудовых ресурсов и обеспечения населения услугами непроизводственных отраслей.

Риски: если дефицит бюджета превышает 30%, то это ведет к нарушению финансовой устойчивости региона; отношение дефицита бюджета региона к общим доходам бюджета региона без учета финансовой помощи из вышестоящего бюджета более 5% говорит о неадекватно высоких расходах региона, что повышает уровень кредитных рисков; доля федеральной финансовой помощи не должна превышать 20%; уровень безработицы, превышающий 10% ведет к социальной дестабилизации; превышение доли населения, живущей за «чертой бедности» 10% ведет к «люмпенизации» населения; соотношение минимальной и средней заработной платы более 1/3 ведет к деградации рабочей силы.

На рисунке представлена концептуальная модель в виде ориентированного графа, вершинами которого являются объекты имитационной модели социально-экономической системы Мурманской области, а дугами – причинно-следственные связи. Дуга направлена от причины к следствию и обозначена «+» или «-», в зависимости от характера влияния.

Опишем причинно-следственные связи.

Кол-во предприятий → выручка от продажи товаров → доходы бюджета. Создание большого числа предприятий вызывает рост выручки от продаж, что увеличивает доход бюджета.

Средн. год. числ. занятых → ср. год. доходы населения → доходы бюджета. Увеличение среднегодовой численности занятых в экономике вызывает рост среднегодовых доходов населения, что приводит к увеличению дохода бюджета.

Средн. год. зарплата → ср. год. доходы населения. Среднегодовой доход населения можно также увеличить за счет роста среднегодовой зарплаты.

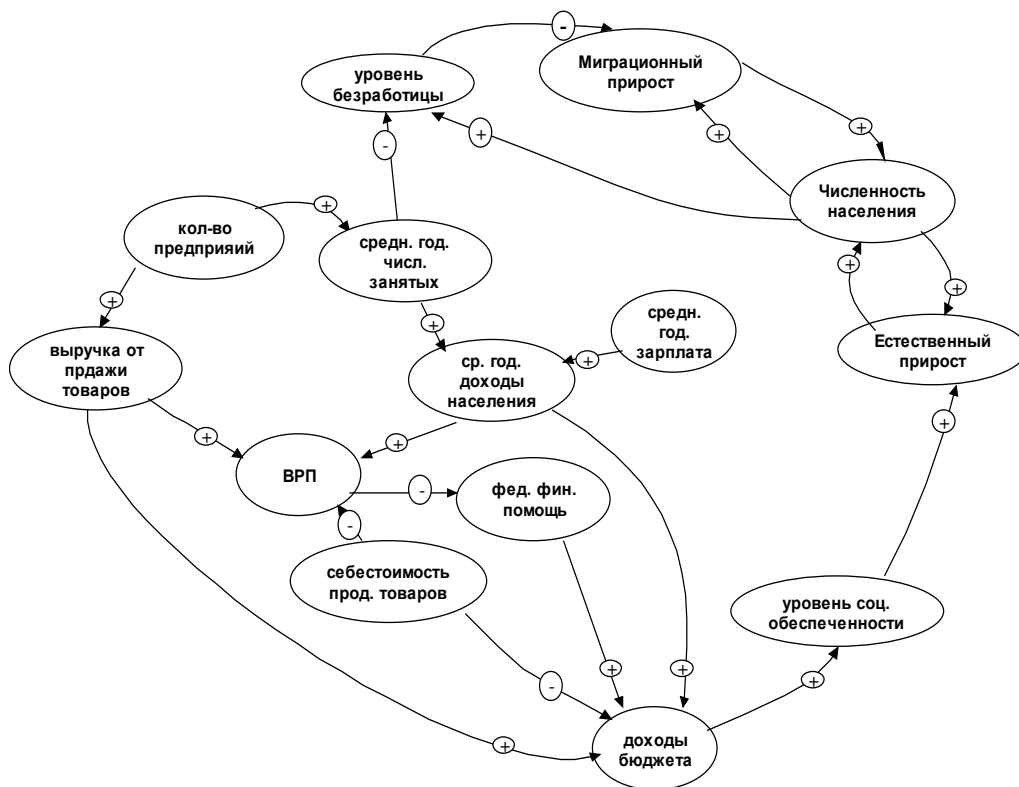
Выручка от продажи товара → ВРП, ср. год. доходы населения → ВРП. Рост выручки от продаж и среднегодовых доходов населения вызывает рост ВРП.

Себестоимость прод. товаров → ВРП, Себестоимость прод. товаров → доходы бюджета. Рост себестоимости товаров снижает ВРП и доходы бюджета.

ВРП → фед. финн. помощь → доходы бюджета. Снижение ВРП увеличивает федеральную финансовую помощь, что увеличивает доходы бюджета.

Доходы бюджета → уровень соц. обеспеченности → Естественный прирост → Численность населения → Естественный прирост. Увеличение доходов

бюджета улучшает уровень социальной обеспеченности, что увеличивает естественный прирост населения, что в свою очередь приводит к увеличению численности населения. Увеличение численности населения ведет к росту естественного прироста.



Концептуальная модель социально-экономической системы

Дуги могут образовывать петли положительной или отрицательной обратной связи. Приведем пример одной из таких петель. Если создается больше предприятий, то увеличивается численность занятых в экономике, что приводит к снижению уровня безработицы, что в свою очередь приводит к увеличению миграционного потока, вследствие чего увеличивается численность населения, а увеличение численности населения приводит к увеличению уровня безработицы. Получили петлю отрицательной обратной связи: кол-во предприятий → численность занятых в экономике → уровень безработицы → миграционный прирост → численность населения → уровень безработицы.

Заклучение

Предлагаемая работа является постановкой задачи на разработку имитационной модели социально-экономической системы Мурманской области с целью оценки экономических рисков различных сценариев развития. На основе концептуальной модели будет создана системно-динамическая модель. В ИИММ КНЦ РАН разработан программный комплекс автоматизации концептуального синтеза системно-динамических моделей [2], позволяющий

автоматизировать процесс создания имитационной модели на основе концептуальных описаний. Применение данного комплекса обеспечит существенное сокращение затрат при реализации имитационной модели социально-экономической системы Мурманской области.

Литература

1. Стратегические перспективы социально-экономического развития Мурманской области /под ред. В.Т. Калининкова. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика»», 2010 г. – 318 с.
2. Быстров, В.В. Программный комплекс автоматизации концептуального синтеза системно-динамических моделей / В.В. Быстров // Программные продукты и системы. – 2008. - № 1. - С.32-35.

Сведения об авторах

Горохов Андрей Витальевич

д.т.н., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: gorokhov@iimm.kolasc.net.ru

Andrey V. Gorokhov

Dr. of Sci (Tech.) head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS, Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Иванова Медea Владимировна

к.э.н., доцент кафедры экономической теории и финансов экономического факультета КФ ПетрГУ.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Космонавтов, д. 3.

e-mail: aprec99@mail.ru

Medeya V. Ivanova

Ph.d. (Econ.), associate professor of the chair of economic theory and finance, faculty of economics KF Petrosavodsk SU.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Kosmonavtov St. 3.

Мальгина Светлана Николаевна

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: malygina@iimm.kolasc.net.ru

Svetlana N. Malygina

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.94

А.С. Шемякин¹, С.Ю. Яковлев¹, А.А. Рыженко¹, Д.Е. Тихонов²

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ХИБИНСКОГО ГОРНОРУДНОГО РАЙОНА)

Аннотация

В данной статье сформулирована задача создания трехмерной модели регионального природно-промышленного комплекса, обоснован выбор средств моделирования. Технология создания модели апробирована на примере Хибинского горнорудного района. Основной акцент в работе сделан на разработке графического компонента модели.

Ключевые слова:

моделирование, технология, 3D, Autodesk 3D Studio Max, безопасность.

A.S. Shemyakin, S. Yu. Yakovlev, A.A. Ryzhenko, D.E. Tihonov

REGIONAL INDUSTRIAL COMPLEX GRAPHICAL COMPOUND 3D MODEL REALIZATION (FOR HIBINY MOUNTAINS REGION AS AN EXAMPLE)

Abstract

In this paper regional industrial complex 3d-modelling are formulated. Modelling tools selection are justified. 3D model creation technology are given by sample Hibiny mountains region. Attention paid to creating graphical compound of 3D model.

Keywords:

modelling, technology, 3D, Autodesk 3D Studio Max, security.

Введение

Исследование эффективности и безопасности функционирования промышленно-природных систем (ППС) осуществляется на основе различных подходов [1]. В масштабе региона (субъект федерации, область, район, промышленный кластер) взаимодействуют десятки относительно самостоятельных систем (энергетический комплекс, транспорт, телекоммуникации, крупные промышленные предприятия и т.д.), обладающих правом принятия управленческих решений, влияющих на социальную, экономическую и экологическую ситуацию. Поэтому полноценное стратегическое и оперативное управление промышленно-природным комплексом невозможно без научно обоснованной координации работы указанных систем. Основная задача исследований - создание методов, моделей и информационных технологий оценки эффективности и безопасности региональных ППС, с учетом их взаимодействий, интересов и ограничений. Программно-алгоритмическая реализация модели управления региональным промышленно-природным комплексом, в том числе, предполагает разработку подсистемы контроля безопасного функционирования ППС, а также интеграцию разработанных

¹ ИИММ КНЦ РАН

² КФ ПетрГУ

методов, технологий и подсистем в общую модель ППС региона. Естественной и приемлемой средой моделирования для координации решений по управлению ППС представляется использование ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задач и выполнения пространственно-зависимых расчетов.

Актуальность применения трехмерного моделирования объясняется, прежде всего, тем, что оно обеспечивает большую наглядность и интерпретируемость данных, предоставляет возможность наиболее полно передавать информацию об изменениях ППС с течением времени, а также позволяет реализовать ряд прикладных задач, недоступных для решения с использованием двумерных данных. Кроме того, по таким моделям можно производить расчеты площадных и объемных характеристик поверхностей и уклонов, экспозиций, а также выполнять построение профилей и изолиний рельефной поверхности. 3D-моделирование дает возможность визуальной экспертной оценки взаимного влияния различных факторов и составления последующего прогноза развития ситуации. Одним из приложений трехмерного моделирования является информационное обеспечение управления промышленно-экологической безопасностью объектов и территорий [2].

В статье реализован графический компонент 3D-модели, обеспечивающий статическую визуализацию объектов. В дальнейшем планируется разработать технологию автоматизированной обработки атрибутов визуализации с помощью других средств моделирования.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № 02.740.11.0316) по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области геологии, горного дела» шифр «2009-1.1-151-066» по теме: «Создание трёхмерной горнотехнологической модели Хибинского горнорудного района» (шифр заявки «2009-1.1-151-066-002»).

1. Постановка задачи

Исходными данными для трехмерного моделирования служат векторные карты разных масштабов, цифровые модели рельефа и цветные космические снимки с пространственным разрешением в несколько метров.

Трехмерное геоизображение делится на следующие типы пространственно расположенных объектов окружающей среды:

- территория (местность) размещения административно-территориальных единиц (субъекты Российской Федерации, муниципальные образования, населенные пункты) и собственно объектов жизнеобеспечения, потенциально-опасных, критически важных для национальной безопасности;
- населенные пункты (города, городские поселки, сельские н.п. и т.д.) субъектов Российской Федерации, муниципальных образований с объектами инфраструктуры;
- собственно объекты жизнеобеспечения, потенциально-опасные, критически важные для национальной безопасности.

Инструментальная среда моделирования и прогнозирования состояния ППС базируется на открытой для оперативной модификации концептуальной модели предметной области и должна поддерживать следующие возможности:

- интегрирование в единую среду моделирования моделей компонентов объекта, имеющих различные динамические параметры (шаг дискретности, порядок модели и т.д.) и различные принципы внутренней организации (например, чисто логические, автоматные и аналитические модели);
- унифицированную совместную логико-аналитическую обработку данных и знаний, хранящихся в базе данных моделирования, во встроенных экспертной и геоинформационной системах;
- эффективную реализацию нерегламентированных (в том числе – пространственно-временных) запросов к базам данных информационных подсистем;
- интеллектуальную обработку имеющейся информации с целью сопоставительного анализа возникающих ситуаций и допустимых альтернатив изменения структуры ППС;
- поддержку построения логических моделей надежности и безопасности ППС в условиях динамично изменяющейся обстановки;
- имитацию поведения ППС для различных сценариев развития и изменения окружающей обстановки с постановкой задачи и представлением результатов на электронной карте.

В качестве полигона для разработки прототипа выбран Хибинский горнорудный район, как типовой природно-промышленный комплекс, информационно обеспеченный для целей моделирования.

2. Выбор инструментальных средств

Трехмерное моделирование включает в себя каркасное, поверхностное и твердотельное моделирование.

Каркасное или проволочное моделирование объектов предполагает описание таковых в виде точек и линий. Оно относится к низшему уровню и имеет много ограничений. В частности, при каркасном моделировании у проектировщика нет возможности выделить внешнюю и внутреннюю область изображения твердого объемного тела. Модель пригодна для решения элементарных задач и не требует большого объема памяти.

В поверхностном моделировании, кроме точек и линий, присутствуют и поверхности. У пользователя появляется возможность изображать и распознавать сложные криволинейные грани, рисовать грани для получения тонового изображения, вести особые построения на поверхности.

Наиболее перспективной считается система твердотельного моделирования. В данном случае объект описывается в терминах того трехмерного объема, который отводится под определяемое им тело. Определение трехмерных моделей становится наиболее полным, появляется возможность распознавания внешних и внутренних областей тела.

Широкое распространение получили системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют проектировать технологические процессы с меньшими затратами времени и средств. САПР применяются и для

создания математических трёхмерных моделей. Упомянем некоторые отечественные и зарубежные системы.

Российские САПР: ADEM, продукты компании CSoft Development (AutomatiCS, GeoniCS, MechaniCS, Model Studio CS, Project Studio CS, Raster Arts), КОМПАС (компания АСКОН), IndorCAD (компания ИндорСофт), InfracadCAD (компания INFRASOFT), MineFrame - САПР для автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ (ГоИ КНЦ РАН).

Зарубежные САПР: BRL-CAD, FreeCAD, SALOME, ArchiCAD, Autodesk (AutoCAD, Autodesk Inventor), EPLAN, IntelliCAD, Magics, Rhinoceros, Siemens PLM Software, Zwcad, 3D Studio Max.

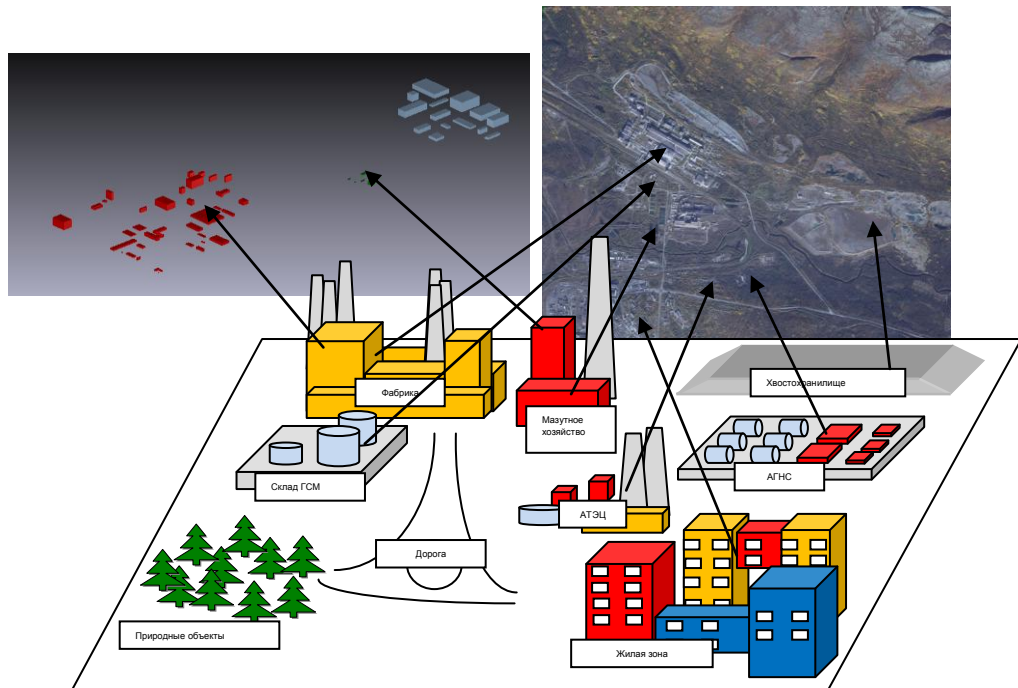
С точки зрения моделирования рельефа и сооружений типового горнопромышленного комплекса рациональным представляется использование системы MineFrame [3]. Для формирования предварительных (не привязанных к карте) разнообразных по форме и сложности трёхмерных моделей использована программа 3D Studio Max [4], располагающая средствами по созданию реальных или фантастических объектов окружающего мира с использованием разнообразных техник и механизмов. Она позволяет строить трёхмерные модели с возможностью маркировки безопасности объектов (в нашем случае цветовая маркировка опасности объекта). Созданные модели могут быть экспортированы почти в любые другие САПР для дальнейшей разработки, обработки, эксплуатации и моделирования определенных ситуаций.

3. Пример реализации

В рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № 02.740.11.0316) совместно с ГоИ КНЦ РАН выполнялись научно-исследовательские работы по теме: «Создание трёхмерной горно-технологической модели Хибинского горнорудного района» (шифр заявки «2009-1.1-151-066-002»).

Выполнен анализ состава моделируемых объектов. На территории района находятся тысячи объектов, как зарегистрированных, так и не упомянутых в кадастрах городов Апатиты и Кировск. Только на промплощадке ОАО "Апатит" имеется более 6000 различных зданий и сооружений. Сформирована структура моделируемых элементов региона, выделены типовые компоненты ППС. В качестве пилотного полигона выбран промышленный район АНОФ-2, включающий в себя такие потенциально опасные объекты, как склады нефтепродуктов, хранилище отходов фабрики, мазутное хозяйство, газонаполнительную станцию, ТЭЦ.

Разработана информационная технология формирования трёхмерных моделей регионального промышленно-природного комплекса. Обоснованы структуры хранения данных, обеспечивающие удобный и быстрый доступ к моделям объектов и групп объектов. На основе картографической информации и космической съемки реализованы векторные и каркасные модели рельефа и инфраструктуры. Технология создания моделей схематично представлена на рис. 1.



*Рис.1. Схема формирования модели
(на примере промышленного района АНОФ-2)*

Первичные трехмерные модели создавались с использованием пакета 3D Studio Max. На рис. 2 приведён пример создания модели цилиндрического резервуара.

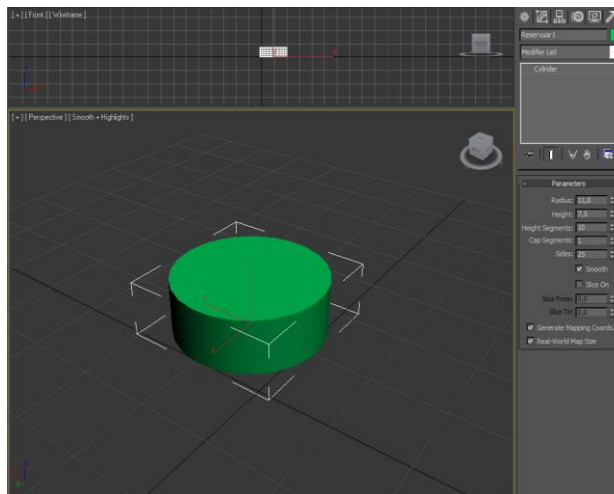


Рис.2. Модель резервуара

Для отображения степени опасности промышленного объекта можно использовать цветовую маркировку. Цвет определенных частей или целого объекта можно указывать в атрибутах. Для отображения разных уровней опасности объектов и других деталей, удобно использовать систему слоев (рис. 3, 4).

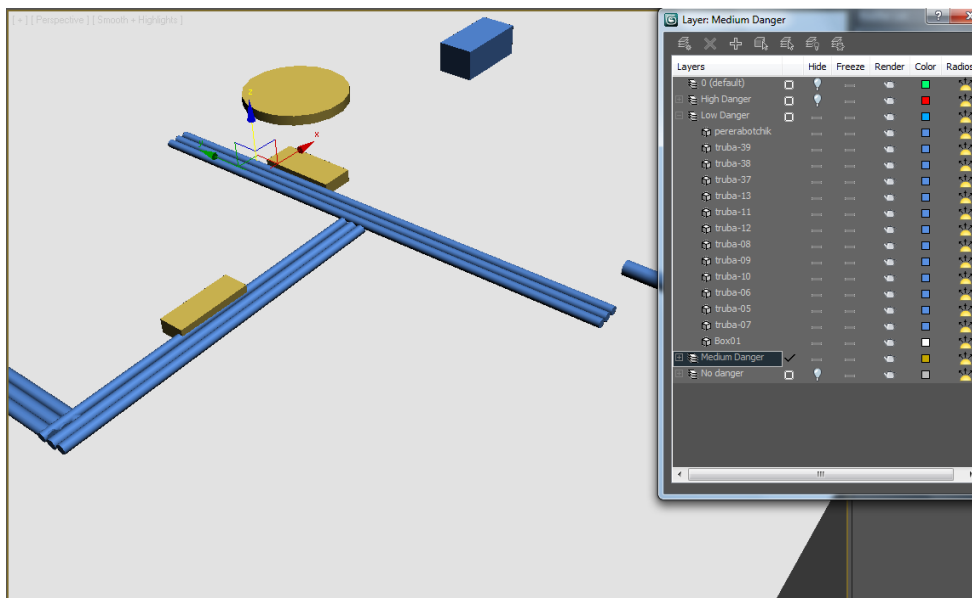


Рис.3. Первый тип слоя

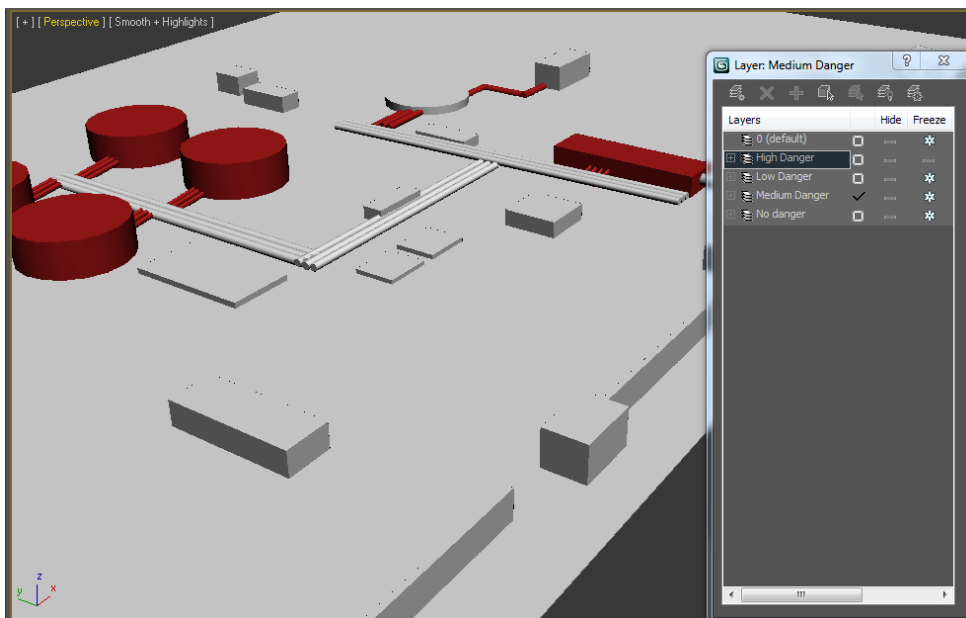


Рис.4. Второй тип слоя

На моделях можно отразить уровни (цветом) и характеристики (значками) опасности объектов (рис. 5).

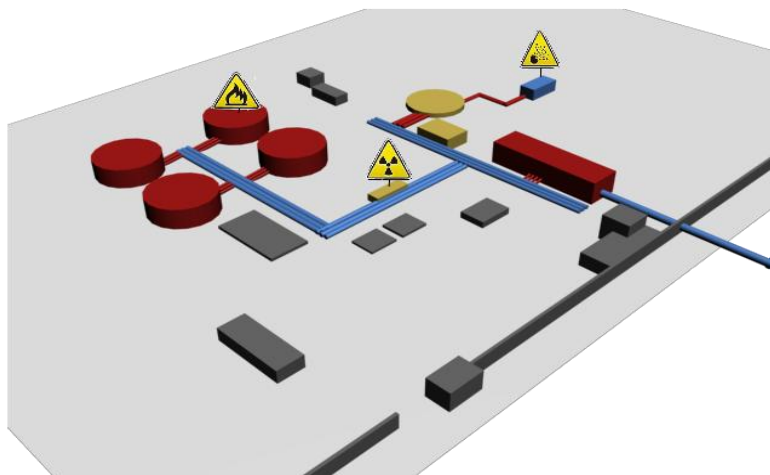


Рис.5. Уровни и характеристики опасностей

Привязка к географическим координатам и ландшафту местности выполнялась с использованием пакета MineFrame. По исходному полигональному слою контуров домов средствами MineFrame были построены центроиды, использовавшиеся для расстановки трехмерных моделей в приложении. Появившиеся средства работы с трехмерными текстурированными символами позволяют удобно импортировать, разместить и, при необходимости, отмасштабировать или развернуть трехмерную модель, используемую в качестве условного знака точечного объекта.

Заключение

Сформулирована задача создания трёхмерной модели регионального промышленно-природного комплекса, как эффективной и перспективной информационной среды, предназначенной для координации решений по управлению разнородными ППС. Обоснован выбор средств моделирования. Разработана информационная технология формирования трёхмерных моделей поверхностных объектов, обеспечивающая пространственное представление промышленно-природного комплекса. Технология апробирована на примере Хибинского горнорудного района. На основе картографической информации и космической съемки реализованы векторные и каркасные модели рельефа и инфраструктуры.

Такая модель позволяет повысить информационную обеспеченность при стратегическом и оперативном управлении региональным промышленно-природным комплексом, согласовать функционирование взаимодействующих ППС. По сравнению с двумерными аналогами модель характеризуется большей наглядностью и интерпретируемостью данных, а также представляет возможности постановки и решения новых прикладных задач.

Литература

1. Яковлев, С.Ю. Методологические проблемы анализа риска в сложных системах / С.Ю. Яковлев, А.Я. Фридман // Информационные технологии в региональном развитии: сб. науч.тр. – Апатиты: КНЦ РАН, 2008. – Вып. VIII. – С. 69-72.
2. Рекомендации по созданию трехмерных геоизображений (моделей) территорий и объектов жизнеобеспечения, потенциально-опасных, критически важных для национальной безопасности / Нормативно-методические документы по вопросам организации выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. - М.: ВНИИ ГОЧС, 2009. - 41 с.
3. Лукичев, С.В. Автоматизированная система MineFrame 3.0 / С.В. Лукичев, О.В. Наговицын // Горная промышленность, 2005. - № 6. - С.32-35.
4. Autodesk 3ds Max. - Режим доступа: <http://www.autodesk.ru>

Сведения об авторах

Шемякин Александр Сергеевич

младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: shemyakin@iimm.kolasc.net.ru

Alexey S. Shemyakin

junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Яковлев Сергей Юрьевич

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

Sergey Yu. Yakovlev

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Рыженко Алексей Алексеевич

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: ryzhenko@iimm.kolasc.net.ru

Alexey A. Ryzhenko

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher, Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Тихонов Дмитрий Евгеньевич

Студент. Кольский Филиал Петрозаводского Государственного Университета. Россия. 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Космонавтов, д. 3.

Dmitriy E. Tihonov

student. Kola Branch Petrozavodsk State University. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Kosmonavtov St. 3.

УДК 004.9

А.Я. Фридман¹, О.В. Фридман¹, Б.В. Соколов²

**ГРАДИЕНТНОЕ ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СЛОЖНЫХ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
(РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАНТА РФФИ 09-07-00066-А)***

Аннотация

Для мониторинга и оперативного управления в сложных организационно-технических системах (СОТС) предложено применить комбинацию ранее разработанных градиентных и игровых методов координации. В настоящей работе представлен градиентный метод повышения эффективности оперативного управления СОТС.

Ключевые слова:

ситуационный анализ и синтез, концептуальная модель предметной области, координируемость управляемых систем.

A.Ya. Fridman, O.V. Fridman, B.V. Sokolov

**GRADIENT OPERATIVE CONTROL IN COMPLEX ORGANIZATIONAL
TECHNICAL SYSTEMS (SURVEY OF THE RESULTS OBTAINED
WITHIN THE RFBR PROJECT 09-07-00066-A)**

Abstract

To implement monitoring and operative control in complex organizational technical systems (COTSs), we propose a technique for combined application of our earlier developed game-theoretical and gradient approaches. In the given paper, we mostly dwell on a new gradient technique to increase efficiency of operative control in COTSs.

Keywords:

situational analysis and synthesis, conceptual model of subject domain, coordinability of controlled systems.

Возникновение иерархической структуры управления сложными объектами обусловлено возрастающей сложностью централизованного управления ими. Поэтому появилась необходимость разделения всего процесса принятия решений на такое число уровней, чтобы решение задачи оптимизации на каждом из них имело приемлемую сложность. Но с возникновением многоуровневых иерархических систем управления появилась и новая задача согласования и координации решений, принимаемых на всех уровнях управления.

При моделировании сложных систем, таких, как катастрофоустойчивые информационные системы (КАИС), невозможен учет достаточно большого числа реальных факторов, поскольку это приводит к чрезмерному усложнению модели [1]. Поэтому в модель приходится вводить лишь ограниченное число

¹ ИИММ КНЦ РАН

² СПИИ РАН

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-07-00066, № 11-08-00641-а), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15).

таких факторов, которые по тем или иным соображениям считаются наиболее существенными. При этом возможны два подхода. Не учтенные в описании модели факторы можно считать несущественными и полностью их игнорировать при принятии решений с использованием этой модели. При втором подходе "несущественные факторы" не вводят в математическую модель явно, но учитывают их влияние, допустив, что отклик модели на то или иное воздействие (выбор альтернативы) может быть известен лишь приближенно или нечетко. В настоящей работе рассмотрены возможности реализации второго подхода путем исследования чувствительности результатов многокритериальной оптимизации поведения КАИС к изменениям исходных данных и внутренних характеристик системы.

С помощью системы визуального блочного математического моделирования VisSim [2] на примере двухуровневой системы управления линейным объектом проанализированы предложенные в [3, 4] необходимые и достаточные условия координируемости локально организованной иерархии динамических систем. Цель анализа состояла в выявлении диапазонов устойчивости локальных управлений и координирующих сигналов к небольшим изменениям динамических характеристик объекта управления (вариациям, в том числе структурным, матрицы динамики объекта) и уровней задающих воздействий. Кроме того, исследовались возможности повышения быстродействия иерархической системы.

1. Постановка задачи

В системе ситуационного моделирования (ССМ) [5] изучаемая динамическая система должна быть представлена в виде иерархически упорядоченного множества объектов (составных частей). Эта иерархия отражает организационные взаимоотношения объектов. Критерий качества работы каждого объекта имеет вид:

$$\Phi ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \right)^2 \right)^{1/2} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta a_i^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где a_i – сигналы из списка выходных параметров данного объекта, их общее количество равно m ;

a_{i0} и $\Delta a_i > 0$ – настроечные параметры, отражающие требования вышестоящего объекта к номинальному значению a_i и допустимому отклонению Δa_i от этого значения соответственно;

$$\delta a_i ::= \frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \text{ – относительное отклонение фактического значения}$$

сигнала a_i от его номинального значения a_{i0} .

Если считать a_i скалярными критериями качества работы элемента модели, номинальные значения которых определяются величинами a_{i0} , то (1) представляет собой обобщенный критерий с коэффициентами важности, обратно пропорциональными допустимым отклонениям скалярных критериев, что не противоречит здравому смыслу.

Из (1) также следует, что в ССМ для координации применяется способ прогнозирования взаимодействий [6]. Глобальная задача в ССМ ставится путем выбора доминирующего скалярного критерия, который должен вносить минимальный вклад в обобщенный критерий (1). Пусть для определенности это будет $a_{i_0}^{(0)}$.

Как и в [6], будем без потери общности рассматривать двухуровневую систему (рис. 1), в которой объект верхнего уровня (координатор) O_0 , имеющий обобщенный критерий качества Φ_0 , передает подчиненным ему объектам (подобъектам) $O_1 - O_n$, имеющим аналогичные критерии качества, настроечные параметры и получает в качестве сигналов обратной связи относительные отклонения фактических значений локальных критериев качества подобъектов от их номинальных значений [7]. Подобъекты взаимодействуют через управляемую систему и не имеют информации о состоянии других подобъектов, то есть вся система локально организована.

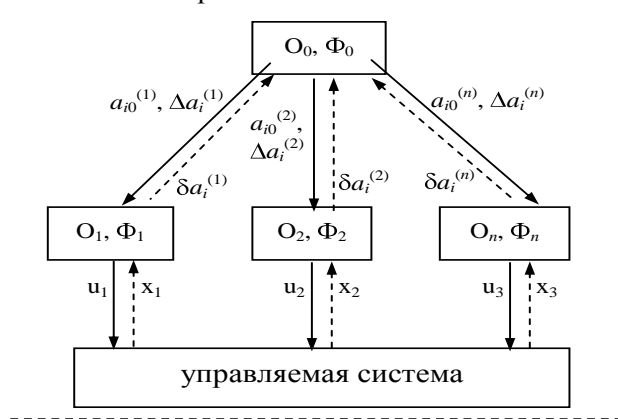


Рис.1. Двухуровневая многоцелевая система

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: задачи подобъектов будут скоординированы относительно задачи координатора, если знак градиента обобщенного критерия координатора по его текущему доминирующему скалярному критерию совпадает со знаками градиентов этого обобщенного критерия по всем текущим значениям скалярных критериев подобъектов [8, 9]. Из (1) имеем:

$$\frac{\partial \Phi_k}{\partial a_i^{(k)}} = \frac{2}{m_k} \frac{a_i^{(k)} - a_{i_0}^{(k)}}{\Delta^2 a_i^{(k)}}, \quad (2)$$

откуда следует, что знак производной можно менять нужным образом, выбирая величину $a_{i_0}^{(k)}$ больше или меньше $a_i^{(k)}$. С другой стороны, если считать, что действия всех подобъектов равно важны для достижения цели координатора (возможность обобщения очевидна), то:

$$\frac{\partial \Phi_0}{\partial a_i^{(k)}} = \sum_{j=1}^{m_0} \frac{\partial \Phi_0}{\partial a_j^{(0)}} \frac{\partial a_j^{(0)}}{\partial a_i^{(0)}} = \frac{2}{m_0} \sum_{j=1}^{m_0} \mu_j \frac{\partial a_j^{(0)}}{\partial a_i^{(0)}} \approx \frac{2}{nm_0} \sum_{j=1}^{m_0} \mu_j \frac{Inc[a_j^{(0)}]}{Inc[a_i^{(0)}]}, \quad (3)$$

где обозначено: $\mu_j = \frac{a_j^{(0)} - a_{j0}^{(0)}}{\Delta^2 a_j^{(0)}}$, а $Inc[*]$ есть приращение (инкремент)

параметра в скобках за предыдущий временной шаг.

Система будет координируема, если координатор выберет все $a_{i0}^{(k)}$ так, чтобы знаки величин (2) (для $k = 0$ и $i = 1$) и (3) (для всех k от 1 до n и всех i для каждого подобъекта) совпадали [10].

Полученные достаточные условия координируемости аналогичны идеям обеспечения устойчивости локального управления в коллективах автоматов [11], где требуется положительность частных производных обобщенного критерия типа (1) по входным параметрам соответствующего элемента коллектива.

Таким образом, ставится задача экспериментального исследования устойчивости характеристик децентрализованного управления на основе градиентов локальных критериев качества и повышения (оптимизации) быстродействия децентрализованной системы с целью подтверждения теоретических результатов.

2. Методика проведения модельного эксперимента

Задача решалась в детерминированной постановке для управляемого объекта, представляющего собой три последовательно соединенных линейных звена с передаточной функцией второго порядка, одним управляющим входом и одним выходом каждый. Рассматривалась двухуровневая система управления, состоящая из трех управляющих элементов нижнего уровня, каждый из которых вырабатывал сигнал управления "подведомственным" ему звеном управляемой системы, и одного координирующего элемента верхнего уровня (рис.1).

В качестве нижнего уровня (модели управляемой системы) в модельном эксперименте использовалась линейная трехблочная система, схема которой приведена на рис. 2.

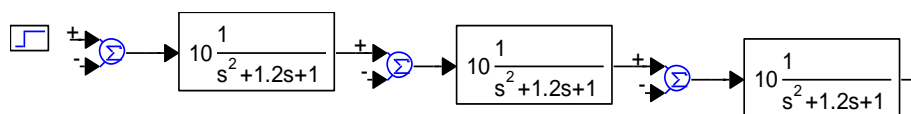


Рис.2. Схема модели управляемой системы

На рис. 3 приведена схема одного из трех аналогичных друг другу управляющих элементов нижнего уровня, соответствующих элементам второго уровня на рис. 1. В каждом из них вычисляется градиент обобщенного критерия (2) [3, 4], его значения подаются в качестве управляющего воздействия на вход каждого из трех блоков управляемой системы.

Системные переменные VisSim \$1, \$2, \$3 содержат следующие значения: \$1 – значение реального выходного сигнала соответствующего блока

исследуемой системы $a_i^{(k)}$, $\$2$ – номинальное значение "идеального" сигнала (без возмущений в момент стабилизации) $a_{i0}^{(k)}$, а $\$3$ – квадрат допустимого отклонения этих сигналов друг от друга $\Delta^2 a_i^{(k)}$ (в эксперименте это значение устанавливалось равным 5% от значения "идеального" сигнала в момент стабилизации). Вычисленное таким образом значение управляющего сигнала нижнего уровня записывается в переменную delta1, 2 или 3, в соответствии с нумерацией блоков исследуемой системы и подается на вход блоков.

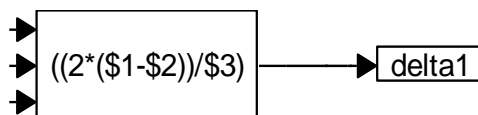


Рис.3. Схема управляющего элемента нижнего уровня

Управляющие элементы нижнего уровня использовали для принятия решений (выработки управляющих воздействий) только локальную информацию о состоянии подчиненных им звеньев управляемого объекта, координатор обладал полной информацией о состоянии этого объекта и управляющих элементов нижнего уровня, что соответствует принципам теории иерархических систем [6]. Для принятия решений все управляющие элементы использовали обобщенный критерий затрат (1) [3].

Проведенный модельный эксперимент включал несколько последовательных этапов.

Первый этап состоял в исследовании устойчивости системы к малым возмущениям.

На втором этапе эксперимента на блоки исследуемой системы подавалось управляющее воздействие, вычисляемое в соответствии с (2). Аналогично первому этапу исследований выявлялись диапазоны устойчивости системы при подключении управления на отдельный блок, попарно и на все три блока. Был проведен подбор значений множителей для управлений по значению установившейся погрешности (процента отклонения реальной кривой от идеальной), характеризующих состояние системы. Подбор проводился в условиях устойчивости возмущенной системы по значениям отклонений от "идеальной" кривой.

Следующим этапом эксперимента было подключение координатора (верхний уровень на рис.1) и решение вопроса повышения (оптимизации) быстродействия децентрализованной системы.

Последний этап проведенного модельного эксперимента состоял в выявлении диапазонов устойчивости системы при наличии управления и координации.

3. Результаты модельного эксперимента

Первый этап: исследование устойчивости системы к малым возмущениям.

В качестве возмущений использовались перекрестные связи между отдельными блоками управляемой системы, изменяющие на некоторую величину собственные числа матрицы динамики системы А.

Общее уравнение системы имеет вид:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (4)$$

где матрица динамики

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & K_{12} & K_{13} \\ & A_2 & K_{23} \\ & & A_3 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

матрица управления

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

вектор управления

$$u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

вектор состояния

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Здесь K_{12} , K_{13} , K_{23} – коэффициенты структурных возмущений, назначение которых изменяет собственные числа матрицы динамики.

В ходе эксперимента были исследованы все возможные сочетания подключений возмущающих воздействий – по одному, попарно, все три одновременно. Эксперимент показал, что наиболее значимое воздействие на устойчивость системы оказывает изменение K_{13} , а наименьшее – изменение K_{12} . Кроме того, были выявлены диапазоны изменений коэффициентов, в пределах которых система оставалась устойчивой с заданной 5%-ной точностью. Результаты этого этапа исследований сведены в табл. 1.

Было выявлено, что первый блок более устойчив при подаче возмущений на его вход, чем остальные блоки системы.

Таблица 1

Диапазоны устойчивости системы при подключении возмущающих воздействий

Способ подключения	K_{12}	K_{13}	K_{23}
Одиночное подключение	-0.0001÷0.0001	-0.00001÷0.00001	-0.0005÷0.0005
Попарное подключение	-0.005÷0.005 -0.005÷0.001 -	-0.0005÷0.0005 - -0.00001÷0.00001	- -0.001÷0.001 -0.0001÷0.001
Одновременное подключение	-0.001÷0.001	-0.0001÷0.0001	-0.0001÷0.0001

Второй этап: подключение управлений.

В ходе эксперимента на блоки исследуемой системы подавалось управляющее воздействие, вычисляемое в соответствии с (2). Аналогично первому этапу исследований выявлялись диапазоны устойчивости системы при подключении управления на отдельный блок, попарно и на все три блока. Выявлено, что наибольший эффект дает подключение всех трех блоков, причем подключение управления существенно расширяет диапазоны устойчивости. Результаты моделирования сведены в табл. 2.

Таблица 2

Диапазоны устойчивости системы при подключении управления

Одновременное подключение	K_{12}	K_{13}	K_{23}
Без управления	-0.0001÷0.0001	-0.00001÷0.00001	-0.0001÷0.0001
С управлением	-0.001÷0.001	-0.0001÷0.0001	-0.0005÷0.0005

Далее был осуществлен подбор значений множителей, соответствующих коэффициентам усиления при вводе локальных управлений. Подбор проводился в условиях устойчивости возмущенной системы по значениям отклонений от "идеальной" траектории системы. Результаты сведены в табл. 3. Цветом выделено оптимальное сочетание множителей.

Таблица 3

Значения множителей, соответствующих коэффициентам усиления при вводе локальных управлений

Множитель для 1-го блока	Множитель для 2-го блока	Множитель для 3-го блока	Отклонение от "идеальной" кривой (в %)
1	1	1	-2.85e-10
2	1	1	-4.94e-10
0.9	1	1	-2.1e-10
0.8	1	1	-1.25e-10
0.7	1	1	-0.9e-10
0.68	1	1	-8.19e-11
0.65	1	1	-5.92e-11
0.63	1	1	-3.55e-11
0.62	1	1	-2.04e-11
0.615	1	1	-1.22e-11
0.61	1	1	-3.62e-12
0.608	1	1	9.1e-14
0.605	1	1	5.71e-12
0.6	1	1	1.55e-11
0.5	1	1	2.72e-10

Третий этап: подключение координатора (верхний блок на рис. 1).

На третьем этапе были подключены все блоки смоделированной системы.

Блок-схема исследованной децентрализованной системы управления приведена на рис. 4. Здесь: блок `urpavl` соответствует модели управляемой

системы (нижний уровень на рис. 1, рис. 2) множители на входе управляющих блоков нижнего уровня (второй уровень на рис.1, рис.3) delta задают значения $\Delta^2 a_i^{(k)}$ из (2). Оптимальные значения множителей для управлений показаны на рисунке как входы блока upravl. Блок Coordinator соответствует верхнему блоку на рис.1, блок-схема координатора приведена на рис. 5.

На вход каждого блока координатора подается фактическое значение сигнала a_i (\$1), номинальное значения сигнала a_{i0} (\$2) и рассчитывается относительное отклонение фактического значения сигнала a_i от его

$$\text{номинального значения } a_{i0} - \delta a_i ::= \frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} [3, 4].$$

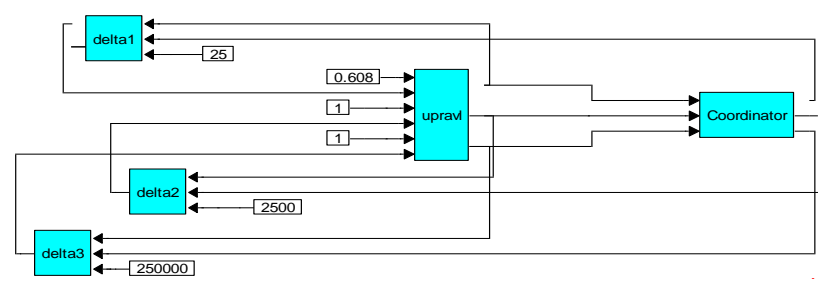


Рис.4. Блок-схема исследованной децентрализованной системы управления

Номинальные значения сигналов выбраны равными 100, 1000 и 10000 для последовательных блоков управляемой системы, что соответствует их установившимся значениям при отсутствии возмущений (рис. 5).

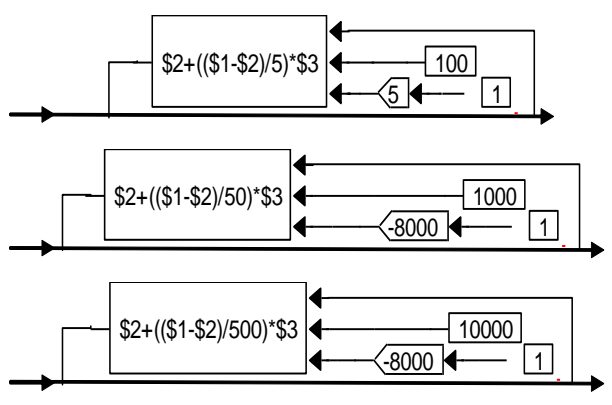


Рис. 5. Блок-схема координатора

Далее вычисляется "новое" номинальное значение a_{i0}'

$$a_{i0}' = a_{i0} + \Delta a_{i0}, \tag{9}$$

$$\text{где } \Delta a_{i0} = k_i \delta a_i \tag{10}$$

В (9) значение коэффициента k_i изначально полагается равным единице. В дальнейшем, на следующем этапе оно будет изменяться, поэтому присваивается входной переменной \$3.

Вычисленные значения подаются на вход соответствующих управляющих блоков нижнего уровня delta.

Эксперимент показал, что подключение координатора улучшает сходимость реальной и "идеальной" кривых в несколько раз, если оценивать ее по значению процента отклонения стабилизировавшихся сигналов друг от друга. На рис. 6 приведены графики, соответствующие состояниям возмущенной системы без управления, с подключенным нижним уровнем управления и подключенным управлением и координацией. Значения возмущающих коэффициентов во всех трех случаях были одинаковыми:

$$K_{12} = 0.002, K_{13} = -0.0001, K_{23} = -0.002.$$

По значениям отклонений видно, что без управления и при подключении управления нижнего уровня установившаяся погрешность не попадала в заданный 5%-ный диапазон, хотя наличие управления вдвое снижает процент расхождения. Подключение координатора позволяет повысить устойчивость системы к внешним возмущениям более чем вдвое, и установившаяся погрешность попадает в заданный диапазон.

Далее решался вопрос повышения (оптимизации) быстродействия децентрализованной системы.

Для этого было необходимо провести подбор значений коэффициента k_i в (6). путем изменения значений входных переменных \$3\$ блоков координатора, которые отображены на рис. 5. Оказалось, что различные сочетания значений коэффициентов для разных блоков координатора в существенно различной степени влияют на результат моделирования, в частности, на значение установившейся погрешности и время сходимости идеальной и реальной кривых. В табл. 4 представлены результаты подбора значений k_i для отдельных блоков при фиксированных значениях возмущающих коэффициентов.

Значения возмущающих коэффициентов:

$$K_{12} = -0.00001, K_{13} = -0.00001, K_{23} = 0.001.$$

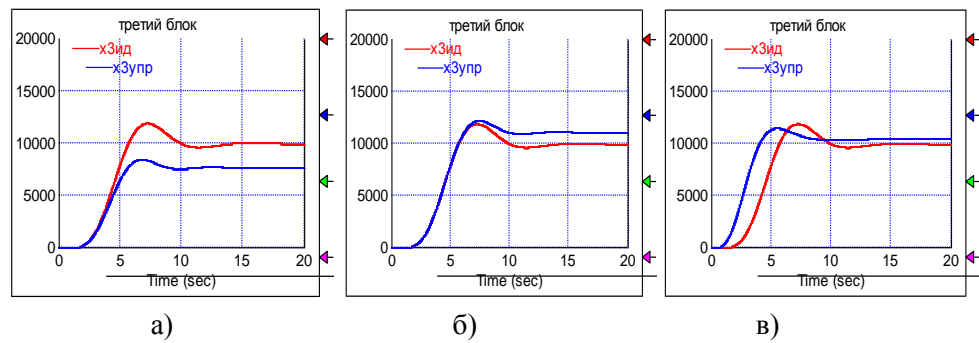


Рис.6. Влияние управляющих и координирующих воздействий на устойчивость системы:

а) без управления (процент отклонения реальной траектории системы от идеальной в конечный момент моделирования (установившаяся погрешность) - 23.1%);

б) с подключенным нижним уровнем управления (- 11.2%);

в) с управлением и координацией (- 4.63%).

Таблица 4

Результаты подбора значений k_i для отдельных блоков при фиксированных значениях возмущающих коэффициентов

k_1	k_2	k_3	Установившаяся погрешность
-50	-50	-50	8.22
-2000	-2000	-2000	6.9
-4000	-4000	-4000	5.33
-4000	-5000	-6000	4.85
1	-5000	-6000	4.77
3	-6000	-8000	4.33
5	-8000	-8000	3.67
3	-8000	-8000	3.77
1	-8000	-8000	3.8
-10	-8000	-8000	3.94
-20	-8000	-8000	4.0
-30	-8000	-8000	4.02
-50	-8000	-8000	4.05

Установившаяся погрешность при подключенном управлении нижнего уровня без координатора равнялась 8.41%.

Оптимальное сочетание значений коэффициентов выделено цветом, и именно эти значения приведены на рис. 5 как входные значения переменных S_3 для каждого блока координатора.

Из графиков, приведенных на рис. 6, видно, что при наличии управления и координации время сходимости идеальной и реальной кривых составляет примерно 10 с, тогда как без координации (или неоптимальных значениях коэффициентов k_i) при тех же возмущениях кривые вообще не сходились, или при других значениях возмущений сходились примерно через 20 с. Следовательно, подключение блока координации повышает быстродействие системы приблизительно вдвое.

На последнем, **четвертом этапе** исследований выявлялись диапазоны устойчивости системы при наличии и управления и координации, аналогично тому, как это производилось на предыдущих этапах. Эксперимент показал, что диапазоны устойчивости системы существенно расширились (табл. 2) и составили:

$$K_{12} = -0.002 \div 0.002, K_{13} = -0.00015 \div 0.00015, K_{23} = -0.002 \div 0.002.$$

Результаты моделирования показали, что при пошаговом изменении управляющих воздействий на отдельные линейные звенья с использованием в качестве "стабилизирующего" значения обобщенного критерия затрат, вычисляемого для каждой подсистемы на каждом шаге моделирования, за заданное время подсистемы и система в целом стремятся к "эталонным" значениям (красные кривые на графиках) выходных переменных.

Таким образом, экспериментально подтверждены выводы, сделанные в работе [11], об устойчивости результатов децентрализованного управления на основе градиентов локальных критериев качества.

Для исследованной двухуровневой системы управления линейным объектом подключение нижнего уровня управления в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости системы к внешним возмущениям и примерно вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы.

Подключение блока координации позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям более чем вдвое;
- увеличить быстродействие системы приблизительно вдвое;
- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям в полтора – два раза (по сравнению с локальным управлением).

4. Исследование децентрализованной системы управления сетью объектов

По методике, описанной выше для иерархической управляемой системы, были проведены также исследования децентрализованной системы управления сетью объектов. Ввиду усложнения модели принято решение об упрощении вида передаточных функций по сравнению с иерархической системой.

На рис. 7 приведена упрощенная схема децентрализованной системы управления сетью объектов, на вход которой подается ступенчатый сигнал с амплитудой +10.

Сначала была проанализирована устойчивость исследуемой системы к внешним возмущениям. Для этого на каждый узел сети поочередно подавался сигнал, аналогичный входному, но с амплитудой +1, что соответствует 10% -му внешнему возмущению.

Далее определялись диапазоны устойчивости системы к малым внутренним возмущениям, реализованным путем добавления обратных связей между выходами и входами узлов сети (в направлении от общего выхода системы к общему входу). Диапазон устойчивости определялся по той же методике, что и для иерархической системы (отклонение по амплитуде $\pm 5\%$). Проанализированы все возможные сочетания связей "выход–вход".

Затем определялись диапазоны устойчивости системы при поочередном подключении управления на каждый узел сети. Управления задавались пропорционально градиенту обобщенного критерия (2), его значения подавались в качестве управления по одному на вход каждого из возбуждаемых узлов сети.



Рис.7. Упрощенная схема децентрализованной системы управления сетью объектов

Исследовалось поведение системы при одновременном подключении всех управляющих элементов, возбуждение подавалось только на один узел сети. Определены диапазоны устойчивости для такой ситуации.

Следующим шагом эксперимента было подключение координатора, построенного аналогично иерархической системе. Исследовано подключение блока координации только на возбуждаемый узел и полное подключение координатора (на все узлы сети) с одиночным подключением управления (на возбуждаемый узел сети) и полным подключением управления (на все узлы сети).

5. Результаты моделирования сетевой системы управления

На внешнее возмущение реагировали только три первых блока, причем оно компенсировалось уже при одиночном подключении управляющего элемента на возбуждаемый узел сети. В целом, сеть продемонстрировала устойчивость к воздействиям такого рода.

Таблица 5

Диапазоны устойчивости сети к малым структурным возмущениям

"Сильные" связи		"Слабые" связи	
Выход-вход	Диапазон устойчивости	Выход-вход	Диапазон устойчивости
2 - 1	0.0003 ÷ -0.001	5 - 4	0.4 ÷ -0.25
3 - 1	0.000001 ÷ -0.000001	6 - 4	0.5 ÷ -0.5
3 - 2	0.00025 ÷ -0.00025	6 - 5	0.1 ÷ -0.1
4-1, 4-3, 6-3, 7-2, 9-2	0.000005 ÷ -0.000005	7 - 4	0.01 ÷ -0.05
4 - 2	0.00005 ÷ -0.00005	7 - 5	0.009 ÷ -0.009
5 - 1, 5 - 3	0.000025 ÷ -0.00002	8 - 2	0.002 ÷ -0.002
5 - 2	0.0001 ÷ -0.0001	8 - 4	0.005 ÷ -0.06
6 - 1	0.000001 ÷ -0.000005	8 - 5	0.07 ÷ -0.1
6 - 2	0.00005 ÷ -0.00004	8 - 6	0.064 ÷ -0.001
7 - 1, 7 - 3, 9 - 1, 9 - 3	0.0000005 ÷ -0.0000005	8 - 7	0.001 ÷ -0.001
7 - 6	0.00001 ÷ -0.00001	9 - 4	0.05 ÷ -0.05
8 - 1	0.0002 ÷ -0.0002	9 - 5	0.001 ÷ -0.02
8 - 3	0.0002 ÷ -0.0002	9 - 7	0.01 ÷ -0.009
9 - 6	0.0001 ÷ -0.0005	9 - 8	0.1 ÷ -0.15

По величине диапазонов устойчивости обратные связи между узлами сети можно условно разбить на "сильные" и "слабые"; оказалось, что "сильные" связи замыкаются в основном на три первых узла сети. В табл. 5 показаны результаты исследований устойчивости сети к малым структурным возмущениям.

При поочередном подключении управления на каждый узел сети диапазоны устойчивости системы для "сильных" связей расширились в среднем на порядок, а для "слабых" связей практически не менялись, но реакция "слабых" связей появлялась не только на возмущаемом узле сети, но и на узлах 4 и 8, независимо от того, на какой узел подавалось возмущение. Подключение одиночного управления на возбуждаемый узел сети достаточно эффективно компенсирует небольшие структурные возмущения.

При моделировании одновременного подключения всех управляющих элементов диапазоны устойчивости для "сильных" связей в среднем не изменились, для связей, замкнутых на первый узел сети, диапазоны устойчивости незначительно расширились, а для других – уменьшились в 2–4 раза, по сравнению с одиночным подключением управления. Диапазоны устойчивости "слабых" связей по-прежнему не менялись, но к узлам сети, всегда проявляющим реакцию на возмущение, кроме четвертого и восьмого узлов, добавились пятый и седьмой. Таким образом, локальные управления при отсутствии координации "мешали" друг другу.

На рис. 8 приведены графики эталонной и исследуемой кривых для "сильной" связи 3–2 при подаче возмущения $K_{32} = 0.001$ без управления, при подключении одиночного управления и полном подключении управления.

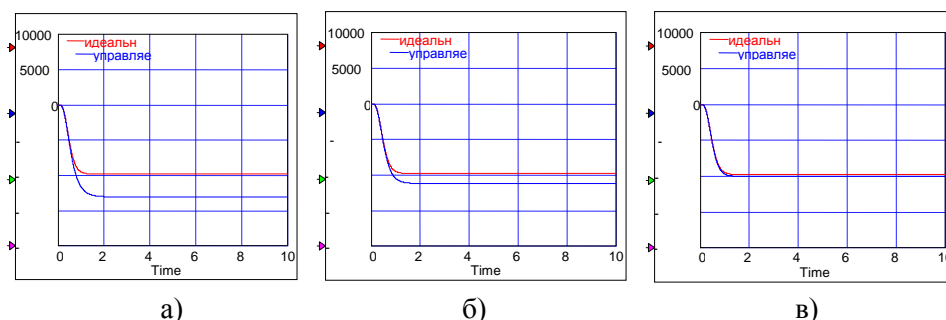


Рис.8. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3–2
 а) без управления (установившаяся погрешность 33.3%);
 б) при подключении одиночного управления (установившаяся погрешность 14.5%);
 в) полное подключение управления (установившаяся погрешность 2.14%.

Моделирование показало, что подключение всех управляющих элементов при одиночной подаче возмущения в целом компенсирует малое структурное возмущение приблизительно в той же степени, как и одиночное подключение соответствующего возмущаемому узлу управляющего элемента.

При одиночном подключении блока координации на возбуждаемый узел с одиночным подключением управления диапазоны устойчивости "слабых" связей не изменялись; как и в предыдущем случае, реакцию на воздействие проявляли четвертый, пятый, седьмой и восьмой узлы сети (помимо возмущаемого), а для

"сильных" связей диапазон устойчивости резко сузился, система становилась неустойчивой при подаче даже малого возмущения. На рис. 9: а) приведены графики кривых для той же связи 3 – 2, явно видно увеличение расхождения кривых по сравнению с предыдущим случаем, что говорит о сужении диапазона сходимости.

При полном подключении управления и одиночном подключении координатора, как и при подключении координатора на все узлы сети и одиночном подключении управления, диапазон устойчивости "слабых" связей не менялся, для "сильных" связей, замкнутых на первый узел, несколько расширился, для остальных – сузился. На рис. 9: б) и в) приведены графики для этих условий моделирования.

Полное подключение управления и координации (на все узлы сети) для "слабых" связей практически ничего не изменило с точки зрения величины диапазона устойчивости, реакцию на возмущение помимо возмущаемого узла проявлял только восьмой узел (в предыдущих экспериментах такую реакцию проявляли еще четвертый, пятый и седьмой узлы).

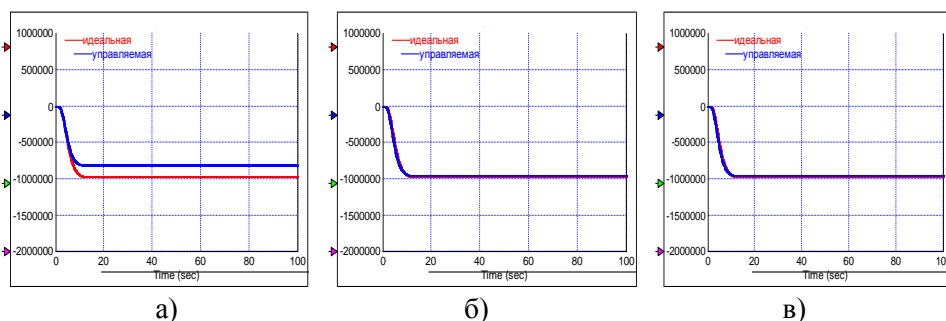


Рис.9. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3 – 2.
 а) одиночное управление и одиночная координацией (установившаяся погрешность 16.67%),
 б) полное управление и одиночная координация;
 в) одиночное управление и полная координация (установившаяся погрешность для случаев б) и в) 1.95%).

Для "сильных" связей диапазон устойчивости расширился, в целом реакция системы на возмущение стала слабее. На рис. 10 приведены графики, соответствующие состояниям возмущенной системы, подключенным управлением и координацией для "сильной" связи 3 – 2 при подаче возмущения $K_{32} = 0.001$.

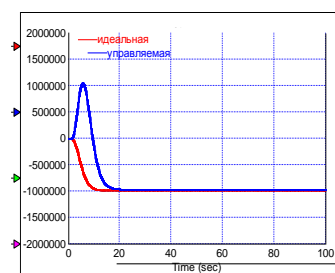


Рис.10. Эталонная и исследуемая кривые для "сильной" связи 3 – 2, полное управление и полная координация (установившаяся погрешность 0.97%)

Таким образом, полное подключение управления и координации дает наилучший эффект при компенсации малых структурных возмущений.

В табл. 6 приведены результаты моделирования для некоторых узлов сети.

Таблица 6

Диапазоны устойчивости системы при подаче малых структурных возмущений

Способ подключения	Диапазоны устойчивости
<i>Сильные связи</i>	
Связь 3 - 2	
Без управления	0.000005 ÷ -0.000005
Одиночное управление	0.00015 ÷ -0.00015
Полное управление	0.000035 ÷ -0.00006
Полное управление и полная координация	0.0003 ÷ -0.0003
Связь 7 - 1	
Без управления	0.0000005 ÷ -0.0000005
Одиночное управление	0.0000015 ÷ -0.0000015
Полное управление	0.0000006 ÷ -0.00000035
Полное управление и полная координация	0.000005 ÷ -0.000005
<i>Слабые связи</i>	
Связь 5 - 4	
Без управления	0.85 ÷ -0.7
Одиночное управление	0.89 ÷ -0.73
Полное управление	0.88 ÷ -0.72
Полное управление и полная координация	0.89 ÷ -0.73

Для исследованной двухуровневой системы управления сетевым объектом выявлено разделение внутренних обратных связей на "сильные" (возмущение, подаваемое на эти связи, существенно влияет на поведение системы в целом) и "слабые". Поочередное подключение локальных управлений в среднем на порядок расширяет диапазоны устойчивости соответствующих "сильных" связей к внешним возмущениям и практически не влияет на "слабые" связи. Локальное одиночное управление тем узлом сети, на который подано возмущение, достаточно эффективно компенсирует небольшие структурные возмущения и более чем вдвое уменьшает процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы в целом. Полное подключение нижнего уровня управления ведет к резкому сужению диапазонов устойчивости "сильных" связей (в 2 - 4 раза) и появлению реакции на невозбуждаемых узлах сети. Следовательно,

некоординируемые локальные управления "мешают" друг другу, что и можно было предположить с учетом особенностей сетевых структур.

Использование предложенного градиентного метода координации для сетевого объекта позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и свести к минимуму взаимное влияние узлов сети;
- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям более чем в два раза (по сравнению с локальным управлением).

Градиентные методы сравнительно просты в реализации, 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 противодействие сигналам координатора. На описанных выше этапах моделирования возмущение на отдельные узлы исследуемых систем подавалось «вручную», в каждый момент времени было известно, какой именно узел модели подвергается внешнему (или внутреннему, структурному) воздействию. В реальных системах эта информация отсутствует, поэтому следующим этапом моделирования стала разработка метода поиска «возмущенного» узла моделируемой системы.

Для решения этой задачи в качестве поискового блока предлагается использовать нейронную сеть [12]. В среде Matlab моделировались нейронные сети различной структуры: линейный слой, однонаправленная сеть, каскадная направленная сеть, перцептрон и самоорганизующаяся карта. Исследования показали, что наилучшее распознавание дает однонаправленная сеть. Структура сети предельно упрощена, сеть состоит из двух слоев, в первом слое 9 нейронов, каждый из которых соответствует узлу моделируемой системы, во втором слое – 1 нейрон. На рис. 11 приведена упрощенная структура сети.

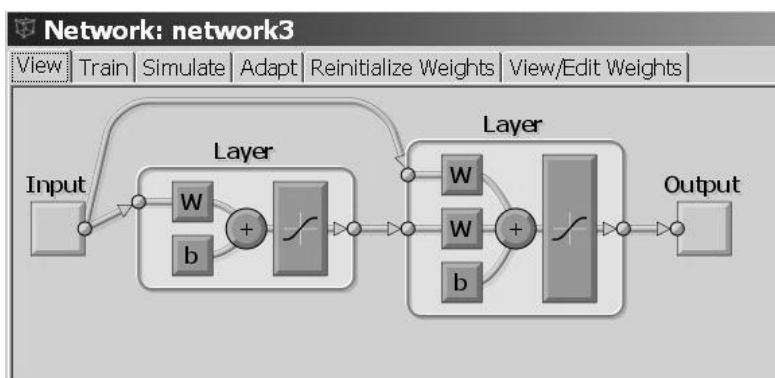


Рис.11. Структура однонаправленной сети

Для обучения и тестирования сети использовались результаты предыдущих этапов «ручного» воздействия на систему. Обученная сеть должна определять «возмущенный» узел системы.

В настоящее время исследована распознавательная способность сети при подаче внешнего возмущения на каждый узел моделируемой системы. Как показали исследования, на внешнее возмущение реагируют только «сильные»

узлы системы. Обучение проводилось в условиях 10%-го внешнего возмущения. Диапазон внешних возмущений: 1 – 1000%. Времена моделирования: 0,5% – 100%.

После обучения сеть однозначно распознает узел, на который подано внешнее возмущение, как с большей амплитудой, так и с меньшей, чем в обучающей выборке во всем диапазоне времен моделирования.

Кроме того, исследовались ситуации, когда возмущение разной амплитуды подавалось на несколько узлов моделируемой системы. Сеть определяет все возмущенные узлы при начале распознавания на интервале от 0,5% до 100% от времени моделирования, но для оценки степени их возмущения требуется дообучение сети, что будет сделано в дальнейшем.

Кроме того, будут проведены работы по распознаванию узлов моделируемой системы при возникновении внутренних структурных возмущений, информация о локализации возмущения в системе будет передаваться на уровне управления и координации.

Следующим этапом работы является полное подключение управления и координации (на все узлы моделируемой системы) при использовании нейронной сети для получения информации о локализации возмущения в системе, что позволит координатору принять решение о воздействии на выявленный узел.

Прогнозируется, что использование нейронной сети в качестве поискового блока должно вести к повышению быстродействия децентрализованных систем управления сетевыми структурами.

6. Выводы

В ходе выполнения настоящего проекта:

1) Разработана методология объединенного оперативно-тактического управления в сложных организационно-технических системах (СОТС), в частности, динамических сетях поставок [13]. Чтобы поддерживать эффективное функционирование подобных систем в меняющейся обстановке, необходимы гибкие управленческие технологии. Одна из таких информационных технологий совместно разрабатывается СПИИ РАН и ИИММ КНЦ РАН.

2) Для стратегического управления (синтеза оптимальной конфигурации СОТС) предложено использовать методы управления структурной динамикой и генома структуры [14]. Эти методы позволяют поддерживать требуемый уровень работоспособности СОТС при непредусмотренных, в том числе катастрофических, изменениях ее структуры.

3) Для оперативного управления (при стабильной структуре системы) предложено применить комбинацию ранее разработанных градиентных и игровых методов координации СОТС [9, 15]. Вначале реализуется градиентный метод 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 наличие организованного противодействия и алгоритм координации меняется на игровой. В настоящей работе представлен градиентный метод повышения эффективности оперативного управления СОТС.

4) Использование предложенного градиентного метода координации для двухуровневой системы управления линейным объектом позволяет:

- при подключении нижнего уровня управления в среднем на порядок расширить диапазоны устойчивости системы к внешним возмущениям и примерно вдвое уменьшить процент расхождения идеальной и реальной траекторий системы.

- подключение блока координации позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям более чем вдвое;

- увеличить быстродействие системы приблизительно вдвое;

- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям в полтора – два раза (по сравнению с локальным управлением).

5) Использование предложенного градиентного метода координации для сетевого объекта позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и свести к минимуму взаимное влияние узлов сети, если локальные управляющие элементы не искажают намеренно информацию, передаваемую на уровень координатора,

- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям более чем в два раза, как и для двухуровневой системы управления линейным объектом.

6) Для поиска «возмущенного» узла моделируемой системы в качестве поискового блока использовалась однонаправленная сеть, которая показала хорошую распознавательную способность при подаче внешнего возмущения на каждый узел моделируемой системы в диапазоне воздействий от 1% до 1000% на временах моделирования от 0.5% до 100%.

Литература

1. Sokolov B. Integrated Situational Modelling of Industry-Business Processes for Every Stage of Their Life Cycle /B. Sokolov, A. Fridman // Proceedings of 4th International IEEE Conference “Intelligent Systems” (IS 2008), Varna, Bulgaria, September 6-8, 2008. - Vol.1. - pp.8-40.
2. Дьяконов, В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование /Серия "Полное руководство пользователя"// В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс.- 2004. – 384 с.
3. Фридман, А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем / А.Я. Фридман // Одиннадцатая национальная конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2008, г. Дубна, 28 сентября - 3 октября 2008: тр. конф.– М.: ЛЕНАНД, 2008. – Т.1. - С.25-31.
4. Фридман, А.Я. Достаточные условия координируемости локально организованной иерархии динамических систем / А.Я. Фридман // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2009): мат. X Междунар. научно-техн. конф. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. - С.115-117.

5. Фридман, А.Я. Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой / А.Я. Фридман // Труды IV междунар. конф. "Идентификация систем и задачи управления". – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2005. – С.1075-1108.
6. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара.– М.: Мир, 1973. – 344 с.
7. Фридман, А.Я., Фридман, О.В. Ситуационное моделирование иерархической многоцелевой системы / А.Я Фридман, О.В. Фридман. /XXXV-ая Дальневосточная Математическая Школа–Семинар имени акад. Е.В. Золотова: тр. Всерос. конф. г. Владивосток, 31 августа – 5 сентября 2010 г. -С. 892-898.
8. Фридман, А.Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами /А.Я Фридман, О.В. Фридман // Информационно-управляющие системы, 2010. - №6. - С.13-20.
9. A. Fridman, O. Fridman. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems // Systems Research Forum, Vol 4, № 2 (2010), pp. 121-136.
10. Fridman, A. Incremental Coordination in Collaborative Networks / Fridman A. Fridman O. // Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT-2010), October 18-20, 2010, Moscow, Russia [Электронный ресурс] (CD-ROM). – Paper № 1569337294.
11. Стефанюк, В.Л. Локальная организация интеллектуальных систем/ В.Л. Стефанюк. – М.: Физматлит, 2004. – 328 с.
12. Городецкий, А.Е. Управление и нейронные сети / А.Е. Городецкий, И.Л. Тарасова.– СПб.: Изд-во политехнического университета, 2005. – 312 с.
13. Структурно-градиентная оптимизация катастрофоустойчивых информационных систем / А.Н. Павлов и др. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XIII Междунар. конф., г. Самара, 15–17 июня 2011 г. - Самарский научный центр РАН, 2011. - С.246–251.
14. Комбинированные методы планирования и оперативного управления в иерархических катастрофоустойчивых информационно-вычислительных системах / А.Н. Павлов и др. // XII междунар. научно-техн. конф. 11–12 мая 2011 г. «Кибернетика и высокие технологии XXI века»: сб. докл. в 2-х томах. Воронеж: НПФ «Саквоее», 2010. -Т.1. - С.13–24.
15. Фридман, А.Я. Координация иерархических организационных систем: игровой и градиентный подходы / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, В.А. Зеленцов // Проблемы теории и практики управления. - 2011. -№ 6. – С.14-22.

Сведения об авторах

Фридман Александр Яковлевич

д.т.н., проф., зав. лабораторией. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru.

Alexander Ya. Fridman

Dr. of Sci (Tech.), Professor, head of Laboratory. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Фридман Ольга Владимировна

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской Академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: ofridman@iimm.kolasc.net.ru

Olga V. Fridman

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Соколов Борис Владимирович

д.т.н., профессор, зам. директора. Учреждение Российской Академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации (СПИИ РАН).

Россия, 194100, г. Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39.

e-mail: sokol@iias.spb.su

Boris V. Sokolov

Dr. of Sci (Tech.), Professor, vice-director of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS.

Russia, 199178, St. Petersburg, 14th line, 39.

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев, Н.В. Исакевич

КОНЦЕПЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РФ

Аннотация

Разработана формализованная постановка задачи информационно-аналитического обеспечения рискоустойчивого развития промышленно-природных комплексов Арктической зоны РФ. Создана информационная модель поддержки обеспечения защищённости типовых критически важных объектов Арктической зоны РФ от угроз техногенного, природного характера и террористических актов.

Ключевые слова:

арктическая зона, безопасность развития, информационно-аналитическое обеспечение, промышленно-природные комплексы.

S.Yu. Yakovlev, N.V. Isakevitch

CONCEPTION OF INFORMATION-ANALYTICAL SUPPORT FOR DEVELOPMENT SAFETY OF RUSSIA ARCTIC REGIONS INDUSTRIAL-NATURAL COMPLEXES

Abstract

The problem definition of information-analytical support for steady to risk development of Russia Arctic zone industrial-natural complexes has been worked. The information model for protect supporting of Russia Arctic zone typical critically important objects from industrial, natural, terroristic threats has been created.

Keywords:

arctic zone, development safety, information-analytical support, industrial-natural complexes.

Введение

Важной функцией управления региональным развитием является обеспечение промышленно-экологической безопасности. Особую значимость эта проблема приобретает для Арктических регионов, превращающихся в одну из основных баз будущего развития страны [1]. Особенности Арктической зоны РФ являются экстремальные природно-климатические условия, очаговый (кластерный) характер освоения территорий, низкая плотность населения, удалённость от основных промышленных центров, высокая ресурсоёмкость, зависимость от других регионов России и зарубежных партнёров, уязвимость экологических систем.

Специфика безопасности развития Арктической зоны РФ состоит в том, что, с одной стороны, уровень безопасности региона существенно зависит от глобальных угроз, с другой стороны, возможные кризисы и чрезвычайные ситуации, обусловленные особенностями региона, способны привести к дестабилизации систем более высокого уровня – федерального, международного, мирового.

Пилотным полигоном исследований предполагается Мурманская область, как типичный и наиболее изученный промышленно-экологический регион

Арктической зоны РФ. Мурманская область является уникальным Арктическим регионом с точки зрения геополитического и геоэкономического положения, роли в обеспечении обороноспособности страны, запасов природных ресурсов.

В работе рассматривается задача информационно-аналитического обеспечения рискоустойчивого развития промышленно-природных комплексов Арктических регионов РФ.

1. Система основных понятий предметной области

Необходимость трактовки основных понятий объясняется тем, что в "науке об опасностях" до сих пор не сложилось единой общепринятой терминологии. Споры идут даже по поводу базовых определений - опасности, безопасности, риска [2]. Поэтому авторы в публикациях всякий раз вынуждены представлять свою интерпретацию используемых терминов. Данная работа опирается, в основном, на обоснованную и апробированную ранее иерархическую систему основных понятий предметной области [3, 4]. Ниже приводятся принятые в настоящей работе толкования. Сразу оговоримся, что эти дефиниции носят не "академический", фундаментальный характер, а прикладной, конструктивный, допускающий количественную интерпретацию.

Опасность - это свойство чего (кого)-либо причинять кому (чему)-либо ущерб (вред). Таким образом, опасность - понятие качественное. Говоря об опасности, необходимо указывать как источник, так и "приёмник" (объект воздействия опасности, реципиент). Только в этом случае данное понятие имеет конкретный смысл.

Промышленно-природные (техногенно-экологические) опасности – это опасности, источники и приёмники которых являются объектами техногенно-природной среды, в данном случае, среды Арктических регионов.

Чрезвычайная ситуация (ЧС), авария, стихийное бедствие - это проявления, реализации техногенно-экологических опасностей.

Риск - количественная мера опасности. Техногенно-экологический риск определяется промышленно-природными опасностями. Общее понятие риска, как правило, включает в себя две составляющих: меру возможности (вероятность, частоту) проявления опасности и возможный ущерб от реализации опасности. В наиболее простой формулировке риск проявления опасности определяется как произведение меры возможности на ущерб.

Классификация опасностей и рисков может быть выполнена по различным критериям [2]. В данной работе упоминаются лишь основные для целей исследования классы. Риск может быть допустимый (приемлемый) и недопустимый (неприемлемый). Нормирование риска представляет собой самостоятельную проблему [5]. Количественные критерии допустимости/недопустимости риска определяются экономическими и социальными факторами, и имеют различные значения для разных стран. Так, в Декларации Общероссийской общественной организации "Российское научное общество анализа риска" предлагаются следующие нормативы для потенциально опасных производственных объектов РФ [6]:

- предельно допустимый уровень индивидуального риска для населения не превышает значения 10^{-4} в год;

- предельно допустимый уровень социального риска смерти N и более человек из населения не превышает $10^{-2}/N^2$.

Безопасность - отсутствие недопустимого риска. Выделяются уровни безопасности, определяемые риск-показателями. Обеспечение безопасности – поддержание приемлемого уровня безопасности.

Безопасность развития - отсутствие недопустимого риска в настоящем и будущем в соответствии с глубиной прогноза (краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный). В этом случае, наряду с неопределённостью оценки риска, должна быть учтена (в той или иной форме) и неопределённость прогноза.

Управление безопасностью (управление риском) - выбор адекватного ситуации (разумного и достижимого) уровня безопасности.

Управление безопасностью развития (управление риском) - выбор адекватного ситуации уровня безопасности в настоящем и будущем, определяемом глубиной прогноза.

Система последовательно определяемых понятий представлена на рис. 1.



Рис. 1. Основные понятия

2. Основные техногенно-экологические опасности Арктических регионов РФ

Опасности, как уже упоминалось, могут классифицироваться по различным признакам [2]:

- по источникам – природные, антропогенные (социогенные, техногенные), комбинированные, внутренние, внешние;
- по объектам воздействия – социально-политические, экологические, экономические;
- по масштабам (уровням) опасности – локальные, региональные, федеральные, глобальные;
- по временному фактору;
- по месту проявления – континентальные, шельфовые, смешанные;
- и т. д.

К настоящему времени в Арктическом регионе РФ создана многопрофильная производственная и социальная инфраструктура преимущественно сырьевых отраслей экономики, а также военно-промышленного и транспортного комплексов.

Основные возможные проявления техногенных опасностей в Арктической зоне РФ [7, 8]:

- разливы нефти и нефтепродуктов;
- аварии в жизнеобеспечивающих системах ЖКХ городов и поселков Арктической зоны;
- аварии на магистральных газопроводах, проложенных в сложных условиях многомерзлотных пород;
- аварии на сооружениях, возведенных на многомерзлотных породах, в связи с наблюдаемым потеплением в Арктической зоне;
- аварии на промышленных предприятиях, в т.ч. на радиационно опасных объектах;
- аварии, связанные с эксплуатацией Северного морского пути;
- кораблекрушения.

В последнее время Россия значительно увеличила объемы перевозки нефти морским транспортом. Начата добыча нефти на шельфе Охотского моря, планируется добыча на шельфе Баренцева моря. Эта деятельность неизбежно сопровождается повышением вероятности риска катастрофических разливов нефти. Анализ показывает, что достаточно одной аварии крупнотоннажного танкера или буровой платформы, чтобы на несколько лет, а в Арктике в некоторых случаях навсегда, уничтожить биоресурсы района и сделать его побережье непригодным для жизни местного населения. Основными причинами разливов, как малых, так и больших, являются повреждения трубопроводов при погрузо-разгрузочных работах и аварии (столкновения, посадки на мель) танкеров, перевозящих нефть. В ближайшем будущем к ним могут добавиться аварии на буровых платформах и трубопроводах, подающих нефть к нефтяным терминалам. В бассейне Баренцева моря вопросы борьбы с возможными разливами нефти должно решать Мурманское бассейновое аварийно-спасательное управление (МБАСУ), которое не имеет достаточных сил и средств для эффективных действий на таком огромном пространстве.

На территории районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей находится несколько тысяч потенциально опасных объектов: склады со взрывчатыми и химическими материалами, хранилища отработанного ядерного топлива, захороненные контейнеры с отходами, отслужившие свой срок атомные подводные лодки, ядерные реакторы на суше и морских судах, нефтехранилища, объекты ядерной энергетики, нефте- и газопроводы и др. Такая концентрация потенциальных источников опасности требует повышенных мер контроля.

Следует подчеркнуть тесную связь риска техногенных ЧС с резко меняющейся гидрометеорологической обстановкой и климатом в Арктике. Если современные тенденции сохранятся, а именно на это указывают теоретические прогнозы климата, опасные геоэкологические последствия деградации вечной мерзлоты будут неизбежны. В результате возможны массовые деформации зданий и сооружений, построенных без учета климатического потепления. Многие факты свидетельствуют о том, что в последние десятилетия деструктивное воздействие криогенных процессов на объекты инфраструктуры в области распространения вечной мерзлоты усилилось. В настоящее время деформировано почти 60% зданий и сооружений в Игарке, Диксоне, Вилюйске, фактически 100% в поселках Таймыра, около 40% в Воркуте и т.д.

Деформации нефте-, газо- и продуктопроводов, а также различных производств (особенно химических и металлургических) могут привести к колоссальным выбросам загрязнителей в окружающую среду. Следует также отметить, что массовые разрушения зданий и сооружений, необходимость в связи с этим эвакуации миллионов людей усилят социально-экономическую напряженность на Севере России. Фактически будет разрушена среда обитания коренных народов Севера. Просадки и провалы полотна автомобильных и железных дорог, деформация аэродромных покрытий способны подорвать транспортное единство страны.

В российской Арктике расположены крупнейшие в мире металлургические производства, рудники, горнообогатительные комбинаты, угольные шахты, полигоны испытания ядерного оружия, захоронения радиоактивных отходов. Здесь добывается около 93% природного газа и 75% нефти, что в стоимостном исчислении дает до 70% годового экспорта страны. Наиболее крупными предприятиями, представляющими собой потенциально опасные в радиационном отношении объекты, являются Кольская и Билибинская атомные станции. Кроме того, в Арктической зоне России размещен ряд объектов Минобороны России, которые требуют постоянного внимания и контроля за их состоянием.

В целом все процессы возможных техногенных аварий и катастроф в Арктике в условиях низких температур, с учетом природно-климатических условий, имеют очень серьезные специфические особенности, которые должны учитываться при построении моделей безопасности развития промышленно-природных комплексов.

Арктика – одна из самых хрупких экосистем планеты. Экологические проблемы Арктики в силу ее природно-географических особенностей имеют высокую вероятность перерасти из региональных в глобальные.

Основные угрозы экологического характера в Арктической зоне России связаны со следующими причинами:

- увеличение загрязнения и деградация компонентов природной среды в условиях растущей антропогенной нагрузки;
- накопление отходов;
- высокие риски при освоении природных ресурсов;
- глобальные климатические изменения и их влияние на зону распространения вечной мерзлоты;
- развитие опасных гидрометеорологических, ледовых и других природных процессов, увеличение риска и ущерба от этих процессов.

В арктической зоне России было выделено 27 районов (11 - на суше, 16 - в морях и прибрежной зоне), получивших наименование «импактных» (точечных), где процессы загрязнения уже привели к сильнейшей трансформации естественного геохимического фона, загрязнению атмосферы, деградации растительного покрова, почвы и грунтов, внедрению вредных веществ в цепи питания, повышенной заболеваемости населения. Распределение импактных районов крайне неравномерно. Четыре главных очага напряжённости – это Мурманская область (10 % суммарного выброса загрязняющих веществ), Норильская агломерация (более 30 %), районы освоения нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири (более 30 %) и Архангельская область (высокая степень загрязнения специфическими веществами). Наиболее значимые источники загрязнения Арктики на территории Российской Федерации – это горнометаллургические комбинаты в городах Норильск, Мончегорск и Никель, а также Архангельский и Соломбальский целлюлозно-бумажные комбинаты, нефтегазовые комплексы в Ненецком и Ямало-Ненецком автономных округах, объекты Северного флота, транспортного и рыболовного флотов, а также сбросы неочищенных сточных вод в населенных пунктах.

Выбросы промышленных предприятий в атмосферу в условиях Арктики прослеживаются на территориях площадью тысячи квадратных километров. Когда почвенная эмиссия загрязняющих веществ в полярной зоне практически нулевая, загрязняющие вещества, поступающие через атмосферу, быстро разрушают ландшафтный покров (растительность, мох) полярных и приполярных территорий. Последствия этого самым губительным образом сказываются на оленеводстве.

На большей части арктической зоны РФ зафиксированы критические уровни загрязнения окружающей среды. Особую опасность представляет опасность радиоактивного загрязнения и состояние прибрежных вод. В арктических морях затоплены контейнеры с радиоактивными отходами, а также атомные реакторы, снятые с подводных лодок. Особенно много радиационных отходов затоплено в Карском море.

Десятки лет в Арктику завозилось все, что нужно для ее освоения, для жизнедеятельности людей, но фактически ничего из отходов из арктической территории не вывозилось. На Северном флоте в течение одного года сбрасывается порядка 10 млн. кубических метров неочищенных вод.

Крайне острой является проблема утилизации промышленных и бытовых отходов, миллионами тонн накапливающихся возле промышленных предприятий. Так, только ОАО «Апатит» ежегодно складировает около 30 млн. тонн отходов, всего же в хранилищах предприятия скопилось около 400 млн. тонн. На целлюлозно-бумажных комбинатах, расположенных в Арктической зоне, ежегодно образуются тысячи тонн древесных отходов.

Загрязнение окружающей среды вызывает также деятельность крупных тепловых электростанций, работающих на твердом топливе и мазуте. Они выбрасывают в воздух окислы серы и азота, тяжелые металлы, сажу, продуцируют опасное для Арктики тепловое загрязнение водных объектов и мерзлых грунтов.

Транспортные центры Арктики (Мурманск, Салехард, Тазовский, Амдерма и др.) также формируют очаги экологической напряженности различного масштаба вследствие загрязнения поверхностных вод и атмосферного воздуха нефтепродуктами, взвешенными веществами, тяжелыми металлами, соединениями азота, бензопиреном, окисью углерода и т.п. Функционирование железных дорог приводит к значительному механическому нарушению почв и грунтов, особенно в районах распространения многолетней мерзлоты.

Отметим особенности Мурманской области, важные для вопросов безопасности. Практически вся территория региона находится за полярным кругом в суровых природно-климатических условиях. Область расположена на пересечении международных морских торговых путей. Пограничное положение имеет военно-стратегическое и экономическое значение. Региональная система перегружена объектами оборонно-промышленного комплекса. Заметную роль играют внешние связи, как с субъектами Федерации, так и с иностранными партнерами. Экономика области сильнее, чем для многих других регионов РФ, зависит от внешних факторов. К этим факторам относятся глобальные процессы (определяющие уровень цен на апатит, никель, алюминий, медь), снабжение продуктами питания (большая доля импорта), доставка топлива, финансовое обеспечение, пропускная способность транспортных магистралей. Область характеризуется исторически сложившимся небольшим числом развитых (регионообразующих) отраслей (минерально-сырьевая база – горно-промышленный комплекс, рыбопромысловая база, оборонно-промышленный комплекс, энергетика), наличием градообразующих предприятий. Велика опасность радиоактивного загрязнения региона. Её причина - в неудовлетворительном техническом состоянии объектов хранения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива на Северном флоте РФ. На атомных подводных лодках, находящихся в отстое, и судах технического обслуживания, а также в береговых хранилищах Кольского полуострова сосредоточено около 250 активных зон реакторов.

Акватория Кольского залива, где располагаются морские торговый и рыбный порты, базы Северного флота и погранвойск, 6 крупных судоремонтных заводов, а в прибрежной зоне – 8 городов, включая г. Мурманск, испытывает серьезные экологические нагрузки. В результате деятельности торгового, рыбного, атомного и военного флотов и других водопользователей вдоль побережья Кольского залива практически не осталось ненарушенных экосистем. Воды залива загрязнены нефтепродуктами, максимальные концентрации которых превышают ПДК в 20-30 раз, а поверхность постоянно покрыта нефтяной пленкой. Несанкционированные свалки судов являются источником интенсивного загрязнения вод и донного осадка химическими веществами. Это наносит существенный ущерб окружающей среде и создает серьезную экологическую проблему. Более того, отдельные затопленные на акватории Кольского залива суда представляют и навигационную опасность для

крупнотоннажных судов. В последние годы проблема опасности затопленных судов для мореплавания в Кольском заливе приобретает особую остроту, и связано это с активизацией деятельности по транспортировке и перегрузке нефтепродуктов через акваторию Кольского залива. Возросло судоходство, и прежде всего крупнотоннажных нефтеналивных судов. Появились причальные и рейдовые комплексы перегрузки нефтепродуктов. В настоящее время в Кольский залив заходят танкера дедвейтом 60000 - 150000 тонн. Риски экологических ЧС в акватории Кольского залива в основном связаны с перегрузкой и транспортировкой нефти, которая осуществляется на рейдовых перегрузочных комплексах. На акватории Кольского залива в настоящее время расположено пять рейдовых перегрузочных комплексов.

3. Формализация задачи обеспечения безопасности развития промышленно-природных комплексов

Представляется целесообразным представление совокупности свойственных Арктической зоне потенциальных техногенно-экологических опасностей в виде разработанной и апробированной иерархической реляционной структуры - многоуровневой системы вложенных таблиц (матриц) "источники опасностей – объекты воздействия опасностей" [3, 4]. Необходимо также идентифицировать внешние (по отношению к выделенной промышленно-природной системе Арктических регионов РФ) угрозы, а также угрозе внешней среде со стороны выделенной системы.

Далее, в соответствии с [3], для количественной характеристики опасности источника по отношению к какому-либо объекту (характеристики пары "источник опасности - объект воздействия", т.е. определенной клетки таблицы) введем в рассмотрение случайную величину - возможный ущерб X от аварий за какой-либо период времени, например, за год. (Отложим на время вопрос о размерности, а также о факторах, влияющих на распределение величины X). Эта величина может быть дискретной и непрерывной. В дискретном варианте исчерпывающей характеристикой X является, например, ряд распределения:

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c} X & x_0 & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \hline p & p_0 & p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{array},$$

где $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ - возможные значения случайной величины X , причем принято, что $x_0 = 0$ и $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n$;

$p_0, p_1, p_2, \dots, p_n$ - вероятности указанных значений, т.е.

$p_0 = P(X = x_0), \dots, p_n = P(X = x_n)$, при этом $p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$.

Таким образом, значение x_n соответствует максимальной аварии, значение x_0 соответствует отсутствию аварий, а события $X = x_0, X = x_1, \dots, X = x_n$ образуют полную группу. Как правило, для реальных опасных объектов большему ущербу соответствует меньшая вероятность, т.е. справедливо соотношение $p_0 > p_1 > \dots > p_n$.

В качестве показателей опасности (для данной клетки) возможно использование численных характеристик распределения. Естественным обобщением является рассмотрение ущерба X как случайной функции координат и времени: $X = X(x, y, z, t)$. Это позволяет проводить анализ опасностей для пространственных и динамических систем, какими, как правило,

и являются реальные промышленно-природные системы. Другое важное теоретическое достоинство такого обобщения - возможность математически выразить многочисленные используемые на практике риск-показатели (число пострадавших, материальный ущерб, размер зоны поражения и т.д.), характеризующие различные виды опасностей и системы различного уровня, в единых терминах соответствующих случайных функций ущерба. С точки зрения моделирования безопасности развития на первом этапе достаточно ограничиться исследованием случайной функции $X = X(t)$.

Далее решается задача выработки общего показателя для группы клеток (пар) таблицы. В результате строится унифицированное математическое описание безопасности всей предметной области.

При моделировании представляется целесообразным применение известного в теории безопасности принципа приемлемого риска, т.е. риска, достижимого и оправданного (допустимого) с точки зрения социально-экономических и экологических факторов обеспечения безопасности развития, риска, с которым общество готово мириться ради получения определённых положительных результатов своей деятельности в настоящем и будущем. Величина приемлемого риска определяется достигнутым уровнем знаний, социально-экономическими возможностями государства, общественным мнением, а также региональными особенностями. Обоснование уровня приемлемого риска регионального развития – самостоятельная научная задача.

Апробацию описанного подхода предполагается провести в ходе анализа безопасности развития промышленно-природных комплексов Мурманской области.

Общая постановка задачи информационно-аналитического обеспечения безопасности развития схематично представлена на рис. 2.



Рис.2. Постановка задачи обеспечения техногенно-экологической безопасности развития

4. Информационная модель обеспечения защищённости типовых критически важных объектов Арктической зоны РФ

Задача повышения уровня промышленно-экологической безопасности актуальна для объектов Арктической зоны РФ ввиду их особой уязвимости и возможности причинения значительного ущерба от ЧС. Разработка планов повышения защищённости критически важных объектов (КВО) от угроз техногенного, природного характера и террористических актов – относительно новый и важный элемент планирования и осуществления мероприятий по предупреждению и ликвидации возможных ЧС [9].

Критически важные объекты классифицируются по значимости, по видам угроз, по уровням угроз. Классы могут быть разбиты на категории КВО, например, для класса "вид опасности" это могут быть базы хранения, объекты энергетики (электро и теплостанции), объекты транспорта, перерабатывающие заводы, добывающие комплексы и т.п. Объекты каждой категории имеют свою специфику. Выделены типовые КВО Арктических регионов РФ.

Разработана информационная схема анализа состояния объекта с точки зрения его значимости и последствий ЧС. Обоснована структура комплекса возможных мероприятий, реализуемых типовым объектом и направленных на повышение защищённости. По каждому мероприятию оцениваются срок реализации и объём финансирования. Дается интегральная оценка уровня защищённости (например, в процентах) объекта в результате реализации планируемых мероприятий. Приводятся карты (ситуационные планы) обстановки в зонах возможных ЧС на объекте, схемы организации связи и управления, состав группировки сил и средств, копии объектовых документов, имеющих отношение к плану.

Основные этапы исследования защищённости КВО представлены на рис. 3.



Рис.3. Информационно-алгоритмическая схема исследования защищённости типовых критически важных объектов Арктической зоны РФ

Созданная таким образом информационная модель апробирована в ходе разработки планов повышения защищённости ряда объектов Мурманской области.

Заключение

Разработана формализованная постановка задачи информационно-аналитического обеспечения рискоустойчивого развития промышленно-природных комплексов Арктической зоны РФ. Определена информационная структура и даны конструктивные определения основных понятий предметной области, разработаны содержательная и математическая постановки задачи.

Создана информационная модель поддержки обеспечения защищённости типовых критически важных объектов Арктической зоны РФ от угроз техногенного, природного характера и террористических актов. Обоснована структура комплекса мероприятий организационного, методического, инженерного, экономического, социального и иного характера, направленных на повышение уровня промышленно-экологической безопасности. Модель апробирована в ходе разработки планов повышения защищённости ряда объектов Мурманской области.

Литература

1. Маслобоев, А.В. Управление развитием Арктических регионов РФ: проблемы обеспечения промышленно-экологической безопасности / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов, С.Ю. Яковлев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2011): матер. Пятой межд. конф., 3-5 октября. 2011г., г. Москва. – Т. II. – М.: Учреждение РАН Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2011. – С.124-126.
2. Быков, А.А. Об анализе риска, концепциях и классификациях рисков / А.А. Быков, Б.Н. Порфирьев // Проблемы анализа риска. – 2006. – Т.3, №4. – С.319-337.
3. Yakovlev, S.Yu. Occupational Safety and Industrial Safety / Yakovlev S.Yu. // Barents Newsletter on Occupational Health and Safety. - Helsinki, 2001. - Vol. 4, № 1. –pp.32-36.
4. Яковлев, С.Ю. Информационные технологии поддержки промышленно-экологической безопасности регионов и предприятий / С.Ю. Яковлев // Информационные ресурсы России. - 2004. - № 2. - С.15-17.
5. Проблемы анализа риска. – 2004. – Т.1, № 2. -196 с.
6. Анализ риска и проблем безопасности: в 4 ч. Научн. рук. К.В. Фролов.– М.: МГОФ "Знание", 2007. - ч.4: Научно-методическая база анализа риска и безопасности. – С.662-663.
7. Акимов, В.А. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России / В.А. Акимов, Ю.И. Соколов // Проблемы анализа риска. – 2010. – Т.7, №4. – С.26-49.
8. Арктика: перспективы развития // Север промышленный. – Мурманск: ИД "Гелион", 2009, октябрь. – С.4-9.

9. Яковлев, С.Ю. Информационное обеспечение разработки планов повышения защищённости критически важных объектов / Яковлев С.Ю., Исакевич Н.В. // Теория и практика системной динамики: тр. IV Всеросс. науч. конф., 29-31 марта 2011 г., Апатиты. – Апатиты, КНЦ РАН, 2011. – С.170-175.

Сведения об авторах

Сергей Юрьевич Яковлев

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

E-mail: Yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

Sergey Yu. Yakovlev

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

E-mail: yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

Наталья Валентиновна Исакевич

старший специалист. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

E-mail: Isakevith@iimm.kolasc.net.ru

Nataliya V. Isakevitch

senior specialist. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.942:622.7

А.С. Неведров, А.Г. Олейник

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧИ ИНТЕГРАЦИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РУД

Аннотация

Дана оценка возможности интеграции разнородных инструментальных средств для решения задач определения эффективных режимов обогащения минеральных руд. Предложен вариант формального описания задачи формирования спецификации среды моделирования в виде цепочки последовательно вызываемых инструментальных средств.

Ключевые слова:

обогащение руд, моделирование, формализация спецификации.

A.S. Nevedrov, A.G. Oleynik

THE TASK FORMAL REPRESENTATION OF TOOLKITS INTEGRATION FOR ORE CONCENTRATION EFFECTIVE REGIMES SEARCHING

Abstract

The estimation of heterogeneous toolkits integration possibility for tasks of ore concentration effective regime searching is given. Variant of formal description of simulation environment specification forming as a toolkits sequence is described.

Keywords:

ore-dressing, simulation, formal specification.

Введение

На сегодняшний день существует большое количество инструментальных средств, решающих задачи определения эффективных режимов обогащения минеральных ископаемых (например, моделирование гидродинамических течений в обогатительных аппаратах [1]). Такие задачи можно разбить на несколько последовательных подзадач (этапы решения): создание геометрии рабочего пространства; наложение сетки; задание параметров и начальных условий; вычисление целевых характеристик исследуемого разделительного процесса; вывод результатов в удобной для интерпретации форме. Большинство коммерческих продуктов (ANSYS FLUENT, STAR-CD и COMSOL Multiphysics) позволяет решить все подзадачи. Но данные продукты обладают достаточно высокой ценой, что является сдерживающим фактором в случаях, когда их применение требуется периодически. Свободно распространяемые продукты (OpenFOAM, FEATFLOW), в основном, обеспечивают реализацию только отдельных этапов решения задачи. Но с учетом того, что таких бесплатных программ существует достаточно количество, задачу можно решить набором программ, и не использовать платные разработки. В итоге, для решения некоторой составной (сложной) задачи, потребуется комплекс инструментальных средств, обеспечивающих согласованное решение отдельных подзадач целевой задачи (идея модульного подхода, описанная в работе [2]).

Вероятность того, что у одного исследователя найдутся все необходимые инструментальные средства, невелика. Выход из этой ситуации заключается в интеграции необходимых средств, находящихся на различных узлах сети, в единую систему, воспользовавшись концепцией GRID. Такая GRID-система позволяет предоставить для исследователя набор инструментов для решения задачи, а также сопутствующие ресурсы: долговременную и оперативную память, среду, в которой можно проводить распределенные вычисления сложных задач. Дополнительно, так как при решении задачи может потребоваться распараллеливание вычислений, такая grid-система также может это обеспечить, запустив расчет на нескольких узлах в сети.

Оценка возможности взаимодействия инструментальных средств

Упрощенно, без учета параллельных участков, цепочку применяемых инструментов для решения некоторой декомпозируемой задачи P представить в виде:

$R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4 \rightarrow R_5$, где R_i – инструментальное средство.

Для осуществления интеграции гетерогенных инструментальных средств и последующего формирования вышеуказанных цепочек необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

- наличие интерфейса для вызова процедур;
- наличие механизма взаимодействия.

При наличии в декомпозиции задачи P подзадач, которые могут (или – должны) выполняться параллельно, также необходимы механизмы синхронизации работы соответствующих инструментальных средств.

Многие свободно распространяемые программные продукты являются консольными программами и предоставляют набор модулей и библиотек. Так OpenFOAM включает в себя библиотеку методов, реализованную на языке C++, а также поддерживает распараллеливание вычислений в кластерных и многопроцессорных системах, используя стандарт MPI (Message Passing Interface) [3]. MPI является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании [4]. Существуют его реализации для большого числа компьютерных платформ. Основным средством коммуникации между процессами в MPI является передача сообщений. Пакет STAR-HPC (High Performance Computing) [5], входящий в комплекс STAR-CD, предназначен для осуществления решения подготовленных в препроцессоре задач на многопроцессорных вычислительных системах. Распределение задачи оценки параметров разделения по аппаратным ресурсам происходит следующим образом: расчетная геометрическая область (сетка) равномерно разбивается на количество частей, равное заказанному количеству процессоров. После этого, для каждой части генерируется исполняемый код, который выполняется соответствующими процессорами и/или узлами.

При разработке интегрированных комплексов программ приходится объединять коды различных прикладных программ, которые зачастую разработаны независимо, имеют свои требования к вычислительным ресурсам, используют разные коммуникационные парадигмы. В этом случае для организации взаимодействия существует несколько технологий: RMI, DCOM и CORBA. Обзор и сравнительный анализ этих технологий представлен в [6].

Наиболее подходящей для рассматриваемой предметной области является технология CORBA (Common Object Request Broker Architecture), позволяющая с помощью языка IDL (Interface Definition Language) описать интерфейс доступа. Спецификация CORBA предписывает объединение программного кода в объект, который должен содержать информацию о функциональности кода и интерфейсах доступа. Готовые объекты могут вызываться из других программ (или объектов спецификации CORBA), расположенных в сети.

Проблему несоответствия форматов входных и выходных данных у инструментальных средств можно решить путем внедрения конвертеров данных – дополнительных инструментов, преобразующих данные в формат, пригодный для передачи следующему инструменту. Конвертерам также необходимо использовать механизм взаимодействия CORBA.

Таким образом, применение технологий MPI и CORBA дает возможность формирования цепочки из набора «решателей» подзадач и конвертеров данных для решения декомпозируемой задачи определения эффективных режимов обогащения руд.

Вариант формального описания спецификации задачи и ресурса-инструмента

Для того чтобы grid-система могла производить декомпозицию задачи определения эффективных режимов обогащения минеральных ископаемых, а затем формировать последовательно-параллельную цепочку из подходящих инструментов, необходимо задать формальное описание для этой задачи.

Формальное описание задачи P может быть представлено следующим образом:

$$P = \{ ApP, OreP, GenP \},$$

где **ApP** – параметры и данные, связанные с сепарационным аппаратом (геометрическая модель, условие на границе);

OreP – параметры и данные, связанные с минеральным сырьем (характеристики руд, начальные условия);

GenP – общие параметры (модель процесса, рекомендуемые методы, параметры сетки, критерии оптимальности).

В группе **ApP** содержатся данные о сепарационном аппарате: модель аппарата, силы, которые используются для разделения, и технологические ресурсы, необходимые для работы аппарата – электроэнергия, вода, реагенты и т.п.

В группу **OreP** включаются данные о минеральном и фракционном составе объектов обработки и различных физических и физико-химических свойствах минеральных частиц, которые могут быть использованы при обогащении.

К группе **GenP** относятся общие параметры для такого класса задач. Сюда могут входить тип обогатительного процесса, рекомендуемые методы (инструменты) для решения, а также критерии эффективности - показатели, которые определяют эффективность процесса разделения. Примерами «стандартных» критериев качества процессов сепарации могут являться содержание ценного компонента или выход концентрата при заданном качестве и содержании ценного компонента в исходном сырье. В настоящее время

особую важность имеет экономический критерий эффективности - минимальная стоимость производства концентрата, получаемого из данного сырья при обеспечении заданных ограничений по качеству.

Также требуется формально описать ресурсы информационной системы – инструментальные средства. Инструмент R можно представить следующим образом:

$$R = \{ \mathbf{InP}, \mathbf{OutP}, \mathbf{GenP} \},$$

где \mathbf{InP} – входные параметры;

\mathbf{OutP} – выходные параметры;

\mathbf{GenP} – общие параметры (реализуемый метод, доступность, возможность распараллеливания).

Группы входных и выходных параметров имеют свой количественный состав и описание формата самих параметров. В группу \mathbf{GenP} характеристик инструмента входят такие параметры, как доступность (платный/бесплатный продукт), возможность параллельного вычисления. Анализируя эти группы, будет происходить формирование цепочек инструментов.

Дополнительно опишем конвертеры данных, которые также присутствуют в системе. Они характеризуются форматом данных на входе и на выходе:

$$C = \{ \mathbf{InF}, \mathbf{OutF} \},$$

где \mathbf{InF} – формат и количественный состав данных на входе;

\mathbf{OutF} – формат и количественный состав данных на выходе.

Механизм подбора инструментальных средств

Задать спецификацию задачи для построения цепочки можно с помощью некоторой экспертной системы, которая позволит указать различные параметры для расчетов. По этим параметрам будут подобраны инструменты для решения задачи. Описания инструментов создаются при их добавлении в grid-систему и хранятся в базе спецификаций инструментальных средств. Механизм подбора инструмента по спецификации задачи заключается в следующем:

- поиск инструментов, реализующих метод, который указан в спецификации задачи как рекомендуемый для решения (обозначим R_{rec}),
- поиск инструментов, для которых в спецификации задачи определено большее количество данных, используемых как входные параметры (обозначим R_{sel}).

Формально это можно записать следующим образом:

$$R_{rec}: \mathbf{GenP(P)}.Method = \mathbf{GenP(R_{rec})}.Method,$$

где $\mathbf{GenP(P)}.Method$ – параметр “рекомендуемый метод” в группе \mathbf{GenP} спецификации задачи P ;

$\mathbf{GenP(R)}.Method$ – параметр “реализуемый метод” в группе \mathbf{GenP} описания инструмента R_{rec} .

$$R_{sel}: \mathbf{InP(R_{sel})} \cup \mathbf{GenP(R_{sel})} \subseteq \mathbf{ApP(P)} \cup \mathbf{OreP(P)} \cup \mathbf{Gen(P)}.$$

В случаях, когда в спецификации задачи определены не все параметры для выбранного инструмента или по заданным условиям нельзя определить «лучший» варианта решателя, то система запросит уточнения данных.

Для дальнейшего формирования цепочки потребуется анализ выходных параметров инструмента. Рассмотрим фрагмент цепочки:

$$\dots \rightarrow R_i \rightarrow R_{i+1},$$

где R_i – уже включенный в цепочку инструмент,

R_{i+1} – инструмент, который является «кандидатом» на включение.

Для включения R_{i+1} в цепочку необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\text{InP}(R_{i+1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1}) = \text{OutP}(R_i) \cup \text{GenP}(R_i)$$

В ситуации, когда инструмент R_i порождает данных больше, чем необходимо для запуска инструмента R_{i+1} :

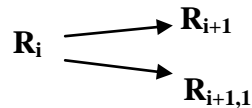
$$\text{InP}(R_{i+1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1}) \subseteq \text{OutP}(R_i) \cup \text{GenP}(R_i)$$

возникает задача определения соответствия между выходными данными применяемых инструментов для решения подзадачи и выходными данными самой подзадачи. В таком случае имеет место не прямая, а обратная задача построения цепочки: определение набора исходных данных подзадачи и инструментов, необходимых для достижения результирующего набора данных. Другими словами, проверяется необходимость включения дополнительного инструмента, принимающего на вход избыточные данные и выполняющегося параллельно R_{i+1} .

Если такой инструмент необходим, то условие выглядит следующим образом:

$$R_{i+1,1} : \text{InP}(R_{i+1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1}) \cup \text{InP}(R_{i+1,1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1,1}) = \text{OutP}(R_i) \cup \text{GenP}(R_i)$$

Цепочка принимает вид:



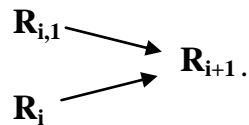
В случае, когда исполнитель R_i не обеспечивает получение всех входных данных для инструмента R_{i+1} ,

$$\text{OutP}(R_i) \cup \text{GenP}(R_i) \subseteq \text{InP}(R_{i+1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1})$$

в цепочку инструментов необходимо включить дополнительные средства, обеспечивающие порождение недостающих для реализации R_{i+1} данных. Соответствующие инструменты $R_{i,1}$ должны работать параллельно с R_i и обеспечить выполнение следующего условия:

$$R_{i,1} : \text{InP}(R_{i+1}) \cup \text{GenP}(R_{i+1}) = \text{OutP}(R_i) \cup \text{GenP}(R_i) \cup \text{InP}(R_{i,1}) \cup \text{GenP}(R_{i,1}).$$

В этом случае рассматриваемый фрагмент цепочки инструментов трансформируется к виду:



Кроме количественного состава данных необходимо также учитывать и совместимость инструментов по форматам данных и, в случае необходимости, включать конвертеры в цепочку между инструментами. Предположим, что уже сформирована цепочка вида:

$$R_i \rightarrow R_{i+1}$$

Тогда конвертер потребуется в случае, если

$$\text{Format}(\text{OutP}(R_i)) \neq \text{Format}(\text{InP}(R_{i+1})), \text{ где}$$

Format(OutP(R_i)) – формат выходных данных инструмента R_i ,

Format(InP(R_{i+1})) – формат входных данных инструмента R_{i+1} .

Необходимый конвертер $C_{i,i+1}$ должен удовлетворять следующему условию:

$C_{i,i+1} : \text{InF}(C_{i,i+1}) = \text{Format}(\text{OutP}(R_i))$ и $\text{OutF}(C_{i,i+1}) = \text{Format}(\text{InP}(R_{i+1}))$

В итоге цепочка принимает вид:

$R_i \rightarrow C_{i,i+1} \rightarrow R_{i+1}$

В случаях параллельных участков в цепочке каждый из параллельных переходов между инструментами рассматривается отдельно. Вопросы синхронизации параллельных звеньев могут решаться по-разному в зависимости от конкретной ситуации. В простейшем случае можно ограничиться только синхронизацией по потоку данных, без учета времени выполнения задачи, и использовать для определения последовательности применения выбранных инструментов алгоритмы, аналогичные алгоритмам анализа формальной разрешимости концептуальной модели [7] и алгоритмам синтеза спецификаций исполнительской среды на основе концептуальных описаний [8]. Но, при необходимости сокращения машинного времени, затрачиваемого на решение задачи, необходимо учитывать конкретные временные характеристики использования каждого инструмента, а также дополнительные задержки, связанные как с передачей данных между инструментами, так и с доступностью исполнителей.

Заключение

Несмотря на то, что формирование распределенной системы решения задач определения эффективных режимов разделения минеральных компонентов, на основе использования свободного распространяемого программного обеспечения требует дополнительных «накладных расходов», связанных с созданием и применением специализированных средств поиска необходимых инструментов и организации их согласованной работы. Такой подход, в ряде случаев, будет более рациональным, чем использование интегрированных коммерческих продуктов. Говорить о перспективности этого подхода позволяет как развитие технологий распределенных вычислений, так и постоянное пополнение глобального информационного пространства свободно распространяемыми программными продуктами. Основными преимуществами этого подхода является более высокая, по сравнению с интегрированными решениями, адаптивность и априорная ориентация на параллельное использование доступных вычислительных ресурсов.

Представленный в данной статье вариант формального описания основных элементов распределенной системы, является основой для разработки алгоритмов и процедур автоматизированного формирования исполнительской среды, обеспечивающей реализацию всех этапов решения задач определения эффективных режимов разделения минеральных компонентов.

Литература

1. Бирюков, В.В. Применение системы Femlab для моделирования гидродинамики течений в обогатительных аппаратах / В.В. Бирюков, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России. – 2007. - № 3 (97). – С.30-32.
2. Кузьмин, И.А. Распределенная обработка информации в научных исследованиях / И.А. Кузьмин, В.А. Путилов, В.В. Фильчаков – Л. : Наука, 1991. – 304 с.
3. OpenFOAM® - The Open Source Computational Fluid Dynamics (CFD) Toolbox. – Режим доступа: <http://www.openfoam.com/>
4. Message Passing Interface (MPI) Forum Home Page. – Режим доступа: <http://www.mpi-forum.org/>
5. Анализ производительности 64- и 32-разрядных многопроцессорных вычислительных систем в программном комплексе вычислительной гидродинамики STAR-CD. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/cpu/star-cd-test.shtml>
6. DCOM and CORBA Side by Side, Step By Step, and Layer by Layer. – Режим доступа: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/ymwang/papers/html/dcomncorba/s.html>
7. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов и др. - М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
8. Олейник, А.Г. Синтез спецификаций исполнительных сред вычислительного эксперимента на основе концептуальной модели предметной области / А.Г. Олейник // Информационные технологии в региональном развитии: сб. науч. тр. – Апатиты, 2004. – Вып. IV. – С.12-16.

Сведения об авторах

Неведров Алексей Сергеевич

аспирант. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.
Россия, 184209, г. Апатиты, Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: nevedrov@arcticsu.ru

Alexey S. Nevedrov

post-graduate. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.
Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Олейник Андрей Григорьевич

д.т.н., зам. директора. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН,
Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А,
e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik

Dr. of Sci. (Tech.), Deputy director. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.
Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.94

А.В. Вицентий¹, Е.В. Харионовский²

ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА К ДАННЫМ В СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМАХ

Аннотация

В работе рассмотрены различные технологии передачи данных в среде современных SCADA-систем и проведен их сравнительный анализ с точки зрения применимости для передачи больших объемов данных. Отдельное внимание уделено возможностям импорта и экспорта данных из баз и хранилищ данных SCADA-систем.

Ключевые слова:

Scada-системы, базы данных, ODBC, OPC, туннелинг.

A.V. Vicentiy, E.V. Harionovskiy

DATA ACCESS TECHNOLOGIES IN MODERN SCADA

Abstract

In this paper various technologies of data transmission in the environment of modern SCADA-systems are considered and their comparative analysis from the point of view of applicability for transfer of great volumes of data is carried out. The separate attention is given possibilities of import and export of data from bases and storehouses of the given SCADA-systems.

Keywords:

SCADA, databases, ODBC, OPC, tunneling.

Введение

SCADA (от англ. Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных) - программный пакет предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. SCADA может являться частью АСУ ТП, АСКУЭ, системы экологического мониторинга, научного эксперимента, автоматизации здания и т.д. На сегодняшний день, различные SCADA-системы используются практически во всех отраслях промышленности, где требуется обеспечивать операторский контроль над технологическими процессами в реальном времени. Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и, для связи с объектом, использует драйверы ввода-вывода или OPC/DDE серверы. Программный код может быть написан как на языке программирования (например, на C++), так и сгенерирован в среде проектирования. Список наиболее популярных SCADA-систем в нашей стране приведен на рис. 1.

¹ ИИММ КНЦ РАН

² КФ ПетрГУ

SCADA-система	Фирма-изготовитель	Страна
Factory Link	United States-DATA-Co.	США
InTouch	Wonderware	США
Genesis	Iconics	США
RealFlex	BJ-Software-Systems	США
Sitex	Jade-Software	Англия
FIX	Intellution	США
Trace Mbed	AdAstra	Россия
IGSS	Seven-Technologies	Дания
Image	Технолинк	Россия
RSView	Rockwell-Software-Inc.	США

Рис.1. Scada-системы популярные в России

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих технологий передачи данных, обеспечивающих работу с оборудованием SCADA-системы вне зависимости от его производителя.

Организация системы сбора и обработки информации

К основным задачам, решаемым при помощи SCADA-систем, можно отнести:

- обмен данными с УСО (устройства связи с объектом, то есть с промышленными контроллерами и платами ввода/вывода) в реальном времени через специальные драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной для человека форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между компонентами SCADA-системы;
- обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.). В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню MES. [4,5].

Блок управления SCADA-системы собирает у себя все данные с устройств, управляющих инженерными системами, и сохраняет их в базе данных для последующего анализа. Оператор контролирует параметры систем, осуществляет управление инженерными системами.

Основным узлом информационной системы является база данных (БД). Поэтому внутренние системы сбора и обработки информации строятся с учетом

специфичных особенностей конкретных БД. Вследствие этого данный компонент часто считается больше внутренним, а не внешним по отношению к интеграционной платформе. Минус данного подхода заключается в том, что в большинстве подобных систем смена БД либо невозможна, либо является очень сложной операцией. На практике часто приходится сталкиваться с тем, что покупателя по разным причинам может не устраивать выбранная в SCADA-системе БД, и потому приобретение им данного продукта становится невозможным [4].

Например, в системе сбора и обработки информации (ССОИ) Securix в качестве БД выбран Firebird Database Server. Основной причиной такого выбора стало обеспечение выполнения требований к такого рода системам (например, в технические условия одной из инсталляций Securix входило хранение данных для охрано-пожарной сигнализации (ОПС) и *системы контроля и управления доступом* (СКУД) объекта общей площадью более 30000 м² с количеством хранимых учетных записей более 16000) при его бесплатности, что значительно снизило стоимость продукта в целом. При этом в Securix создан набор прокси-драйверов для работы с БД, стандартизирующих протокол взаимодействия с ней, что позволяет теоретически подключить к ССОИ любую известную БД. Важным аспектом в структурном построении сетевых систем управления является структура базы данных реального времени (централизованная или распределенная). Каждая из структур в SCADA-системах реализуется разными разработчиками по-разному. От реализации существенно зависят эффективность обеспечения единства и целостности базы данных, ее надежность, возможности модификации и т.д.

В одних случаях для доступа к данным на компьютере-клиенте создается своя копия базы данных, копируемая с удаленных серверов. Дублирование данных может привести к определенным проблемам с точки зрения целостности базы данных и производительности системы управления. При модификации базы данных с такой организацией, например, при введении дополнительной переменной потребуются изменения в каждой сетевой копии, использующей эту переменную [2].

В других случаях компьютерам-клиентам не требуются копии баз данных. Они получают необходимую им информацию по сети от сервера, в задачу которого входит поддержание базы данных. Серверов может быть несколько, и любая часть данных хранится только в одном месте, на одном сервере. Поэтому и модификация базы данных производится только на одном компьютере - сервере базы данных, что обеспечивает ее единство и целостность. Такой подход к структурному построению системы снижает нагрузку на сеть и дает еще целый ряд преимуществ.

Практически любая SCADA-система имеет в своем составе базу данных реального времени и подсистему архивирования данных. Но подсистема архивирования не предназначена для длительного хранения больших массивов информации (месяцы и годы). Информация в ней периодически обновляется, иначе для нее просто не хватит места. Информация, отражающая хозяйственную деятельность предприятия (данные для составления материальных балансов установок, производств, предприятия в целом и т. п.), хранится в реляционных базах данных (РБД) типа Oracle, Sybase и т.д. В эти базы данных информация поставляется либо с помощью ручного ввода, либо автоматизированным

способом (посредством SCADA-систем). Таким образом, выдвигается еще одно требование к программному обеспечению SCADA-систем - наличие в их составе протоколов обмена с типовыми базами данных.

Механизмы обмена данными с БД

На сегодняшний день наиболее широко применимы два механизма такого обмена: ODBC и SQL. ODBC (Open Data Base Connectivity - взаимодействие с открытыми базами данных) - международный стандарт, предполагающий обмен информацией с РБД посредством ODBC-драйверов. Как стандартный протокол компании Microsoft, ODBC поддерживается и наиболее распространенными приложениями Windows. С помощью ODBC прикладные программисты могут разрабатывать приложения для использования одного интерфейса доступа к данным, не беспокоясь о тонкостях взаимодействия с несколькими источниками. Это достигается благодаря тому, что поставщики различных баз данных создают драйверы, реализующие конкретное наполнение стандартных функций из ODBC API с учётом особенностей их продукта. Приложения используют эти функции, реализованные в соответствующем конкретному источнику данных драйвере, для унифицированного доступа к различным источникам данных. SQL (Structured Query Language) - язык структурированных запросов.

Программное обеспечение SCADA должно взаимодействовать с контроллерами для обеспечения человеко-машинного интерфейса и с системой управления. К контроллерам через модули ввода/вывода подключены датчики технологических параметров и исполнительные устройства. Информация с датчика записывается в регистр контроллера. Для ее передачи в базу данных SCADA-сервера необходима специальная программа, называемая драйвером. Драйвер, установленный на сервере, обеспечивает обмен данными с контроллером по некоторому физическому каналу. Но для реализации обмена необходим и логический протокол.

После приема SCADA-сервером, сигнал попадает в базу данных, где производится его обработка и хранение. Для отображения значения сигнала на мониторе рабочей станции оператора, информация с сервера должна быть передана по сети клиентскому компьютеру. И только после этого оператор получит информацию, отображенную изменением значения, цвета, размера, положения и т.п. соответствующего объекта операторского интерфейса.

Большое количество контроллеров с разными программно-аппаратными платформами и постоянное увеличение их числа заставило разработчиков включать в состав SCADA-системы большое количество готовых драйверов (до нескольких сотен) и инструментарий для разработки собственных драйверов к новым или нестандартным устройствам нижнего уровня. Для взаимодействия драйверов ввода/вывода и SCADA-системы до недавнего времени использовались два механизма:

- DDE (Dynamic Data Exchange - динамический обмен данными);
- обмен по собственным (известным только фирме-разработчику) протоколам.

Взамен DDE компания Microsoft предложила более эффективное и надежное средство передачи данных между процессами - OLE . А вскоре на базе OLE появился новый стандарт OPC, ориентированный на рынок промышленной

автоматизации. Новый стандарт, во-первых, позволяет объединять на уровне объектов различные системы управления и контроля; во-вторых, устраняет необходимость использования различного нестандартного оборудования и соответствующих коммуникационных программных драйверов. С точки зрения SCADA-систем, появление OPC-серверов означает разработку программных стандартов обмена с технологическими устройствами. OPC - интерфейс допускает различные варианты обмена: получение сырых данных с физических устройств, из распределенной системы управления или из любого приложения [3]. Схема взаимодействия приложений с помощью технологии OPC представлена на рис. 2.

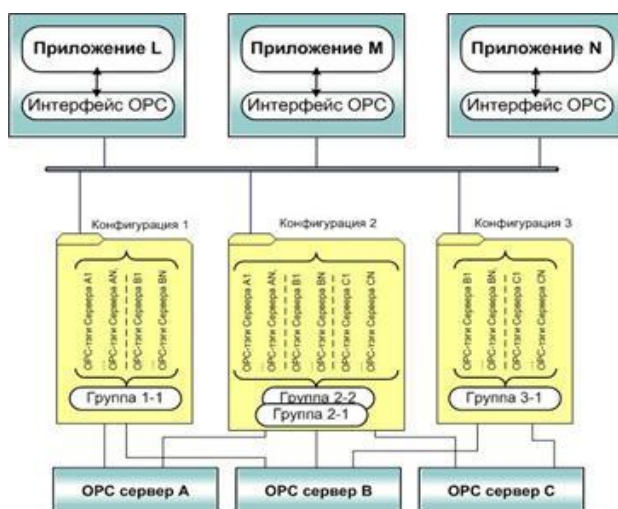


Рис.2. Иллюстрация технологии OPC

OPC – это аббревиатура от OLE for Process Control (OLE для управления процессами). Технология OPC основана на разработанной компанией Microsoft технологии OLE (Object Linking and Embedding - встраивание и связывание объектов). Под объектами здесь подразумеваются так называемые компоненты, которые представляют собой готовые к использованию мини-приложения. Встраивая и связывая эти компоненты, можно разрабатывать приложения компонентной архитектуры. Этот подход к разработке приложений, предложенный компанией Microsoft, получил название технологии COM (Component Object Model - модель компонентных объектов). Приложение-клиент может удаленно вызывать те или иные функции этих объектов так, как будто объекты находятся в адресном пространстве самого приложения.

Рассмотрим более подробно организацию обмена данными, используемую в SCADA-системе GENESIS32. Основным инструментом данной технологии является OPC-сервер. OPC-сервер отвечает за получение данных, запрошенных клиентом, от соответствующего устройства управления процессом. На каждом сервере имеется некоторое количество OPC-групп, которые объединяют наборы данных, запрос на получение которых поступил от клиента. Группы на сервере могут быть доступны нескольким клиентам одновременно или только одному клиенту. OPC-группа содержит набор OPC-элементов, в которых хранятся

данные, поступившие от соответствующего устройства управления процессами. Клиент может произвольно объединять элементы в группы. Этот процесс изображен на рис. 3.

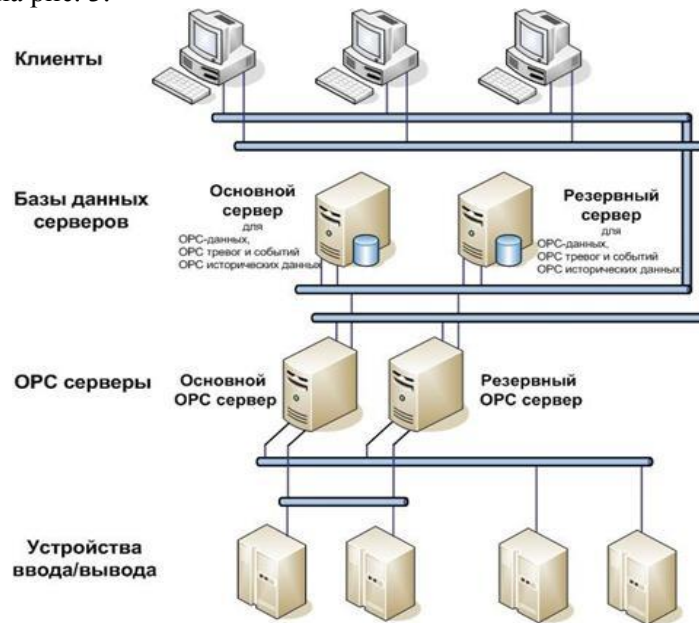


Рис.3. Структурная схема передачи и резервирования OPC-данных

В основе стандарта OPC лежит технология DCOM (Distributed Component Object Model). Но при передаче данных на большие расстояния, что необходимо для АСУ ТП, DCOM имеет серьезные недостатки. Один из главных недостатков - непригодность для работы в глобальной сети Интернет. Основная причина - это применение межсетевых экранов, или брандмауэров, которые защищают компьютер от несанкционированного доступа извне. Для решения этой проблемы можно использовать технологию туннелинга TCP, осуществляющего передачу данных через стандартный восьмидесятый порт брандмауэра. Этот порт обычно используется для передачи данных по http-протоколу (протоколу передачи гипертекста), и поэтому он, как правило, открыт. Но для осуществления туннелинга и передачи данных требуется установка специального программного обеспечения, входящего в Windows, COM Internet Services и IIS Web-сервер (Internet Information Server). Успешный доступ через DCOM происходит в случае, когда компьютеры находятся в одном домене или в одной рабочей группе. Это указывает на возможность использования туннелинга TCP в пределах одного домена с соответствующим образом настроенными брандмауэрами. Кроме проблем, связанных с передачей данных, существуют проблемы с аутентификацией клиента [6].

Учитывая данные сложности, был разработан универсальный OPC-сервер (OPC UA) для систем HMI/SCADA. Технология OPC UA позволяет обеспечить надежную связь клиентов, доступ к серверам данных через локальные вычислительные сети и интернет, защищенное использование Web-служб.

Компания Iconics - лидер в области приложений, базирующихся на OPC-технологии - в новой версии SCADA-системы GENESIS32 V9 использует

встроенную поддержку технологии OPC UA и туннелинг OPC-данных (компонент DataWorX32). Архитектура туннелинга с применением DataWorX32 представлена на рис. 4.

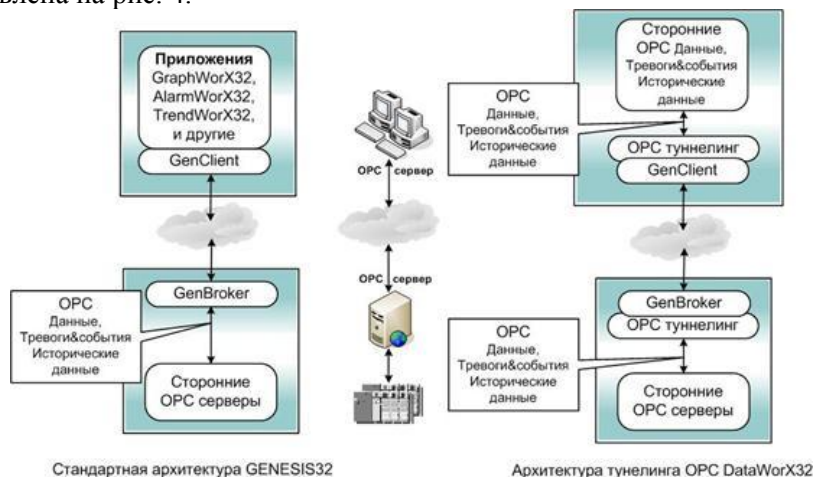


Рис.4. DataWorX32 OPC архитектура туннелинга

Все OPC-совместимые приложения-клиенты могут обмениваться данными с локальными устройствами или по сети. Кроме того, обмен может осуществляться более чем с одним сервером OPC одновременно.

Любое приложение-клиент OPC может обмениваться данными с любым OPC-сервером данных (OPC DA), OPC-сервером тревог и событий, и OPC-сервером исторических данных (HDA). [1]

DataWorX32 в пакете GENESIS32 V9 представлен в трех модификациях: профессиональной, стандартной и облегченной. DataWorX32 содержит большое количество принципиально новых возможностей:

- полное резервирование OPC-данных, OPC тревог и событий и OPC исторических данных;
- туннелинг для любых сторонних OPC-серверов и OPC-клиентов;
- утилиту MonitorWorX, обеспечивающую централизованную диагностику системы и отображающую ее производительность;
- интеграцию туннелинга в универсальном навигаторе данных;
- группировку OPC-тегов и построение мостов данных.

Технология туннелинга OPC включена во все версии DataWorX32 V9 и позволяет связывать удаленный OPC-сервер с локальными клиентами устойчивым и безопасным способом. Туннелинг OPC основан на мощной коммуникационной платформе GenBroker, которая обеспечивает высокоэффективную и устойчивую связь, заменяя протокол DCOM от Microsoft. Туннелинг OPC в DataWorX32 V9 полностью совместим с OPC-стандартом, не нарушает систему сетевой защиты IT, поддерживает связь по LAN, WAN и Интернет со всеми атрибутами встроенной безопасности. Также полностью поддерживает открытые стандарты промышленности и протоколы: OPC доступа к данным (OPC Data Access DA 3.0); OPC тревог и событий (OPC Alarm and Event); OPC доступа к историческим данным (OPC Historical Data Access); OPC единой архитектуры (UA); протоколов связи TCP/IP и XML.

Заключение

Использование технологии OPC позволяет разработчику SCADA-системы свободно выбирать оборудование независимо от того, кто его производит, что существенно расширяет возможности ее применения, так как позволяет любому OPC-совместимому клиентскому приложению получать доступ к любому устройству управления, у которого есть OPC-совместимый сервер.

Другим важным преимуществом технологии OPC является то, что при ее использовании снижаются риски и стоимость реализации проектов АСУ ТП, так как OPC-совместимые компоненты работают на единой технологической основе.

Литература

1. SCADA-система GENESIS32 в сквозной автоматизации производства. – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/2/243/>
2. SCADA-системы: взгляд изнутри. – Режим доступа: <http://www.scada.ru/publication/book/preface.html>.
3. ТРЕЙС МОУД - интегрированная SCADA и softlogic-система для разработки АСУТП. - Режим доступа: <http://adastra.ru/ru/tm/tm5/>.
4. Эволюция SCADA: от телеметрических приложений до корпоративных систем. - Режим доступа: <http://goods.marketgid.com/goods/271/1643045/>
5. Меньков, А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. - М.: Оникс, 2005. - 640 с.
6. Втюрин, В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП / В.А. Втюрин. - СПб.: СГЛА им. С.М. Кирова, 2006. – 152 с.

Сведения об авторах

Вицентий Александр Владимирович

к.т.н, научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: alx_2003@mail.ru

Alexander V. Vicentiy

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Харионовский Евгений Вячеславович

студент. Кольский филиал Петрозаводского государственного университета.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Космонавтов, д. 3.

e-mail: vyperdota@rambler.ru

Evgeniy V. Harionovskiy

student. Kola Branch Petrozavodsk State University.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Kosmonavtov St. 3.

УДК 004.942

А.Г. Олейник, Л.П. Ковалева

СХЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

Аннотация

В работе предлагается вариант решения задачи оперативного прогнозирования результатов производственного процесса обогащения руд. Решение основано на кластеризации пространств входов и выходов процесса с использованием имеющихся данных оперативного мониторинга.

Ключевые слова:

моделирование, система оперативного управления, процесс обогащения руд.

A.G. Oleynik, L.P. Kovaleva

The on-line forecasting scheme for industrial ore-dressing process

Abstract

The candidate solution for task of industrial ore-dressing process on-line forecasting is proposed in the article. The solution based on input and output spaces clustering by using available data of on-line monitoring.

Keywords:

simulation, dispatcher system, ore-dressing process.

Введение

Добыча и переработка минеральных полезных ископаемых является ключевой отраслью экономики Кольского полуострова [1, 2]. Характерной особенностью большинства расположенных здесь рудных месторождений является их комплексность [5]. Важнейшей задачей обогатительного производства является обеспечение максимальной эффективности извлечения полезных компонентов, снижение отходов и потерь [3, 6].

Совершенствование способов комплексной переработки минерального сырья Кольского полуострова является одной из основных направлений исследований нескольких институтов Кольского научного центра РАН. Решение этой задачи требует рассмотрения целого комплекса фундаментальных и прикладных вопросов, которые включают: исследования научных основ процессов обогащения руд, разработку и модернизацию средств аппаратно-программного контроля производственных процессов, а также создание новых аппаратов и разработку современных программных систем организации и оперативного управления производственными процессами переработки минерального сырья.

Для исследования процессов обогащения минерального сырья широко применяются математические модели, описывающие физические процессы и явления, приводящие к разделению минеральных компонентов в разделительных аппаратах. Эти модели, как правило, представляют собой сложные дифференциальные уравнения в частных производных с граничными

условиями (например, краевые задачи для усредненного по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса в аэродинамике). Для таких уравнений зачастую неизвестны ни теоремы о существовании и единственности решения, ни характер зависимости решения от параметров и граничных условий. Программные пакеты, ориентированные на построение и анализ таких моделей [11], реализуют различные численные методы решения соответствующих уравнений (например, методы вычислительной аэрогидродинамики - Computational Fluid Dynamics, CFD) [12].

Вместе с этим, результаты мониторинга параметров производственных процессов обогащения, реализуемого средствами SCADA- систем, обеспечивают информационный базис для создания имитационных моделей этих процессов на основе принципа «черного ящика», а не на основе математического описания «физики» разделения. Учитывая достаточно высокую трудоемкость численного решения «физических» моделей, авторы считают, что модели типа «черного ящика» могут оказаться более подходящими для решения задач оперативного прогнозирования хода производственных процессов.

Типовая структура SCADA

Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента [7] (рис.1).

Remote Terminal Unit (RTU) удаленный терминал, осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени. Спектр его воплощений широк от примитивных датчиков, осуществляющих съем информации с объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени.

Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS) диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме мягкого (квази-) реального времени. Одна из основных функций этого модуля - обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой (MMI - man-machine interface). В зависимости от конкретной системы MTU может быть реализован в самом разнообразном виде - от одиночного компьютера с дополнительными устройствами подключения к каналам связи, до больших вычислительных систем (мэйнфреймов) и/или объединенных в локальную сеть рабочих станций и серверов. Как правило, и при построении MTU используются различные методы повышения надежности и безопасности работы системы.

Communication System (CS) коммуникационная система (каналы связи), необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU. В ходе производственных процессов обогащения с помощью программно-аппаратных средств SCADA-систем в режиме реального времени отслеживается большое количество параметров процесса. Например, на обогатительных производствах ОАО «Апатит» внедрена SCADA-система контроля и сбора данных iFix. Благодаря ее возможностям, оператор контролирует изменения параметров производственного процесса в реальном

времени и следит за возможными отклонениями их значений от заданного регламента. Таким образом, на мониторе автоматизированного рабочего места оператора осуществляется визуализация параметров технологического процесса и оборудования с помощью мнемосхем, графиков, таблиц и т.д., а также отображения параметров состояния датчиков и устройств через регулярные промежутки времени (рис. 2). Если происходят какие-либо сбои в ходе производственного процесса, система сообщает о неисправности оператору, который должен предпринять некоторые действия по исправлению возникшей проблемной ситуации.

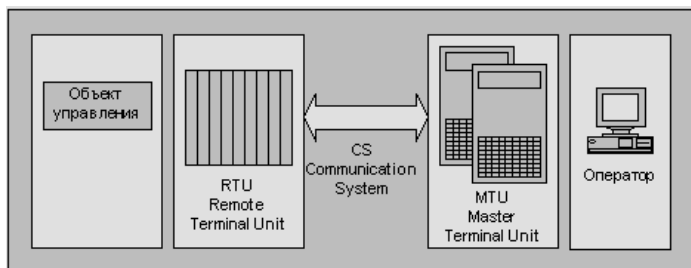


Рис.1. Основные структурные компоненты SCADA-системы

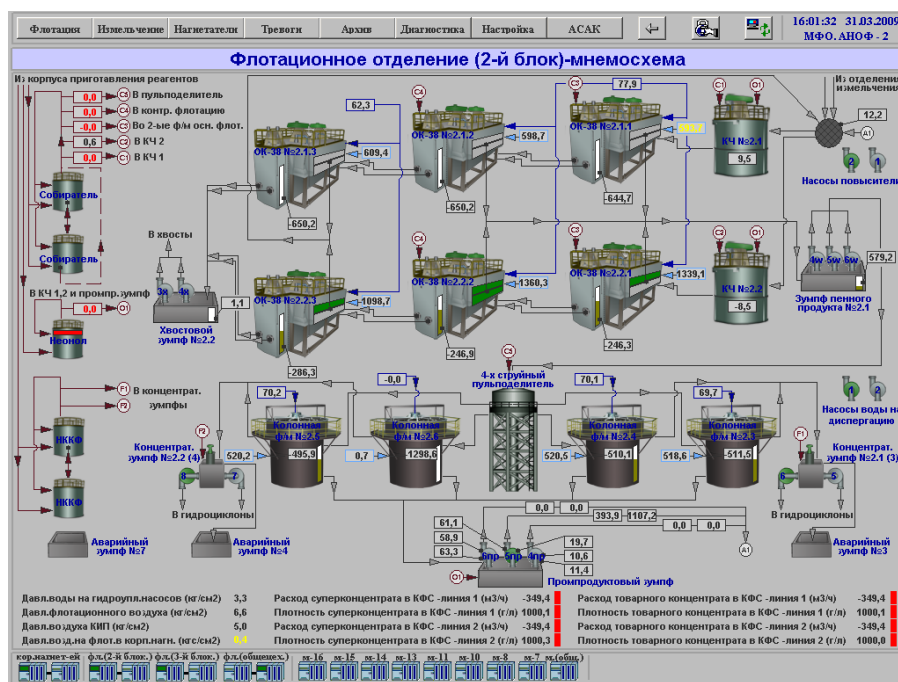


Рис.2. Экранная форма диспетчерского монитора

Одной из основных функций человека-оператора в системе диспетчерского управления является обучение (программирование) компьютерной системы на последующие действия [7]. Известно, что современные SCADA-системы [8, 9] (в том числе система iFix) обладают

возможностью дополнения функциями собственной разработки, что позволяет создать систему, полностью отвечающую всем требованиям и целям конкретного производства. Для уменьшения отрицательных последствий колебаний характеристик исходного сырья и параметров оборудования на качество продуктов обогащения необходимо внедрение в систему управления производственным процессом наряду со стандартными для SCADA функциями мониторинга и функции оперативного прогнозирования хода процесса. Реализация прогнозирования требует создания и интеграции в SCADA «быстродействующих» средств моделирования производственного процесса и возможных последствий управляющих воздействий [4].

Проблемы моделирования производственных процессов обогащения

Имеющийся опыт в области моделирования процессов обогащения позволяет утверждать, что для обеспечения адекватности моделей задачам управления производственными процессами необходимо, чтобы модели учитывали не только те параметры производственного процесса, значимость которых выведена и подтверждена теоретически, но и те параметры, влияние которых на производственный процесс неочевидно и не определено теоретическими исследованиями. Такие «неизвестные» параметры могут вызывать непредсказуемые отклонения производственного процесса от предсказанной теоретически линии и влиять на качество конечного продукта.

Стоит отметить, что «непредвиденное» влияние может оказать не только отдельный параметр, который не учитывается в теоретической модели, но и некоторая комбинация (группа) параметров (в том числе – и учитываемых в теоретической модели), которая при определённых значениях компонентов может вызывать возмущения в производственном процессе. В связи с этим, задачу построения модели, описывающей реальный производственный процесс обогащения, можно разделить на две подзадачи:

- анализ параметров производственного процесса и выявление неочевидных связей между ними, влияющих на ход процесса и характеристики продуктов разделения;
- анализ связей между объектами (параметрами) и событиями (отклонениями производственного процесса) с целью выявления причинно-следственных связей.

Формализованное представление процесса обогащения

Имеющийся опыт в области моделирования процессов обогащения позволяет утверждать, что для обеспечения адекватности моделей задачам управления производственными процессами необходимо, чтобы модели учитывали не только те параметры производственного процесса, значимость которых выведена и подтверждена теоретически, но и те параметры, влияние которых на производственный процесс неочевидно и не определено теоретическими исследованиями.

Процесс обогащения минеральных руд состоит, как правило, из многих этапов и происходит с применением сложного оборудования. Количество фактически наблюдаемых параметров производственного процесса довольно велико – порядка нескольких тысяч. В связи с этим, для анализа параметров

производственного процесса с целью выявления «скрытых» закономерностей и связей, которые могут влиять на ход процесса, перспективным представляется применение методов Data Mining, ориентированных на решение задачи кластеризации.

Для формального описания задачи введем следующие обозначения:

Отдельный передел P_i (подпроцесс) в рамках сложного обогатительного процесса PG определим как $P_i(X_i, \Delta t_i) \rightarrow Y_i$,

где X_i –пространство «входов» процесса, которое определяется множеством наблюдаемых параметров на входе передела, характеризующих подаваемое на передел сырье и начальные параметры оборудования, реализующего передел;

Δt_i – условное время реализации передела, которое определяется, как время нахождения преобразуемого продукта в границах данного передела, а $[t_{i0}, t_{if}]$ – временной интервал протекания процесса P_i от момента его начала t_{i0} до момента окончания t_{if} ($\Delta t_i = t_{if} - t_{i0}$);

Y_i – пространство «выходов» передела, которое определяется возможными значениями целевых характеристик продуктов передела и параметров оборудования.

Необходимо отметить, что большинство переделов в производственных обогатительных процессах являются непрерывными. Именно поэтому время передела Δt_i будет условным. Оно вводится с целью дискретизации процесса и упрощения учета временных задержек при анализе взаимного влияния параметров сложного процесса.

Сложный (составной) производственный процесс обогащения $PG(X, \Delta tG) \rightarrow Y$, представляет собой последовательно-параллельное выполнение определенного комплекса переделов P_i ($PG = \bigcup_{i=1}^N P_i$), каждый из которых выполняется в рамках временного интервала $[tG0, tGf]$, где $tG0$ – момент начала, tGf – момент окончания PG , а $\Delta tG = tGf - tG0$.

Общие пространства входов X и выходов Y сложного процесса PG , как правило, пересекаются ($X \cap Y \neq \emptyset$). Это обусловлено тем, что выходные характеристики некоторых промежуточных переделов (подпроцессов) являются входными для последующих переделов. Пространство «строгих» входов для PG представляет собой подмножество XG множества X , содержащее только параметры и характеристики, определяемые внешними по отношению к PG факторами. Подмножество «строгих» выходов YG образуют элементы множества Y , не подвергаемые, какой либо трансформации в рамках PG (рис. 3).

При рассмотрении конкретной ситуации во времени пространства входов и выходов необходимо четко разделить. Для решения этой задачи используется дискретизация процессов по времени. Дискретизация позволяет ввести условия распределения подпроцессов во времени и формально представить наличие в сложном процессе задержек материальных потоков и циркулирующих нагрузок. В работе [10] предложен вариант концептуальной классификации процессов обогащения, который позволяет определить формальные правила трансформации друг в друга элементов множеств X и Y в рамках сложного производственного процесса.

Построение формализованного описания сложного производственного процесса обогащения даст возможность разработки алгоритмов формирования

целевых выборок из базы данных мониторинга, автоматизированного анализа и прогнозирования хода реализации этого процесса.

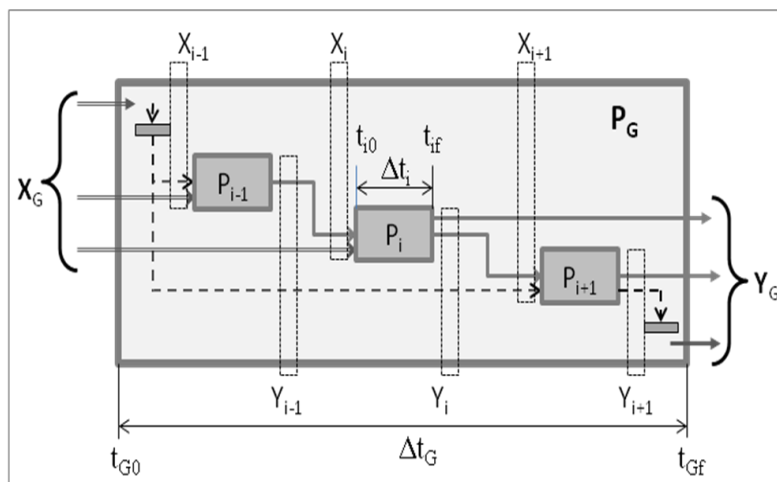


Рис.3. Схема формальных обозначений характеристик сложного процесса обогащения

Схема технологии прогнозирования процесса обогащения

Рассмотрим схему разрабатываемой технологии оперативного управления сложным процессом обогащения минерального сырья с применением прогнозного моделирования хода процесса. Как было указано выше, предлагаемая технология основана на использовании данных мониторинга производственного процесса, полученных за длительный период времени средствами SCADA-системы.

Подготовительный этап технологии предполагает проведение анализа ретроспективных данных мониторинга. В результате анализа должны быть определены многомерные пространства входов X и выходов Y исследуемого процесса, проведена их классификация (кластеризация) и разработаны модели, описывающие отображения областей пространства X в области пространства Y .

Состав X и Y достаточно просто определяется на основе структуры базы данных мониторинга. Количество контролируемых SCADA-системой параметров и характеристик производственного процесса довольно велико. Вполне вероятно, что не все из них необходимо принимать во внимание при оперативном управлении производственным процессом. Обосновать возможность исключения некоторых параметров из рассмотрения можно на основе экспертных рекомендаций, получивших подтверждение в результате формального анализа данных.

В результате классификации пространств X и Y необходимо выделить в них области, соответствующие определенным состояниям процесса. Первичной является классификация пространства выходов Y , так как результативность процесса определяется значениями именно его компонентов. В этом пространстве необходимо определить область «желаемых» исходов Y^+ , которую образуют значения элементов Y , соответствующие регламентным значениям,

как характеристик продуктов разделения, так и параметров процесса. Если текущая реализация процесса обеспечивает нахождение выходов в этой области, то параметры процесса не требуют какой-либо корректировки. В случае отклонения одного или нескольких элементов пространства Y от регламентных требуется корректировка параметров процесса. Для этого, в первую очередь, необходимо определить причины возникающего отклонения, а затем механизмы воздействия, обеспечивающие возвращение его выходных характеристик в область желаемых исходов.

Структура базы данных мониторинга позволяет определить для каждой представленной в базе «точки» Y_i пространства Y соответствующую ей «точку» X_i пространства X (рис. 4). С практической точки зрения это означает, что по данным мониторинга всегда можно определить при каких условиях был получен тот или иной результат.

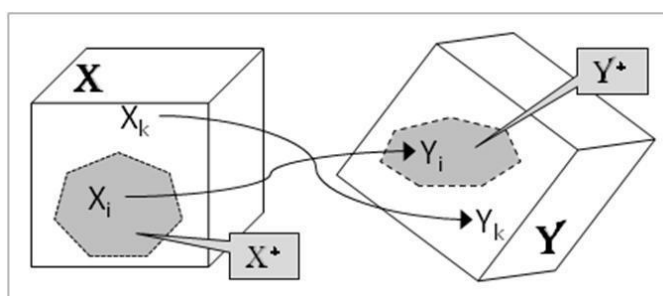


Рис.4. Условная схема отображения пространства входов в пространство выходов

Высокая размерность пространств X и Y существенно осложняет явное определение функции отображения $\varphi(X_i) \rightarrow Y_i$. Но наличие больших объемов данных мониторинга дает возможность выявления закономерностей этого отображения с высокой долей достоверности. В результате анализа данных мониторинга необходимо определить подпространство X^+ пространства X , обеспечивающее «попадание» выходов в область желаемых исходов Y^+ пространства Y , а также области, которым соответствуют выходы вне области желаемых исходов пространства Y (рис. 3).

Прогнозирование исхода текущего состояния производственного процесса заключается в определении положения характеризующей его точки X_i в пространстве X . Если текущее состояние X_i не попадает в подпространство X^+ и, следовательно, не обеспечивает получение желаемого исхода Y_i ($Y_i \in Y^+$), то необходимо определить и реализовать корректирующее воздействие на процесс.

С формальной точки зрения это означает, что необходимо определить наиболее рациональный механизм смещения точки X_i в область X^+ за счет изменения одной или нескольких ее координат. При поиске вариантов решения необходимо учитывать, что непосредственно изменять можно только некоторые компоненты пространства X , которые относятся к категории «управляющих» согласно классификации, предложенной в работе [4]. Тем не менее, высокая размерность пространства X предопределяет наличие разных траекторий смещения. Выбор рационального варианта, в общем случае, многокритериальный. Достаточно очевидным формальным критерием будет

являться «длина» траектории смещения точки X_i в область X^+ . Однако, кратчайшая траектория не всегда эффективна или даже реализуема на практике. Это может быть обусловлено различными факторами: технологическими, экономическими, экологическими и т.д. Поэтому процедура выбора рационального варианта может оказаться достаточно сложной с вычислительной точки зрения и ее реализация требует создания соответствующего информационно-аналитического обеспечения, основанного на моделировании управляющих воздействий.

Заключение

Представленный в работе вариант решения задачи оперативного прогнозирования хода производственных процессов обогащения руд основан на использовании информационного потенциала, обеспеченного широким применением автоматизированных систем мониторинга. Он дает возможность оперативно оценить необходимость внесения корректив в протекание производственного процесса в случае возникновения угрозы входа характеристик продуктов разделения или параметров процесса за регламентные значения. В сочетании с «быстрыми» средствами моделирования вариантов управляющих воздействий, предлагаемое решение может обеспечить практическую реализацию информационной технологии оперативного управления обогащательными процессами, удовлетворяющей требованиям «реального времени», отводимого на выработку решения и инициализацию необходимых воздействий.

Литература

1. Базанова, Н.М. Опробование и контроль процессов обогащения: учеб. пособие для техникумов / Н.М. Базанова, А.В. Курочкина. - М.: Недра, 1983. - 103 с.
2. Голованов, Г.А. Флотация Кольских апатит-содержащих руд / Г.А. Голованов. - М.: Химия, 1976. - 216 с.
3. Олейник, А.Г. Проблемы практического использования средств информационной поддержки в управлении производственными процессами обогащения минеральных полезных ископаемых / А.Г. Олейник, Л.П. Попова, В.Ф. Скороходов // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2008. - Вып. VIII. - С.90-97.
4. Попова, Л.П. Механизм целевого доступа к данным мониторинга процессов обогащения на основе текстовых фильтров / Л.П. Попова, А.Г. Олейник // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты, 2009. - Вып. IX. - С.108-111.
5. Калинин, В.Т. Комплексная переработка апатитнефелиновых руд: состояния и перспективы / В.Т. Калинин, А.В. Григорьев // Комплексная переработка хибинских апатито-нефелиновых руд. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999.- 173 с.
6. Воскобойников, Н.Б. Проблемы комплексного использования природных ресурсов Кольского полуострова / Н.Б. Воскобойников, Г.С. Скиба, В.И. Захаров /Тез. докл. конф.- Апатиты. -1989. - С.17.

7. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы).
Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=41524>.
8. SCADA. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA>
9. Болонкин, А.В. Сравнительный анализ отечественных SCADA-систем. –
Режим доступа: <http://lab18.ipu.rssi.ru/>
10. Гершенкоп, А.Ш. Концептуальное моделирование процессов обогащения
минерального сырья / А.Ш. Гершенкоп, А.Г. Олейник, А.Я. Фридман //
Теоретические и прикладные модели информатизации региона. – Апатиты,
2000. – С.89-93.
11. Неведров, А.С. Об инструментальных средствах определения эффективных
режимов обогащения минеральных руд / А.С. Неведров, А.Г. Олейник //
Информационные ресурсы России. - 2011. - №5 (123). - С.35-38.
12. Скороходов, В.Ф. Создание эффективных технологий и техники обогащения
минерального сырья с применением методов вычислительной гидродинамики
/ В.Ф. Скороходов, М.С. Хогуля, В.В. Бирюков // Горный журнал. - 2010.
- № 12. - С.79-84.

Сведения об авторах

Олейник Андрей Григорьевич

д.т.н., зам. директора. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: oleynik@iimm.kolasc.net.ru

Andrey G. Oleynik

Dr. of Sci (Tech.), Deputy director. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Ковалёва Любовь Петровна

инженер. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: poroval@arcticsu.ru

Liubov P. Kovaleva

engineer. Institution of Russian Academy of Sciences. Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 681.5

И.Н. Морозов¹, А.Е. Пророков², И.Е. Кириллов¹

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ НЕЧЕТКО ВЫРАЖЕННОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация

Изложена методика оценки текущего состояния технологического процесса с использованием математических приемов теории нечетких множеств. Данная методика позволяет учитывать нечетко определенные параметры технологических объектов, которые оказывают значительное влияние на ведение любого технологического процесса, для формирования более эффективного управления.

Ключевые слова:

формирование управления, оценка состояния.

I.N. Morozov, A.E. Prorokov, I.E. Kirillov

ALGORITHM OF THE ESTIMATION OF THE CURRENT CONDITION OF TECHNOLOGICAL PROCESS AT INDISTINCTLY EXPRESSED INITIAL INFORMATION

Abstract

The technique of an estimation of a current condition of technological process with use of mathematical receptions of the theory of indistinct sets is stated. The given technique allows to consider indistinctly certain parameters of technological objects which make considerable impact on conducting any technological process, for formation more efficient control.

Keywords:

management formation, condition estimation.

Введение

Существенной особенностью большого класса современных технологических процессов является наличие неопределенности параметров их функционирования, которая объясняется отсутствием или неполнотой знаний о физико-химических параметрах процесса, широким спектром различных возмущающих и управляющих воздействий, присутствующих в реальных производственных системах и сложным характером их влияния [1]. Для эффективного функционирования систем управления такими технологическими процессами необходимо разрабатывать методы и алгоритмы оценки состояний процесса, а также методы и алгоритмы принятия решений в целях обеспечения безопасной работы промышленных систем в различных производственно-технологических ситуациях [2]. Для решения поставленной задачи предлагается использовать математические приемы теории нечетких множеств. В данной статье предложен алгоритм работы систем управления по определению

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

состояний технологического процесса в условиях нечеткой исходной информации.

Алгоритм оценки текущей нечеткой ситуации

Алгоритм оценки текущей нечеткой ситуации (рис.) начинается с ввода значений технологических параметров p_i . Для дальнейшей фазификации каждого из параметров производится обращение к базе знаний, сформированной в результате опроса опытных технологов-экспертов, а также на основании результатов, проводимых научно-исследовательских работ.

База знаний включает в себя следующие сведения:

- область определения каждого из контролируемых технологических параметров D_{p_i} ;

- количество терм-множеств для каждой нечеткой переменной $T_i^1, T_i^2, \dots, T_i^{n_i}$ (где n_i – количество терм-множеств i -ого параметра);

- диапазон изменения технологического параметра для каждого терм-множества T_i^l (l – индекс терм-множества) соответствующей i -ой нечеткой переменной – $[inf \Phi_i^l, sup \Phi_i^l]$;

- вид и параметры функции принадлежности каждого терм-множества (определяется экспертной оценкой).

Функции принадлежности j -ому терм-множеству i -ой входной нечеткой переменной в данной работе имеют сигмоидный вид:

$$\mu_{ij}(\Phi_i) = \frac{1}{1 + \exp(c_{ij}(\Phi_i - d_{ij}^1))} \quad \text{при } p_i \geq a_{ij}$$

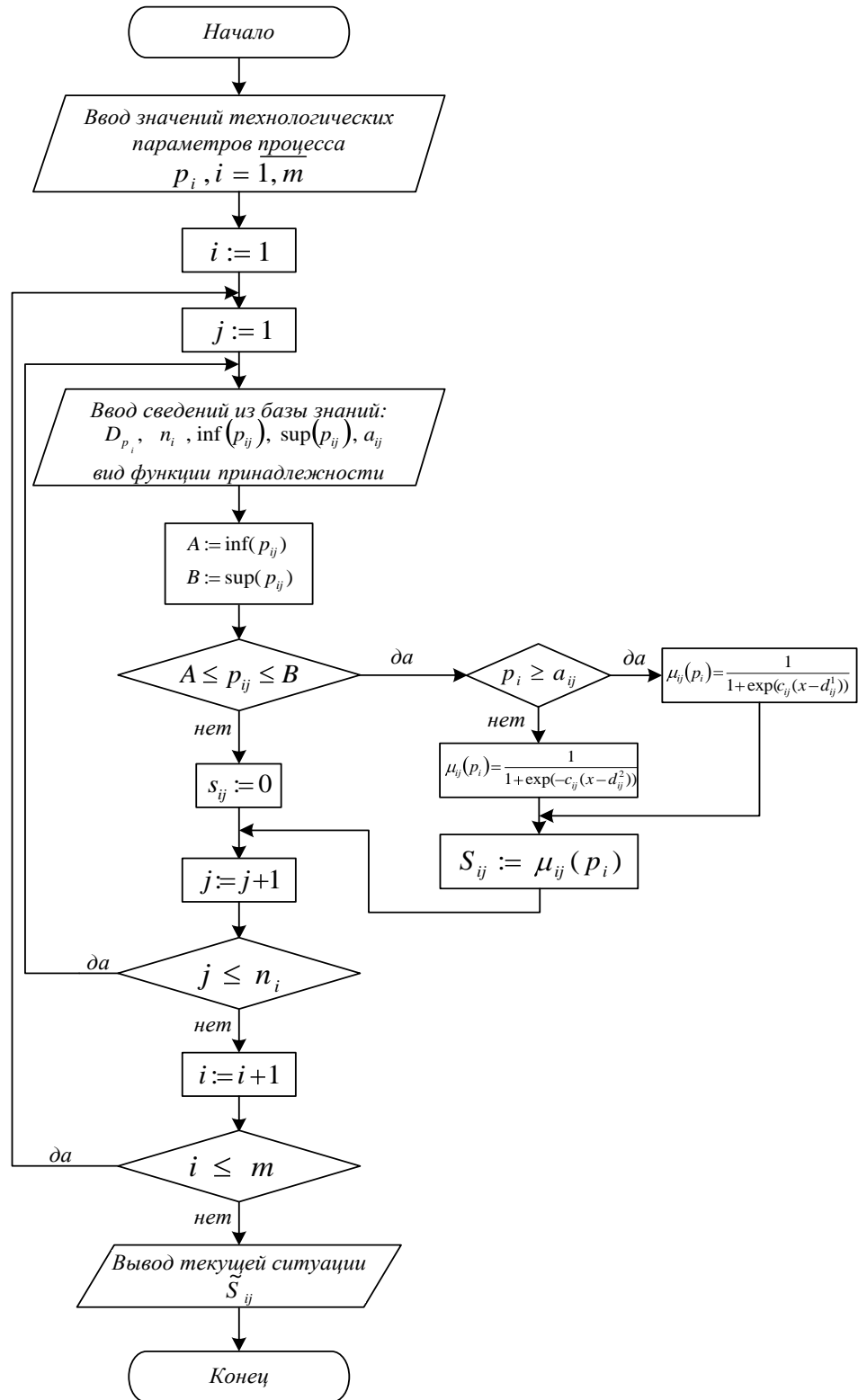
$$\mu_{ij}(\Phi_i) = \frac{1}{1 + \exp(c_{ij}(\Phi_i - d_{ij}^2))} \quad \text{при } p_i \leq a_{ij}$$
(1)

где a_{ij} – мода нечеткого числа $\mu_{ij}(\Phi_i) = 1$;

$c_{ij}, d_{ij}^1, d_{ij}^2$ – параметры функции принадлежности.

Следующим шагом алгоритма оценки текущей ситуации процесса является определение принадлежности входного технологического параметра соответствующему терм-множеству T_i^l , т.е. диапазону какого терм-множества $[inf \Phi_i^l, sup \Phi_i^l]$ принадлежит значение текущего параметра p_i .

Далее определяется положение технологического параметра на интервале $[inf \Phi_i^l, sup \Phi_i^l]$ относительно моды нечеткого числа $a_{ij}(\mu_{ij}(\Phi_i) = 1)$ и в соответствии с (1) определяется степень принадлежности входного технологического параметра соответствующему терму. После выполнения данных операций производится соответствующая запись $\mu_{ij}(\Phi_i)$ в нечеткой ситуации.



Алгоритм оценки текущей нечеткой ситуации

Далее производится обращение к базе знаний, в которой хранятся всевозможные ситуации технологического процесса. Такие ситуации называются эталонными (табл.)

Форма записи эталонных (типовых) ситуаций функционирования технологического управления в базе знаний

№ эт. сит.	Параметр 1			...				Параметр i	
	T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	...	T_k	T_1	T_2
1	$\mu_{11}(p_1)$	$\mu_{12}(p_1)$	$\mu_{13}(p_1)$	$\mu_{11}(p_2)$	$\mu_{12}(p_2)$	...	$\mu_{1k}(p_2)$	$\mu_{11}(p_i)$	$\mu_{12}(p_i)$
2	$\mu_{21}(p_1)$	$\mu_{22}(p_1)$	$\mu_{23}(p_1)$	$\mu_{21}(p_2)$	$\mu_{22}(p_2)$	...	$\mu_{2k}(p_2)$	$\mu_{21}(p_i)$	$\mu_{22}(p_i)$
...
n	$\mu_{n1}(p_1)$	$\mu_{n2}(p_1)$	$\mu_{n3}(p_1)$	$\mu_{n1}(p_2)$	$\mu_{n2}(p_2)$	...	$\mu_{nk}(p_2)$	$\mu_{n1}(p_i)$	$\mu_{n2}(p_i)$

После чего рассчитывается степень включения текущей ситуации в эталонные (2) и эталонных ситуаций в текущую ситуацию (3) для того, чтобы найти степени нечеткого равенства текущей ситуации с эталонными (4).

$$v_{S_{ij}, S_t} = \bigwedge v_{\mu_{ij}^t, \mu_{ij}^t} \quad (2)$$

$$v_{S_t, S_{ij}} = \bigwedge v_{\mu_{ij}^t, \mu_{ij}^t} \quad (3)$$

$$\mu_{S_{ij}, S_t} = v_{S_{ij}, S_t} \wedge v_{S_t, S_{ij}} \quad (4)$$

Необходимо учитывать, что ситуации S_{ij}, S_t нечетко равны, если $\mu_{S_{ij}, S_t} \geq t$, где $t \in [0; 1]$ - некоторый порог нечеткого равенства ситуаций, определяемого условиями управления. Порог нечеткого равенства делается «плавающим». Фиксация порога в некоторой точке интервала $[0; 1]$ зависит от особенностей объекта управления, требований к качеству управляющих решений и т.д.

После определения нечеткого равенства текущей ситуации ведения технологического процесса с эталонной ситуацией производится выбор эталонной ситуации, которая и характеризует состояние функционирования технологического процесса.

Заключение

Полученная методика определения состояния любого технологического процесса позволит построить высокоэффективное управление, повысить безопасность ведения технологического производства и снизить риски, связанные с ведением данного производства. Разработанный алгоритм дает возможность провести оценку параметров технологического процесса, значения которых не удастся оценить аппаратными средствами, с применением математических методов теории нечетких множеств.

Литература

1. Богатиков, В.Н. Диагностика состояний и управление технологической безопасностью непрерывных химико-технологических процессов на основе дискретных моделей: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06 / Богатиков Валерий Николаевич. – Апатиты, 2002. – 352с.
2. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1971. - 496 с.

Сведения об авторах

Морозов Иван Николаевич

к.т.н., младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева»,

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульская область, ул. Дружбы, д. 8,

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University).

Кириллов Иван Евгеньевич

к.т.н., младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: kirillov@rambler.ru

Ivan E. Kirillov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 681.5

И.Н. Морозов¹, А.Е. Пророков², В.Н. Богатиков¹

МОДЕРНИЗАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УЗЛА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ АГРЕГАТА ПРОИЗВОДСТВА НЕКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Аннотация

Описаны предложения по модернизации существующей системы регулирования узла каталитической очистки газов. Данная модернизация позволяет учитывать нечетко определенные управляющие параметры, которые оказывают взаимное влияние друг на друга, путем внедрения в качестве регулятора регулятор, построенный на аппарате нечеткой логики.

Ключевые слова:

система управления, нечеткая логика, математическое моделирование.

I.N. Morozov, A.E. Prorokov, V.N. Bogatkov

MODERNIZATION AND MATHEMATICAL MODELLING OF SYSTEM OF REGULATION OF KNOT OF CATALYTIC CLEARING OF GASES OF THE UNIT OF MANUFACTURE OF NOT CONCENTRATED NITRIC ACID

Abstract

Offers on modernization of existing system of regulation of knot of catalytic clearing of gases are described. The given modernization allows to consider indistinctly certain operating parameters which make mutual impact against each other, by introduction as a regulator a regulator constructed on the device of the fuzzy logic.

Keywords:

control system, the fuzzy logic, mathematical modeling.

Введение

Для эффективного функционирования систем управления сложными технологическими процессами необходимо разрабатывать математические модели в целях обеспечения безопасной работы промышленных систем в различных производственно-технологических ситуациях. Наиболее подходящим математическим аппаратом, позволяющим решать задачи моделирования и управления такого рода объектов, является аппарат нечетких множеств.

Данная статья освещает подход к модернизации и математическому моделированию системы регулирования узла каталитической очистки газов.

Модель существующей системы регулирования

С точки зрения задачи управления в узле каталитической очистки газов имеются две регулируемые переменные: температура на выходе из реактора каталитической очистки ($T_{\text{ВЫХ}}$); температура газа на входе в реактор каталитической очистки ($T_{\text{ВХ}}$).

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

Управляющими факторами могут быть: подача топливной смеси ($G_{ГВ}$) в камеру сгорания перед реактором (определяет температуру газов перед реактором); подача природного газа ($G_{ПГ}$) в реактор (определяет количество восстановителя в реакторе очистки); подача добавочного воздуха ($G_{ДВ}$) в колонну абсорбции (определяет концентрацию кислорода перед реактором очистки, и, следовательно, степень конверсии природного газа в реакторе).

Подачу природного газа на реакцию и добавочного воздуха в колонну абсорбции, следует осуществлять в определенном соотношении. Это обычно достигается введением регулятора соотношения на этих потоках. Отсюда следует, что реально существуют лишь два независимых управляющих воздействия - подача топливной смеси в камеру сгорания реактора и подача природного газа и воздуха в определенном соотношении для получения восстановителя.

Таким образом, в задаче управления имеется две управляемых и две управляющих переменных, оказывающих друг на друга взаимное влияние.

Анализ свойств описанного объекта управления позволил сделать вывод, что температуру газов на выходе из реактора целесообразно стабилизировать с помощью изменения подачи топливной смеси в камеру сгорания реактора. Поддержание необходимой температуры газа на входе в реактор, позволяющее максимизировать разность температур газа на входе и выходе реактора, рационально осуществлять с помощью изменения количества подаваемого на реакцию природного газа и воздуха (рис. 1) [1].

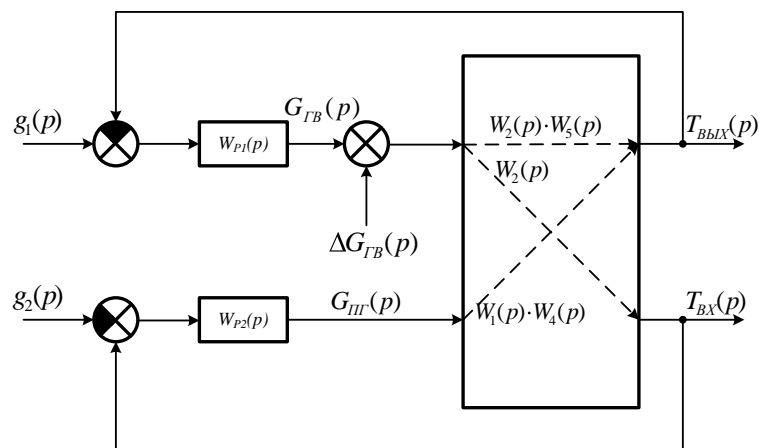


Рис.1. Структурная схема двухконтурной системы регулирования узла каталитической очистки газов

Моделирование существующей системы управления проводилось в среде Matlab 7.0.1. (рис. 2).

Проверка адекватности модели выполнена с использованием статистических данных работы узла каталитической очистки газов ОАО «Новомосковская акционерная компания «АЗОТ» Были исследованы динамические режимы узла каталитической очистки действующего производства и режимы, полученные с помощью данной модели. Исследование

проводилось в два этапа: на первом этапе генерировались входные параметры в виде сигнала, после чего на втором этапе проводилась обработка выходных параметров.

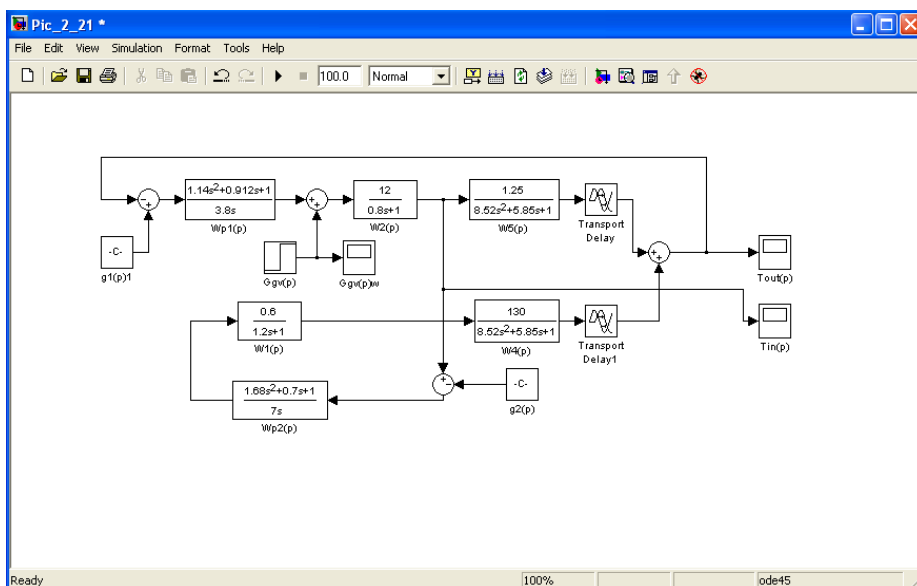


Рис.2. Модель системы автоматического регулирования узла каталитической очистки газов в среде Matlab 7.0.1.

После обработки полученной информации для наилучшего представления были составлены функции распределения. На графиках (рис.3) представлены функции распределения входных и выходных параметров: «температура на входе в реактор каталитической очистки», «температура на выходе из реактора каталитической очистки».

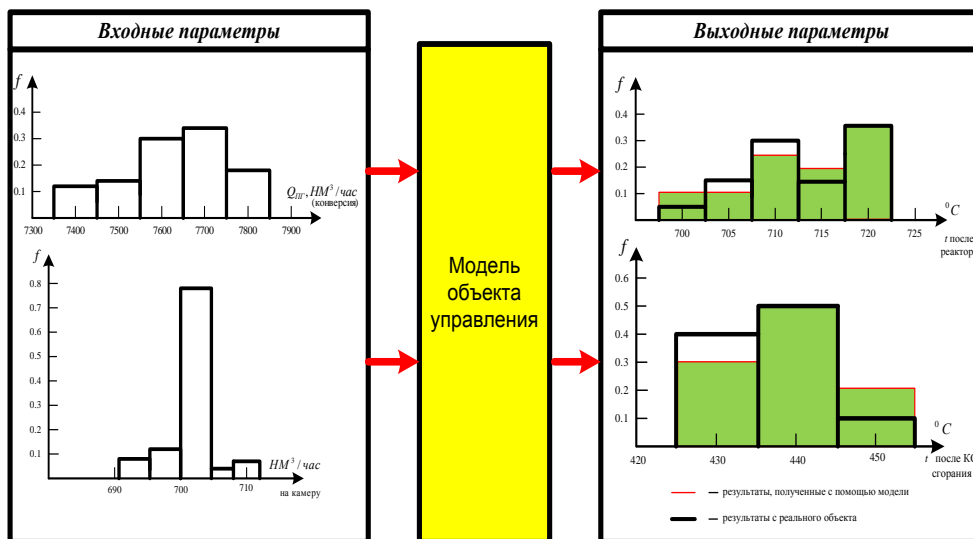


Рис.3. Функции распределения входных и выходных параметров

Математическое ожидание и дисперсия величины «температура на выходе из реактора каталитической очистки»: а). По экспериментальным данным: $M(X) = 713$, $D(X) = 38,5$; б). По результатам моделирования: $M(X) = 713$, $D(X) = 43,5$.

Предложение по модернизации системы регулирования

Учитывая то, что существующая модель системы регулирования температурного режима узла каталитической очистки косвенно оценивает концентрацию вредных веществ на выходе реактора, предлагается произвести ее модернизацию. Выходными параметрами данной модели будут температура очищенных газов на выходе из реактора каталитической очистки T^{Out} и концентрация NO и NO₂ C_{NO+NO_2} . На данные параметры накладываются ограничения, связанные с санитарными нормами, конструктивными особенностями оборудования, а также с технологией ведения производства: $C_{NO+NO_2} \leq 0.005\%$, $700^{\circ}C \leq T^{Out} \leq 730^{\circ}C$. На основании проведенных в действующем цехе экспериментов были получены кривые разгона по всем интересующим каналам рассматриваемой части технологической схемы. Их обработка позволила получить передаточные функции этих каналов.

Управляющими параметрами предлагаемой системы регулирования будут:

- расход природного газа $G_{ПГ}$;
- расход смеси газ-воздух $G_{ГВ}$.

В качестве возмущающих параметров предлагаемой системы регулирования можно выделить:

- концентрацию NO и NO₂ на выходе из абсорбционной колонны $C_{NO+NO_2}^*$;
- концентрацию O₂ на выходе из абсорбционной колонны C_{O_2} ;
- температуру хвостовых газов на входе в реактор каталитической очистки $T_{ХГ}$;
- расход хвостовых газов на выходе из абсорбционной колонны $G_{ХГ}$.

Так как управляющие параметры оказывают взаимное влияние друг на друга, и данное влияние не представляется возможным в полной мере изучить, то в работе предлагается в качестве регулятора использовать регулятор, построенный на аппарате нечеткой логики (Fuzzy-регулятор). Структурная схема модернизированной системы регулирования узла каталитической очистки газов приведена на рис. 4.

Далее была проведена разработка нечеткого регулятора. Функцией данного регулятора является преобразование входных сигналов рассогласования в конечные значения управляющих величин:

- изменение расхода природного газа $\Delta G_{ПГ}$;
- изменение расхода смеси газ-воздух $\Delta G_{ГВ}$.

Входные сигналы рассогласования получают путем сравнения исходных (заданных величин) и величин, полученных с помощью введения обратных связей по управляющим и возмущающим параметрам или от модели управления технологическим процессом.

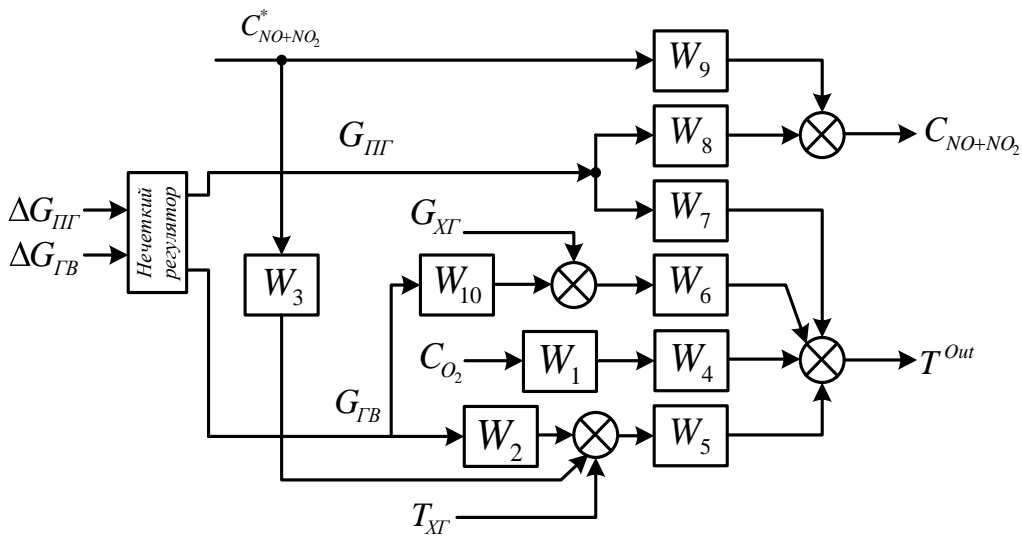


Рис.4. Структурная схема модернизированной системы регулирования узла каталитической очистки газов

Рациональное управление будем находить, используя правила нечеткого логического вывода на основании базы знаний, сформированной по результатам экспертного опроса.

Таблица 1

Формализация лингвистической переменной «расход природного газа»

Область регламентного состояния	Термножество	Область определения термножества	Функция принадлежности термножества
[10; 18]	В ₁ = «Низкий»	[10; 14]	1, при $10 \leq G_{III} \leq 12$
			$\frac{1}{1 + \exp(4.8 \cdot G_{III} - 13)}$, при $12 < G_{III} \leq 14$
	В ₂ = «Средний»	[12; 16]	$\frac{1}{1 + \exp(-4.8 \cdot G_{III} - 13)}$, при $12 \leq G_{III} \leq 14$
			$\frac{1}{1 + \exp(4.8 \cdot G_{III} - 15)}$, при $14 < G_{III} \leq 16$
	В ₃ = «Высокий»	[14; 18]	$\frac{1}{1 + \exp(-4.8 \cdot G_{III} - 15)}$, при $14 < G_{III} \leq 16$
			1, при $16 \leq G_{III} \leq 18$

Первоначально введем лингвистические переменные: «изменение расхода природного газа», «изменение расхода смеси газ-воздух», «расход природного газа» и «расход смеси газ-воздух», определим их терм-множества и зададим функции принадлежности каждому терм-множеству лингвистической переменной. Пример для лингвистической переменной «расход природного газа» представлен в табл. 1 и на рис. 5.

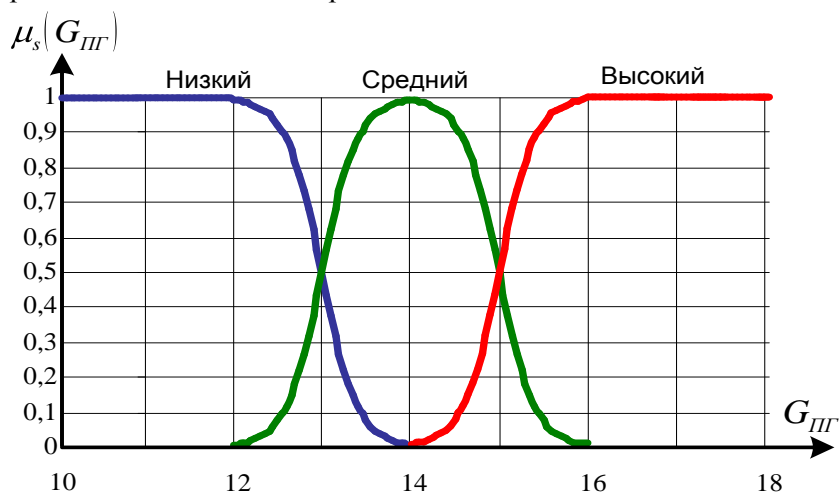


Рис. 5. Функции принадлежности терм-множеств лингвистической переменной «расход природного газа»

По решающей табл. 2, составленной на основе знаний экспертов, делается нечеткий логический вывод.

Таблица 2

Решающая таблица нечеткого логического вывода нечетких переменных «расход природного газа» и «расход смеси газ-воздух»

Расход природного газа	Расход смеси газ-воздух				
		Низкий	Средний	Повышенный	Высокий
Низкий		A_1, B_1	A_1, B_1	A_2, B_1	A_3, B_2
Средний		A_1, B_1	A_1, B_2	A_2, B_2	A_3, B_2
Повышенный		A_1, B_2	A_2, B_2	A_2, B_3	A_3, B_3
Высокий		A_2, B_3	A_2, B_3	A_3, B_3	A_3, B_3

Таким образом, определяется значение нечетких переменных «расход природного газа» и «расход смеси газ-воздух». Блок-схема нечеткого регулятора приведена на рис. 6.

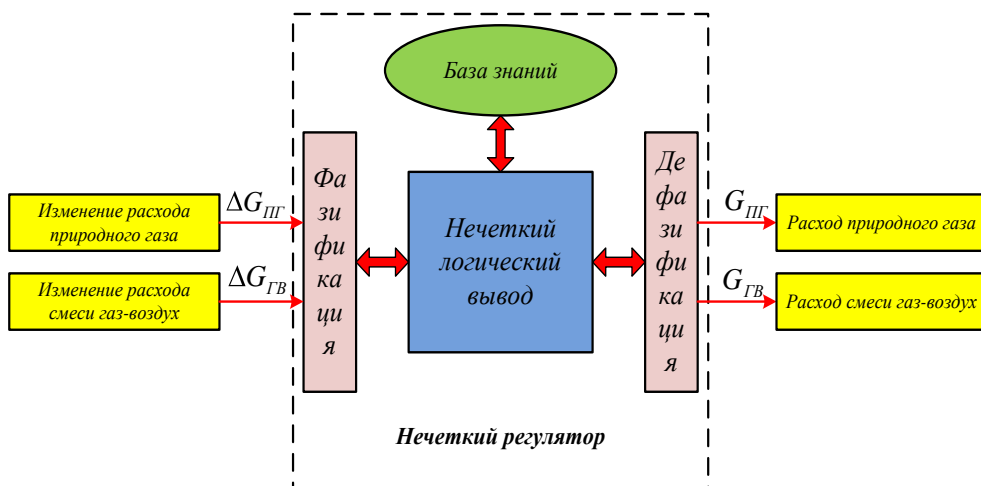


Рис.6. Блок-схема нечеткого регулятора

Построим модель регулирования узла каталитической очистки газов в среде Matlab 7.0.1 (рис. 7).

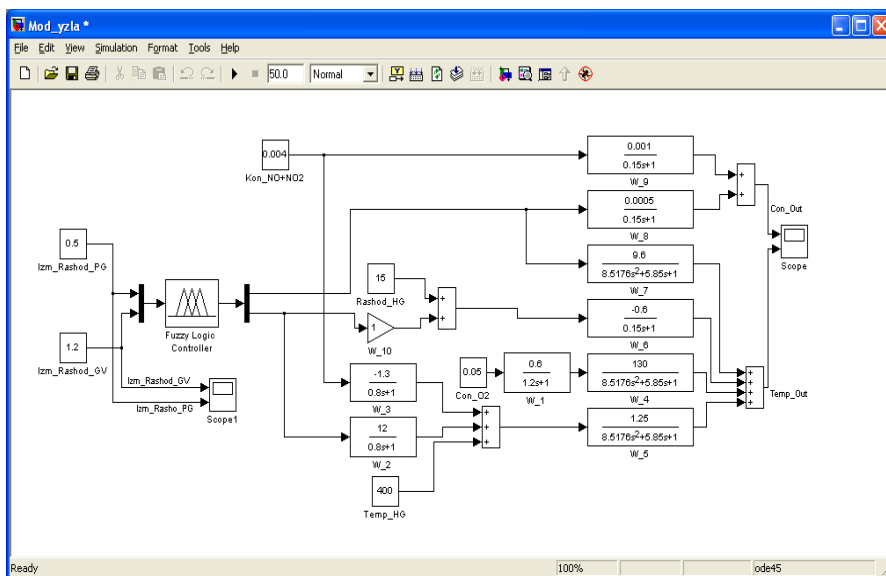


Рис.7. Модель регулирования узла каталитической очистки газов в среде Matlab 7.0.1

В результате проведенного моделирования были получены графики, отображающие переходные процессы изменения температуры и концентрации нитрозных газов на выходе реактора (рис. 8).

Проверка адекватности модели, по аналогии, проводилась по статистическим данным работы узла каталитической очистки газов ОАО «Новомосковская акционерная компания «АЗОТ».

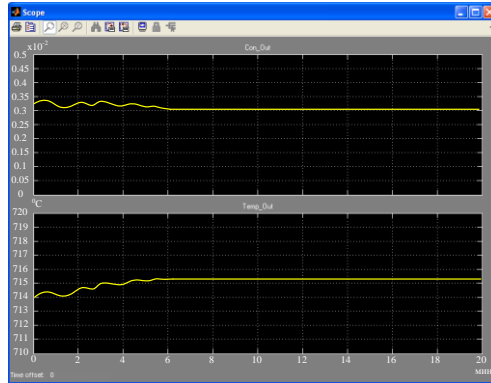


Рис.8. Графики изменения температуры и концентрации нитрозных газов на выходе реактора

После обработки полученной информации для наилучшего представления были составлены функции распределения. На графиках (рис. 9) представлены функции распределения выходных параметров: «концентрация нитрозных газов на выходе из реактора каталитической очистки», «температура на выходе из реактора каталитической очистки».

Также были рассчитаны математическое ожидание и дисперсия данных величин.

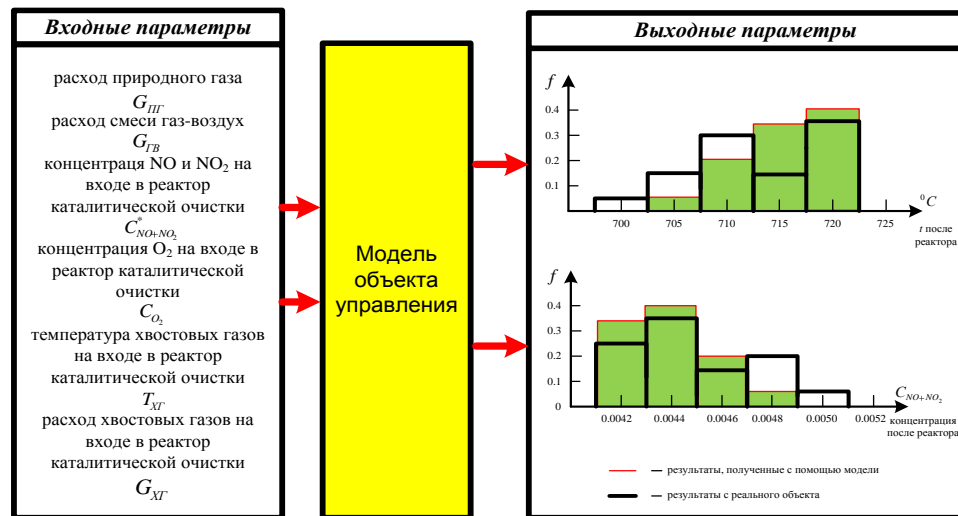


Рис.9. Проверка адекватности

Математическое ожидание и дисперсия величины «температура на выходе из реактора каталитической очистки»:

а) по экспериментальным данным: $M(X) = 713$, $D(X) = 38,5$;

б) по результатам моделирования: $M(X) = 715,5$, $D(X) = 19,75$.

Сопоставляя экспериментальные данные и данные, полученные с помощью моделирования, а также данные с действующей модели можно сделать вывод, что разработанная модель вполне адекватна.

Заключение

В статье было предложено провести модернизацию системы регулирования путем замены штатных регуляторов на нечеткий регулятор. Модернизированная система позволяет вести учет концентрации нитрозных газов (вредных для окружающей среды) на выходе из реактора каталитической очистки, в то время как существующая система регулирования лишь косвенно оценивает выбросы вредных газов в атмосферу. Результаты моделирования данной системы в динамических режимах работы подтвердили адекватность разработанной модели реальной системе регулирования технологическим процессом каталитической очистки газов.

Литература

1. Трифонов, А.Д. Разработка оптимальной энергосберегающей системы автоматического регулирования процесса каталитической очистки в агрегате неконцентрированной азотной кислоты: дис. ... кан. техн. наук: 05.13.07 / Трифонов Александр Дмитриевич. – М., МХТИ, 1983. – 167 с.

Сведения об авторах

Морозов Иван Николаевич

к.т.н., младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS, Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н., заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульской обл., ул. Дружбы, д. 8.

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University).

Богатиков Валерий Николаевич

д.т.н. ведущий научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: vnbgtk@iimm.kolasc.net.ru

Valery N. Bogatikov

Dr. of Sci. (Tech.) leading researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 681.5; 502.55

Н.Ю. Рыженко

ОПАСНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА АНОФ-2

Аннотация

В работе рассматриваются опасные объекты и процессы хвостохранилища АНОФ-2. Предлагается описание процессов нормального и опасного функционирования с описанием логических функций опасных процессов, где продемонстрирована возможность интеграции разнородных данных: информация БДМ, ГИС-карты, экспертные знания в виде системы продукций.

Ключевые слова:

безопасность, гидротехнические сооружения, логическая функция опасности, ситуационная система моделирования.

N.Yu. Ryzhenko

DANGEROUS PROCESSES ON OBJECTS OF HYDRAULIC STRUCTURES FOR EXAMPLE TAILING ANOF-2

Abstract

The paper deals with dangerous objects and processes the tailings ANOF-2. It is proposed description of the processes of normal and dangerous operation of a description logic functions hazardous processes, which demonstrated the ability to integrate diverse data: information paper machine, GIS maps, and expert knowledge in the form of products.

Keywords:

safety, hydraulic structures, the logical function of danger, situation simulation system.

Введение

Гидротехническое сооружение (ГТС) – это системы с высокой потенциальной опасностью развития чрезвычайных ситуаций, которые могут вызвать серьезные последствия для природной и социально-экономической среды региона. Поэтому прогнозирование и определение вероятностей возникновения опасных событий необходимо.

ГТС является территориально-распределенным природно-техническим комплексом (ПТК). Для таких объектов была разработана ситуационная система моделирования (ССМ), основанная на ситуационной концептуальной модели (СКМ) пространственно-распределенного промышленного объекта [1-2]. СКМ предназначена для моделирования природно-технических комплексов, она интегрирует пространственно-зависимые данные через ГИС-интерфейс, базы данных и экспертные знания об изучаемом объекте посредством экспертной системы.

В настоящей статье представлено описание опасных событий для объектов ГТС на примере хвостохранилища АНОФ-2.

1. Объекты гидротехнического сооружения

Гидротехническое сооружение АНОФ-2, как объект исследования, можно разбить на четыре основных объекта концептуальной модели гидротехнического сооружения [3]:

- оборудование – состоит из механических и электрических приборов;
- сооружения - ограждающие конструкции, дамбы (плотины);
- накопитель - бассейн, который в свою очередь состоит из пляжной зоны (намытых промышленных отходов) и отстойного пруда, где скапливается вода;
- коммуникации - служат для транспортировки складываемого вещества и воды.

Накопителями являются следующие объекты: пляжная зона и отстойный пруд. Коммуникации состоят из водоводов и пульповодов. К оборудованию относятся пульпонасосные станции №1, №2а и плавающая насосная станция. В качестве сооружений будем рассматривать дамбы, предотвращающие размыв по основным направлениям. Разбиение пульповодов на сектора, как внешнего (магистрального), так и внутренних (распределительных), также производится с учетом основных направлений размыва и степени безопасности.

В каждом из объектов происходят различные процессы. Часть их относится к нормальному функционированию объекта. Но при нарушении нормального режима работы, возникающем без явных дополнительных причин при выходе тех или иных показателей за пределы ограничений, соответствующих режимам нормальной работы, они становятся опасными.

2. Опасные факторы гидротехнических сооружений

Для определения опасности объекта ГТС необходимо обследование объекта и создание комплекса моделей, описывающих функционирование технологического оборудования при опасных отклонениях параметров технологического процесса. Поэтому были выделены все потенциально опасные факторы, способные привести к опасным ситуациям и, в дальнейшем, к авариям. Под опасным фактором понимается выход параметров технологического процесса за допустимые пределы, приводящие к возможности возникновения опасных ситуаций. Для каждого опасного фактора были определены возможные опасные ситуации. Под опасной ситуацией понимается состояние оборудования, узла, блока или сооружения, при котором имеется потенциальная возможность возникновения аварии: разрушение оборудования, утечки или выброс веществ и т.п. Для каждой опасной ситуации определен перечень факторов, которые способствуют или препятствуют возникновению аварии. Определены поражающие факторы, возникающие при возникновении аварии при определенных способствующих факторах.

Для анализа сценариев развития аварий необходимо также иметь банк данных, содержащий сведения по надежности, защищенности и другим характеристикам оборудования и устройств защиты. Входной информацией являются вероятности безотказной работы оборудования и устройств защиты. Выходной информацией являются вероятности возникновения различных аварийных ситуаций, а также вероятность возникновения опасной ситуации.

Рассмотрим факторы, которые могут привести к опасным ситуациям на ГТС НПО [4].

Одна из главных причин появления опасных процессов – это нарушения нормального режима работы, возникающие без явных дополнительных причин при выходе тех или иных ресурсов за пределы ограничений, соответствующих режимам нормальной работы (внутренняя или технологическая безопасность). Поэтому для расчетов безопасного функционирования ГТС НПО следует выделить или дополнительно специфицировать в каждом элементе те его выходные ресурсы, которые целесообразно атрибутировать диапазонами безопасного функционирования SR (Safety Range) и рассматривать отрицание

$$d_m \notin SR(d_m), \quad (1)$$

как возникновение функционально-зависимого иницирующего события (ИС1).

По определению, диапазон допустимых значений для любого ресурса является подмножеством SR этого ресурса.

Принятое в СКМ представление диапазонов значений переменных величин в виде списков (дискретизация) позволяет моделировать в форме (1) и "двоичные" (да-нет, 1-0 и т.д.) ресурсы, назначая им $SR = \{0\}$.

В принципе можно выделить два подтипа ИС1:

ИС11, когда условие (1) нарушается для некоторого выходного ресурса элемента ГТС НПО и свидетельствует о его переходе в опасное состояние;

ИС12, когда нарушение условия (1) для некоторого выходного ресурса элемента ППС расценивается как показатель опасного функционирования других элементов, для которых этот ресурс является входным.

В ССМ специфицированы еще две категории ИС, появление и развитие которых зависит от пространственных и/или временных характеристик элементов СКМ. Они названы пространственно-порожденными (ИС2) и время-порожденными (ИС3). К таким ИС относятся процессы, связанные с переносом (распространением) воздействующей субстанции (вещества, поля) в различных средах и/или зависящие от рельефа местности, на которой размещена моделируемая ППС (например, зоны затопления при различных объемах прорвавшейся воды).

Безопасность накопителей жидких промышленных отходов существенно зависит и от природного фактора, который в общем случае объединяет пространственно-временные и функционально-зависимые иницирующие события. Длительные дожди могут привести к переливу через гребень дамбы. В результате сильных заморозков образуются заледенелые участки, которые приводят к нарушению фильтрационного режима. В зависимости от месторасположения такого участка возникает та или иная аварийная ситуация.

Условия возникновения пространственно-порожденных, время-порожденных ИС формируются экспертным путем в функции от времени и доступных в СКМ графических характеристик элементов.

Также определены иницирующие события (ИС4), отражающие человеческий фактор, которые появляются в результате действия (бездействия) человека. Такие события формируются на основе статистических данных или экспертных оценок условий труда и жизнедеятельности.

Обозначая индикаторы появления ИС символами e с соответствующими индексами, принимается: $e_j = 1$, если ИС e_j произошло, и $e_j = 0$, если не произошло.

Соответственно:

$$p_A\{e_j = 1\} - \text{вероятность опасности от ИС } e_j;$$

$$p_A \{e_j' = 1\} = 1 - p_A \{e_j = 1\}.$$

Все возможные инициирующие события можно записать в виде:

$E_1 = \{e_1^i\} i = \overline{1, N_1}$ - функционально-зависимые инициирующие события (ИС1),

$E_2 = \{e_2^j\} j = \overline{1, N_2}$ - временные инициирующие события (ИС2),

$E_3 = \{e_3^k\} k = \overline{1, N_3}$ - пространственные инициирующие события (ИС3),

$E_4 = \{e_4^l\} l = \overline{1, N_4}$ - инициирующие события (ИС4), зависящие от человеческого фактора.

3. Опасные процессы на объектах гидротехнического сооружения

Опишем инициирующие события ГТС для хвостохранилища АНОФ-2. Рассмотрим основные опасные объекты и типичные события.

Пульповод

Пульповод представляет собой металлический трубопровод, по которому осуществляется гидротранспорт хвостов от АНОФ-II до хвостохранилища и по территории хвостохранилища. Распределительный пульповод оборудован выпусками и оснащен шланговыми затворами, регулирующими слив пульпы. Вследствие оседания тяжелых частиц со временем происходит заиливание внутренних стенок пульповода, которые также подвергаются коррозии, что приводит к разрушению трубопровода и возникновению аварийных ситуаций. Описанные процессы, протекающие в пульповоде, представлены на рис.1.

Таким образом, можно выделить безопасные процессы: транспортировка, определение работоспособности, выпуск пульпы. Функционально-зависимые процессы – износ стенок I , заиливание β . При выходе из допустимого диапазона значений износ стенки, заиливание возникает событие – прорыв. Если хотя бы один из этих показателей превышает допустимое значение (I_v или β_v), то состояние пульповода считается неисправным и, если не прекращается транспортировка пульпы, возникает прорыв пульповода и утечка пульпы. Транспортировка также прерывается в случае неработоспособности оборудования соответствующей насосной станции.

Таким образом, проявление опасного события прорыв на пульповоде можно описать логической функцией: $e_1^i = z_1^i(I_v) \vee z_1^i(\beta_v)$, где $z_1^i(I_v)$ – возникновение износа стенок пульповода, $z_1^i(\beta_v)$ – возникновение заиливания, j – номер сектора пульповода (рис.1).

Такой же логической функцией можно переполнение дренажных сооружений и водоотводящих каналов.

Дренажные сооружения и водоотводящие каналы.

Дренажные сооружения используются для отвода поверхностного стока. Процессы, происходящие в таких сооружениях аналогичны процессам пульповода. Изменения возможны за счет того, что эти сооружения открыты. Добавляется входной параметр у транспортировки: наличие осадков дает увеличение объема воды, проходящего через водоотводящие сооружения, также учитывается их испарения при особо жаркой или ветреной сухой погоде.

Возможно и засорение из-за внешних факторов. Также стоит отметить, что в результате износа стенок канала или его переполнение в результате засорения или слишком большого потока воды приводит к размытию дамбы (рис. 2).

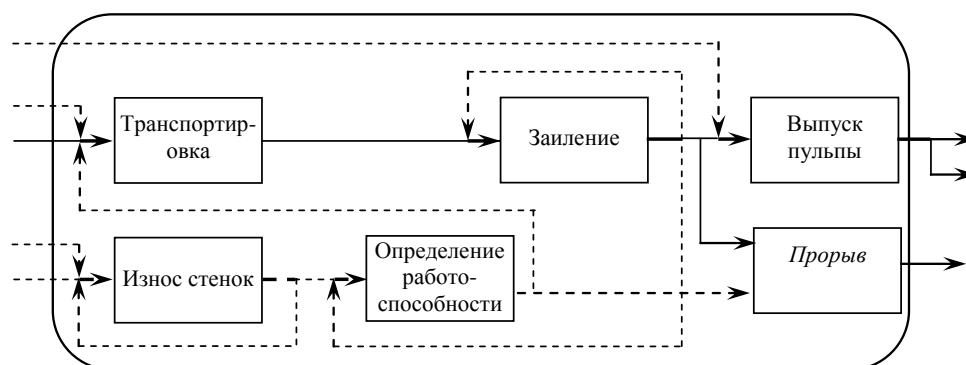


Рис.1. Внутренняя структура объекта «Сектор пульповода»

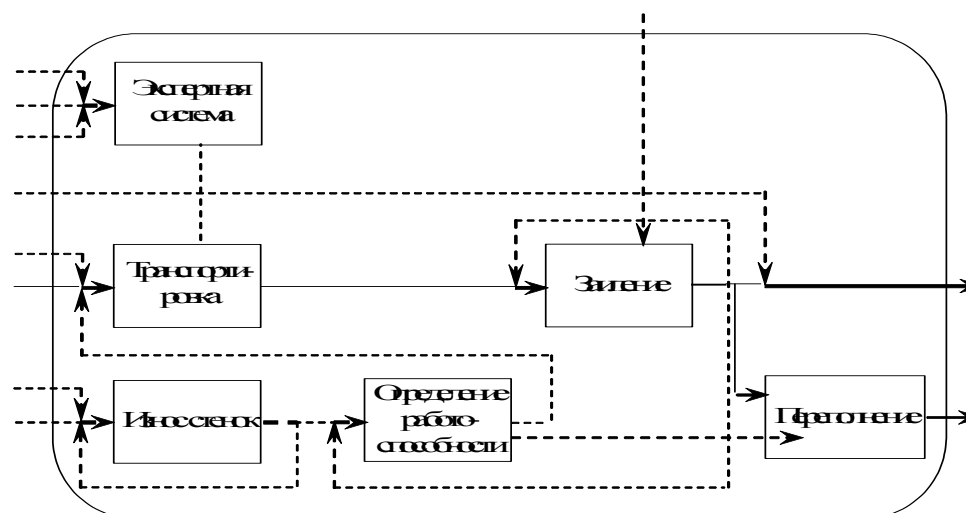


Рис.2. Внутренняя структура объекта «Сектор канала»

Поэтому к опасным факторам добавляется фактор внешнего воздействия – климатические условия, которые оцениваются специализированной экспертной системой (ЭС).

Приведем пример правил, характерных для ЭС:

ЕСЛИ *влажность* < 90% **И** $T_{возд} > 0^{\circ}$

ТО $K_{испар} = k_1 \cdot T_{возд} + k_2 \cdot (1 / \text{влажность воздуха}) + k_3 \cdot F_{ветра}$.

ИНАЧЕ $K_{испар} = 0$

Пример описывает вычисление коэффициента испарения жидкости из водоема ($\text{кг}/\text{м}^2$). Данный коэффициент используется в дальнейшем для вычисления объема испарений (*Выпуск пара*).

В зависимости от значений опасного фактора – климатические условия – данные испарения воды, количество выпавших осадков, температуру возникает пространственно-временное событие: $e_{23}^j = z_{23}^j(ES_v)$, где $z_{23}^j(ES_v)$ – возникновение большого объема воды, j – номер сектора канала, ES_v – показатели климатических условий (рис. 2).

Отстойный пруд.

Отстойный пруд имеет форму конусообразной чаши глубиной. Поступающая в него пульпа подвергается разложению на воду и оседающую часть. Под воздействием факторов окружающей среды происходит испарение с поверхности пруда, а также увеличение уровня воды за счет атмосферных осадков. Вследствие водопроницаемости пород, образующих дамбы, происходит просачивание воды из пруда. Кроме того, часть воды уходит по водосборным колодцам на повторную обработку. Объект «Отстойный пруд» имеет привязку к ГИС-карте, поэтому вычисление площади поверхности и глубины пруда производится отдельным ГИС-процессом.

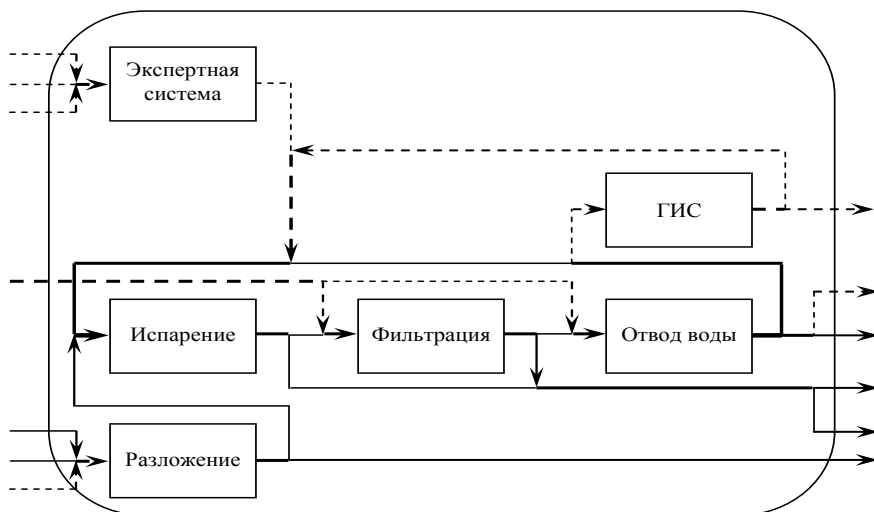


Рис.3. Процесс функционирования объекта «Отстойный пруд»

В данном объекте нет опасных процессов, так как он неотрывно связан с пляжной зоной. Данные объекты пространственно могут пересекаться во времени. Отстойный пруд зависит от площади поверхности пруда. Если пруд усыхает, то освободившаяся часть переходит к объекту пляжной зоны. В каждый момент времени размеры этих объектов вычисляются с помощью ГИС процесса.

При накоплении воды выше допустимого в отстойном пруду возникает опасный процесс «переполнение». Но так как он не влияет на сам пруд, данный процесс рассматривается в объекте «дамба» (рис. 4).

Пляжная зона.

Пляжная зона образуется между отстойным прудом и дамбой. Ее длина должна быть не меньше заданной проектом, так как ее уменьшение может привести к размыву дамбы. Но и не больше проектной величины:

пересушивание большой площади накопителя приводит к пылению и разносу хвостов на большую территорию, что приводит к загрязнению окружающей среды. Пляжная зона формируется за счет намывания оседающей части пульпы. Часть хвостов с пляжа используется для намыва дамбы. Вплотную взаимодействуя с отстойным прудом, размер пляжной зоны напрямую зависит от него. Под воздействием факторов окружающей среды происходит пыление с поверхности зоны: $e_3^j = z_3^j(ES)$, где $z_3^j(ES_v)$ – проявление возникновения пыления, j – показатель пляжной зоны.

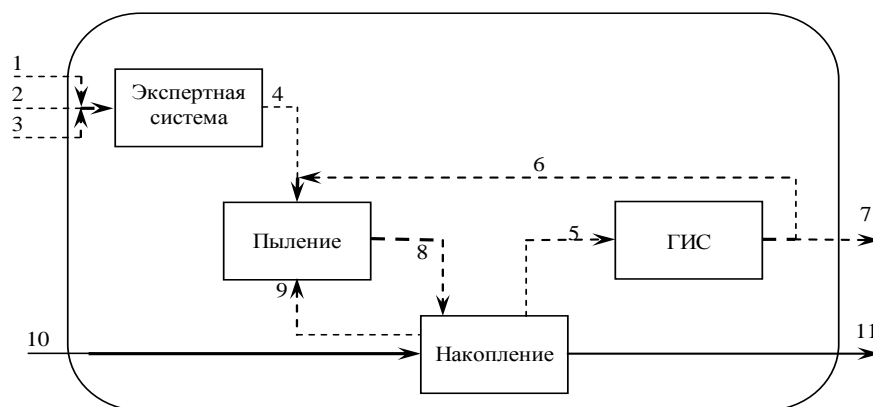


Рис. 4. Процесс функционирования объекта «Пляжная зона»

Оборудование.

Оборудование включает в себя пульпонасосные станции, расположенные на промплощадке фабрики АНОФ-2, пульпонасосную станцию, расположенной в районе хвостохранилища, насосную станцию оборотной воды, плавающую насосную станцию. Можно обобщить все эти объекты тем, что они состоят в основном из насосов, их функция состоит в перекачке пульпы или воды. Поэтому процессы оборудования – это работоспособность насосов, из которых оно состоит. При отказе оборудования в пульпонасосной станции прекращается подача пульпы. При отказе оборудования в насосной станции оборотной воды, уменьшается вывод воды из отстойного пруда, в результате его может возникнуть его переполнение. Опасных процессов в оборудовании нет, но его отказ может привести к опасным процессам в объекте «дамба». Отказ оборудования насосной станции можно описать так: $e_1^j = z_1^j(V_k)$,

где $z_1^j(V_k)$ – отказ насосной станции, j – идентификатор объекта (рис.5).

Основой дамбы является крупнообломочный материал. Поверхностная часть ее образована намывными хвостами. Намывные породы распределяются по дамбам пропорционально их площади. Все необходимые для расчета характеристики считываются с ГИС-карты. В случае превышения уровня воды в пруду над уровнем дамбы и/или вследствие прорыва пульповода, проходящего по ее гребню, происходит повреждение дамбы с возможной потерей ее работоспособности. В результате переполнения водоотводных каналов происходит размывание дамбы, и как следствие снижение ее прочности. Объем фильтрованных вод также рассчитывается с использованием ГИС-характеристик (протяженность дамбы, уровень воды в пруду, коэффициент фильтрации). Как

видно из описанного выше, к опасным процессам в дамбе относятся «переполнение пруда», «прорыв пульповода», «размытие», «повреждение дамбы». Это наиболее опасный объект, в результате нарушения работоспособности которого, возникают серьезные последствия для окружающей природной и социальной сред.

Рис.5. Процесс функционирования объекта «Оборудование»

Опишем логические функции для опасных событий:

Размытие – функционально–зависимое событие, и пространственно–распределенное, так как проявляется при выходе значений за допустимый диапазон, а последствия – затопление – зависит от пространственного положения размытия:

$$e_{23}^j = e_2^j \vee e_3^j \vee e_4^j \vee e_5^j \vee e_6^j \vee e_7^j,$$

где $e_{23}^j (ES)$ – возникновение переполнения каналов, дренажных сооружений, j – идентификатор зоны размытия, $e_2^j (ES_j)$ – показатель временного воздействия, $e_3^j (ES_j)$ – показатель пространственного расположения,

ES_j – показатели климатических условий.

Прорыв пульповода на гребне дабы - пространственно-зависимое событие, приводящее к повреждению дамбы:

$$e_1^j = e_1^j \vee e_2^j \vee e_3^j \vee e_4^j \vee e_5^j \vee e_6^j \vee e_7^j,$$

где e_1^j - проявление опасного события прорыв на пульповоде, j – идентификатор участка дамбы.

Переполнение пруда – возникает при выходе значения объемов воды за допустимое значение:

$$z_1^j = z_1^j \vee e_1^j \vee e_2^j \vee e_3^j \vee e_4^j \vee e_5^j \vee e_6^j \vee e_7^j,$$

где $z_1^j (V_v)$ – выход объемов воды в отстойном пруду за допустимое значение V_v , $e_1^j (V_v)$ – отказ оборудования насосной станции, j – идентификатор объекта (рис.6).

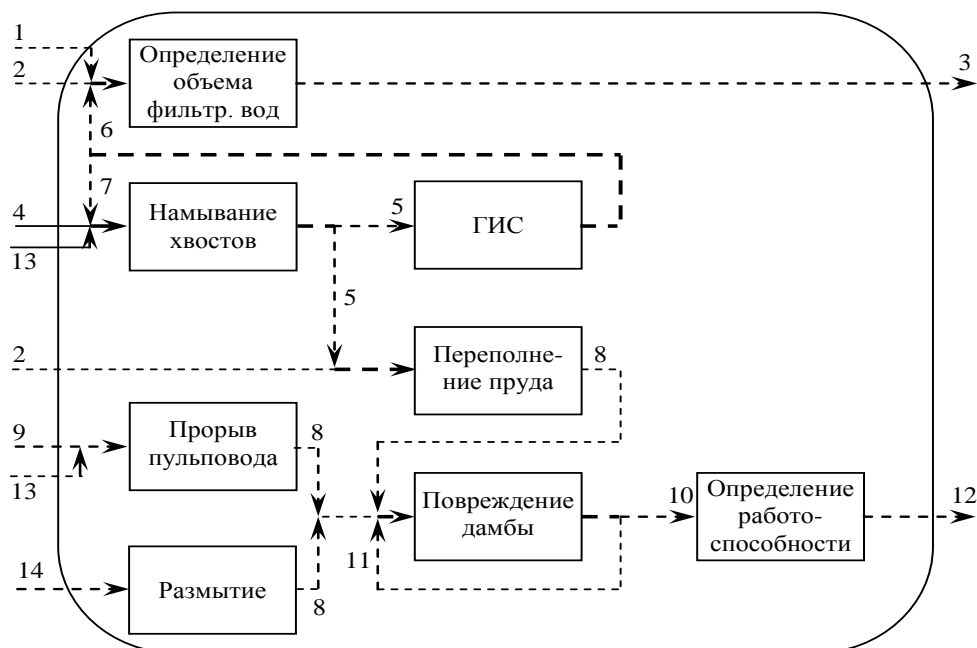


Рис. 6. Дамба как основной объект анализа безопасности хвостохранилища

Все рассмотренные события в разной степени влияют на повреждение дамбы – наиболее опасного события, приводящего к аварии с тяжелыми последствиями. Поэтому функция алгебры логики для описания опасного состояния объектов можно построить в виде:

$$Y(o_m) = e_i(o_m) \vee e_j(o_m) \vee e_k(o_m) \vee e_l(o_m),$$

где $Y(o_m)$ - опасное состояние m -ой дамбы, $e_j(o_m)$ – индикатор появления j -го типа инициирующего события.

Заключение

В работе рассматриваются опасные объекты и процессы хвостохранилища АНОФ-2. Предлагается описание процессов нормального и опасного функционирования с описанием логических функций опасных процессов, которые позволят рассчитать вероятность опасных событий для каждого объекта и системы в целом и вычислить последствия аварийной ситуации.

Литература

1. Фридман, А.Я. Ситуационный подход к моделированию состояния пространственного объекта / А.Я. Фридман // Системы информационной поддержки регионального развития: сб. науч. тр. - Апатиты: КНЦ РАН, 1998. - С.45-49.

2. Фридман, А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов // А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. -436 с.
3. Рыженко, Н.Ю. Анализ и оценка безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов / Н.Ю. Рыженко // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: тр. Междунар. научной школы МАБР-2007, 4 - 8 сентября, 2007, г. С-Петербург. – СПб: ГУАП, 2007. - С.528-534.
4. Фридман, А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, А.Г. Олейник // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2002. - № 2. – С.90-103.

Сведения об авторе

Рыженко Наталья Юрьевна

к.т.н., младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: nryzhenko@imm.kolasc.net.ru

Natalya Yu. Ryzhenko

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко

Информационная технология декларирования пожарной безопасности регионального промышленного комплекса

Аннотация

На примере горно-химического комплекса сформирована нормативно-методическая база декларирования, проведены классификация и идентификация пожароопасных объектов. Технология апробирована в ходе декларирования пожарной безопасности крупного градообразующего предприятия.

Ключевые слова:

декларирование пожарной безопасности, информационная технология, промышленный комплекс.

S.Yu. Yakovlev, A.A. Ryzhenko

INFORMATION TECHNOLOGY FOR FIRE SAFETY DECLARING OF REGIONAL INDUSTRIAL COMPLEX

Abstract

The declaration normative methodical base has been formed and fire dangerous objects classification and identification have been carried out for mining and chemical complex as an example. Technology has been approved for fire safety declaring of large city-forming enterprise.

Keywords:

fire safety declaration, information technology, industrial complex.

Введение

Относительные показатели гибели людей на пожарах в России - одни из самых высоких в мире. В РФ на 1000 человек населения происходит на 40% пожаров больше, чем в мире в среднем, количество погибших – в 9-10 раз больше [1]. Материальный ущерб от пожаров в последние годы устойчиво возрастает. При этом на города приходится более 60% от общего количества пожаров и примерно половина материального ущерба и общего числа погибших [2]. Поэтому на различных уровнях управления обеспечению пожарной безопасности уделяется в последние годы повышенное внимание. Одно из новых направлений этой деятельности – декларирование пожарной безопасности зданий и сооружений. Практически все объекты капитального строительства подлежат оценке на предмет их соответствия требованиям пожарной безопасности.

Добиться снижения уровня техногенного риска, в т.ч. риска пожаров, можно за счёт создания и внедрения методов и технологий информационной поддержки принятия решений. Особенно актуально это направление для крупных градообразующих предприятий, промышленных комплексов, характеризующихся многообразием потенциально пожароопасных объектов и, соответственно, сложной и разветвлённой системой критериев оценки уровня безопасности.

1. Нормативно-методические основы и краткое содержание декларации

Процедура декларирования пожарной безопасности в РФ регулируется многочисленными и разнородными документами: федеральными законами, постановлениями правительства, приказами и письмами министерств и ведомств, правилами и нормами, стандартами, руководствами, методиками и т.д.

Общая структура нормативно-методической базы представлена на рис. 1.

Основополагающими, на наш взгляд, являются источники [3-5].

Для ИТ-поддержки процедуры декларирования разработана и реализована компьютерная нормативно-методическая база. Структура данных базы соответствует рис. 1.

Регламент [3] предусматривает два варианта формирования декларации:

Первый вариант: декларация на основе оценки пожарного риска, включая оценку возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара. В этом случае декларация состоит из трёх разделов:

1. Оценка пожарного риска. Указываются расчётные и допустимые значения уровня риска, при этом сами расчёты выносятся в приложение к декларации. Обосновывается комплекс мероприятий, обеспечивающих допустимые значения уровня риска.

2. Оценка возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара. Приводятся расчётные или экспертные значения ущерба, при этом могут быть использованы данные страхования риска.

3. Перечень реализованных на каждом объекте обязательных требований технических регламентов.

Второй вариант: декларация без расчёта риска, с указанием (для каждого объекта) перечня выполненных требований федеральных законов и нормативных документов.

По второму варианту декларации достаточно привести для каждого объекта соответствующий его специфике перечень выполненных требований федеральных законов о технических регламентах и требований нормативных документов по пожарной безопасности.

2. Пожароопасные объекты регионального промышленного комплекса (РПК)

Здания по классу функциональной пожарной опасности в зависимости от их назначения, а также от возраста, физического состояния и количества людей, находящихся в здании, сооружении, строении, возможности пребывания их в состоянии сна подразделяются на основные классы [3]:

- здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей;
- здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений;
- здания организаций по обслуживанию населения;
- здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений;
- здания производственного или складского назначения.

Правила отнесения зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков к классам по конструктивной пожарной опасности определяются в нормативных документах по пожарной безопасности.

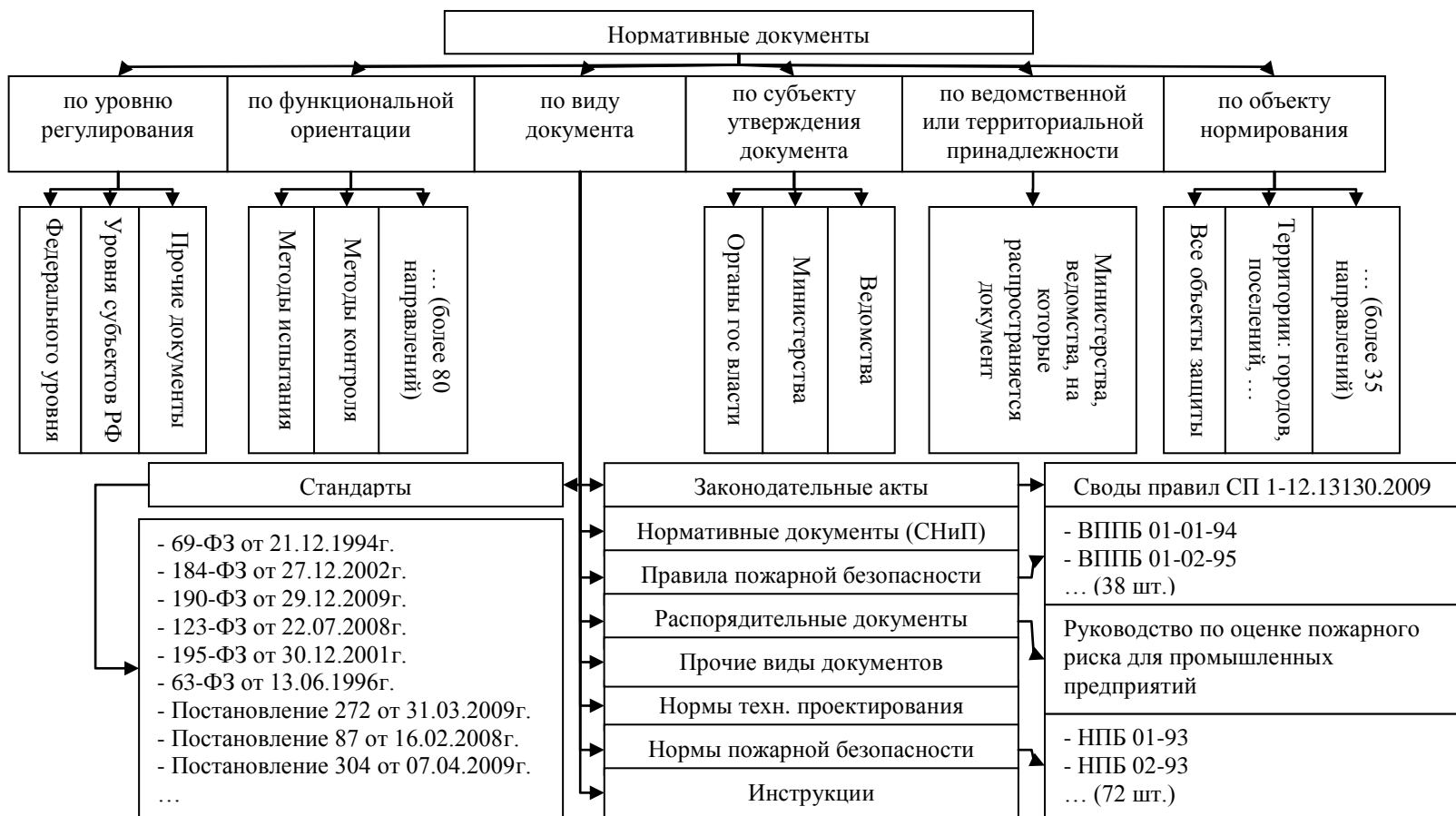


Рис.1. Структура регулирующих документов

Для предприятий северных регионов характерным является преобладающая часть промышленных объектов, принадлежащих к категории пожароопасных. Под тип «здание» в РПК попадают следующие объекты: здания производственного типа, административные, производственно-бытовые здания, столовые, здания временного проживания, гаражи и сараи, склады и насосные станции, КПП и пожарные посты, мойки и шиномонтажные мастерские, подстанции и помещения задвижек, сторожки и вольеры, камеры переключения и т.д.

Структура пожароопасных объектов типового РПК, подлежащих декларированию пожарной безопасности, представлена на рис. 2.



Рис.2. Классы пожароопасных объектов

Часть промышленных зданий не подлежит декларированию по ряду характеристик, заложенных в нормативных документах. Для остальных формируется набор необходимых данных и нормативных актов (рис. 1). Строится таблица соответствия параметров нормативным требованиям. По результатам сравнения для каждого объекта делается вывод о допустимости эксплуатации. В случае нарушения требований обосновывается ряд мероприятий для их устранения.

3. Алгоритм и ИТ-поддержка декларирования

Представим процесс декларирования в виде последовательности шагов (этапов), с указанием разработанных средств поддержки.

1. Формирование базового (исходного) перечня объектов РПК.

Источниками для составления такого перечня могут являться:

- кадастры муниципальных образований, на территории которых имеются объекты РПК;
- внутренние реестры организаций, включающих все или некоторые объекты РПК;
- карты, схемы, ситуационные планы, проектная документация;
- данные космической съёмки (Google Map), визуального обследования территории.

При этом, особенно для сложившихся и развитых РПК, следует иметь в виду, что:

- один и тот же объект может иметь разные наименования и инвентарные номера в различных источниках;
- некоторые объекты могут вовсе отсутствовать в документации;
- объекты могут быть демонтированы, выведены из эксплуатации, модернизированы, перепрофилированы и т.п.

В итоге должен быть составлен единый, унифицированный список всех существующих на настоящее время потенциально пожароопасных объектов РПК, что может потребовать разработки оригинальной общей системы именования и нумерации объектов.

Для поддержки этого этапа разработана типовая структура крупного горно-химического предприятия, выделены классы потенциально пожароопасных объектов. На данных и дальнейших этапах перспективным представляется применение программного комплекса поддержки создания трёхмерных геоизображений зданий и сооружений [6].

2. Формирование перечня объектов, подлежащих декларированию, и сбор информации по ним.

Источником является базовый перечень (шаг 1), а также система правил (критериев) идентификации декларируемых объектов. Пример правила: декларация составляется для объектов, требующих проведения государственной экспертизы, а также зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1.1, не требующих проведения государственной экспертизы (отдельно стоящие объекты с количеством этажей не более двух и общей площадью не более 1500 м²). Для каждого декларируемого объекта должны быть определены характеристики ("портрет, карта пожарной безопасности"), важные для проведения последующих этапов.

Для поддержки данного этапа созданы типовые шаблоны (карты декларирования типовых объектов), предусмотрена возможность автоматизации их заполнения (для конкретных типов объектов).

3. Формирование перечня требований федеральных законов и нормативных документов.

Для каждого декларируемого объекта составляется перечень соответствующих ему требований федеральных законов о технических регламентах и требований нормативных документов по пожарной безопасности. В этом

отношении даже для однотипных объектов могут иметь место разные наборы требований, в зависимости, например, от наличия или отсутствия на объектах того или иного оборудования.

Для поддержки этапа обеспечена автоматизированная выборка положений (из компьютерной нормативно-методической базы), соответствующих характеристикам декларируемого объекта.

4. Проверка выполнения требований и формирование перечня объектов, для которых необходима оценка пожарного риска.

Этот этап выполняется на основе результатов предыдущего с учётом условий, при которых расчёт риска не требуется. Основным таким условием является выполнение на данном объекте соответствующих требований (шаг 3). Следовательно, невыполнение какого-либо требования влечёт за собой необходимость оценки риска. Таким образом, после проведения этого этапа совокупность декларируемых объектов разбивается на две группы – с оценкой риска и без неё.

Проверка выполнения требований частично автоматизирована. При необходимости выдаётся сообщение о недостаточности данных для проверки, что может потребовать дополнительного сбора информации, вплоть до обследования объекта.

5. Разработка выходного документа.

В соответствии с двумя вариантами декларации (раздел 2 данной статьи), по итогам предыдущего шага, для одних объектов формируется декларация в виде перечня выполненных требований, для других производится расчёт пожарного риска, например, по методикам [7, 8].

В настоящей работе реализовано автоматизированное формирование декларации первого типа, в дальнейшем планируется создать программные средства для поддержки расчёта риска.

4. Показатели декларирования

Основные задачи декларирования пожарной безопасности типового промышленного объекта - анализ показателей риска и разработка комплекса мероприятий для доведения уровня риска до нормативных значений. В связи с тем, что границы допустимого риска в последнее время существенно сузились, на объектах вынуждены проводить дополнительные мероприятия, приводящие к снижению пожароопасности. С другой стороны, каждое такое действие увеличивает расходы предприятия. Необходимо найти компромисс между соблюдением нормативных актов и расходованием средств.

Далее рассматриваются основные компоненты анализа пожарного риска для типового промышленного комплекса.

Использование универсальных языков построения информационных технологий позволяет ввести формализацию данных. Основным критерием эффективности работы моделируемой системы является ее устойчивость к авариям (C_A):

$$C_A = \{R_A(Y), P(A), V_{Hi}, Z, \dots\} \quad (1)$$

где C_A – характеристики фактических и возможных аварий,

$$C_A = C_A^{fact} \cup C_A^{poss}, C_A^{fact} = \left\{ \left. \begin{matrix} i \\ A \end{matrix} \right\}^{fact} \right\} = \overline{1, N_{C_A^{fact}}}, C_A^{poss} = \left\{ \left. \begin{matrix} j \\ A \end{matrix} \right\}^{poss} \right\} = \overline{1, N_{C_A^{poss}}},$$

$OA \subseteq O \times B(C_A)$ – функция описания параметров аварийных ситуаций.

$R_A(Y)$ – риск возникновения аварии; принимаются общие (нормативные) стандарты оценки и анализа риска, индивидуальные для каждого класса объекта (пожаровзрывоопасные, химически опасные и т.д.);

$Y = \langle Y_{fact}, Y_{poss} \rangle$ – величина фактического и возможного ущерба от аварии; выражается в денежном эквиваленте, учитываются как потери организации, так и третьих лиц;

$P(A) = \overline{P(\bar{A})} = 1 - \overline{P(\bar{A})}$ – вероятность аварии; для расчёта строятся деревья отказов и/или событий для технологических процессов;

V_{Hi} – универсальная балльно-лингвистическая оценка i -го фактора влияния;

$Z \in \{z_i\}, z_i \in \{z_{fact}, z_{poss}\}$ – набор (комплекс) мер безопасности по устранению фактического и возможного ущерба, стоимостью z каждое.

Этапом оценки риска является выражение ее в денежном эквиваленте. Расчет ущерба имуществу третьих лиц от пожара входит в функцию возможных последствий для соседних организаций и населения за пределами границ объекта. Основным критерием оценки риска, выраженным в денежном эквиваленте, является выборка комплекса мероприятий, при котором достигается максимальное снижение риска (2) или снижение до допустимого значения (3):

$$\begin{cases} \Delta R_A \rightarrow \max_m \\ Y = f(\cdot, \{z_i\}) \\ \sum z_i \leq Z_{max} \end{cases} \quad (2)$$

либо

$$\begin{cases} \Delta R_A(Y) \rightarrow \max_m, Z \rightarrow \min \\ R_A(Y) \leq R_A^{lim}, z \leq Z_{max} \end{cases}, \quad (3)$$

где m – возможных вариантов, R_A^{lim} – допустимый (заданный) уровень риска аварий, Z_{max} – фиксированные средства.

Учитывая предыдущие критерии (2-3), получаем итоговый экономический (4):

$$\begin{cases} Z = \sum z_i \rightarrow \min_m \\ \sum z_i \leq Z_{max} \end{cases} \quad (4)$$

При формировании перечня объектов учитывается возможность неполного соответствия нормативной базе. При этом необходима разработка дополнительных мероприятий по приведению характеристик объекта в нормативные рамки (5):

$$\left\{ \begin{matrix} norm \\ min \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} norm \\ i \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} norm \\ max \end{matrix} \right\} \quad (5)$$

где $\left\{ \begin{matrix} norm \\ min \end{matrix} \right\}$ и $\left\{ \begin{matrix} norm \\ max \end{matrix} \right\}$ – минимальная и максимальная допустимые границы стоимостных показателей комплекса мероприятий.

5. Апробация информационной технологии

С использованием информационной технологии выполнена разработка декларации пожарной безопасности объектов крупного градообразующего предприятия, горно-химического комплекса ОАО "Апатит". Основную сложность представляли многочисленность и разнородность объектов декларирования (тысячи зданий и сооружений, объектов инфраструктуры), а также многообразие регулирующих нормативно-правовых актов (десятки наименований). По нескольким тысячам объектов проведена оцифровка проектной документации, уточнён список декларируемых объектов, выполнено обследование состояния пожарной безопасности типовых объектов основных подразделений ОАО «Апатит», заполнены карты декларирования пожарной безопасности на подлежащие декларированию объекты (рис. 3), проведён анализ заполненных карт. Составлена декларация для объектов, не требующих расчёта пожарного риска. Декларация утверждена Генеральным директором ОАО "Апатит" и согласована УНД ГУ МЧС России по Мурманской области.

Заключение

Разработана информационная технология декларирования пожарной безопасности регионального промышленного комплекса. Особенности предметной области – большое количество и разнородность, как объектов декларирования, так и регулирующих нормативно-правовых актов. Реализована компьютерная нормативно-методическая база декларирования. Разработана структура, выполнена классификация и идентификация пожароопасных объектов типового горно-химического комплекса. Для каждого типа объекта и направления декларирования выявлены необходимые и достаточные требования пожарной безопасности. Созданы шаблоны (карты) декларирования типовых объектов, обеспечена возможность автоматизации их заполнения. Технология апробирована в ходе декларирования пожарной безопасности крупного градообразующего предприятия.

В дальнейшем планируется дополнить технологию блоками расчёта пожарного риска.

Литература

1. Ноженкова, Л.Ф. Проблемы построения управляющей системы поддержки принятия решений при возникновении угроз пожарной безопасности на объектах сферы науки и образования / Л.Ф. Ноженкова и др. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ, 2011. - № 2. – С.25-32.
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году». – М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. – 299 с.

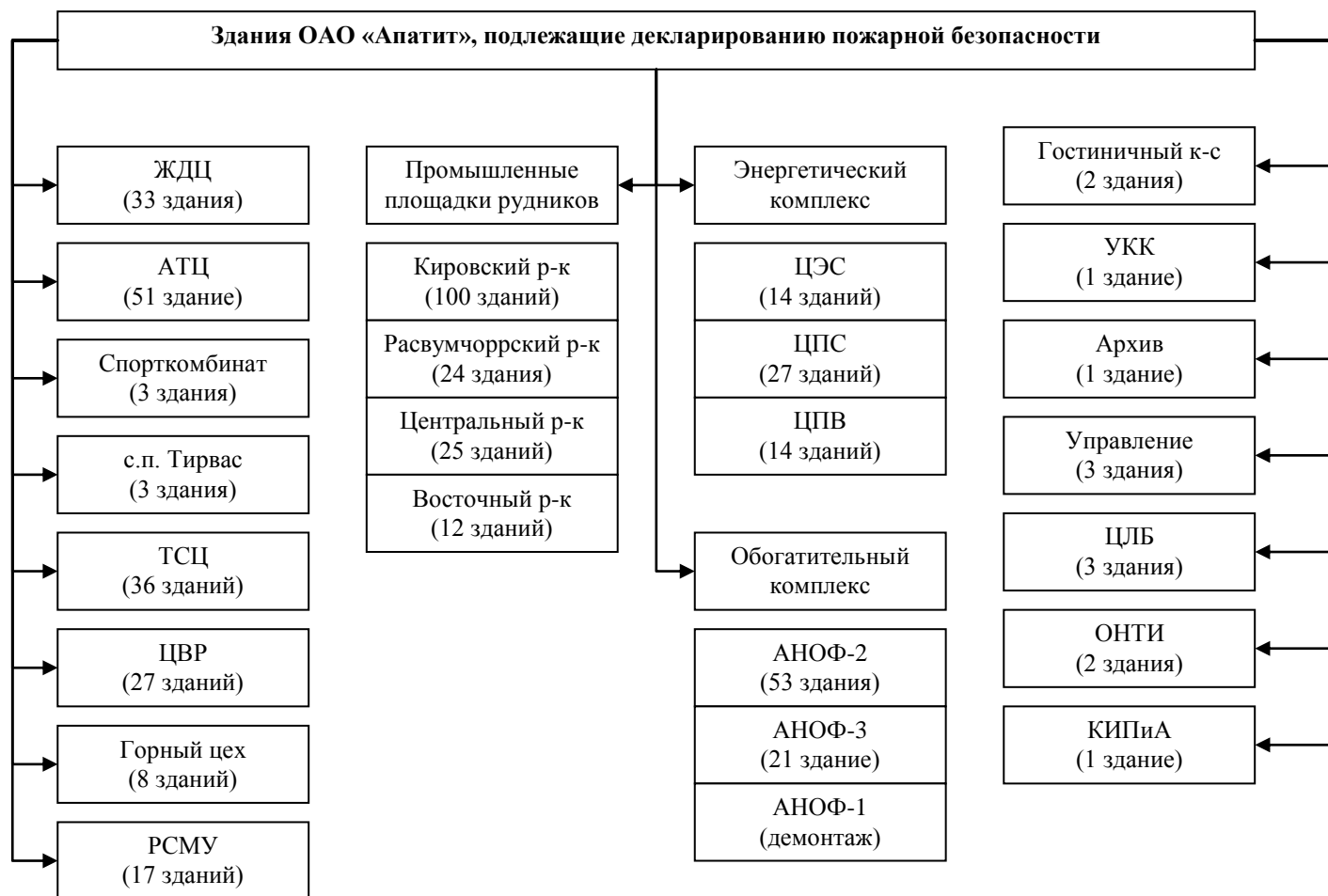


Рис.3. Распределение декларируемых объектов по структурным подразделениям ОАО "Апатит"

3. Федеральный закон от 22.07.2008 г., № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
4. Приказ МЧС РФ от 24.02.2009 г. № 91 "Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности" (зарегистрирован в Минюсте РФ 23.03.2009 г., № 13577).
5. Федеральный закон от 21.12.1994 года, № 69-ФЗ "О пожарной безопасности".
6. Программно-алгоритмическая реализация прототипа трёхмерной модели регионального промышленно-природного комплекса (на примере Хибинского горнорудного района) / А.С. Шемякин и др. //Настоящий сборник. – С.156-163.
7. Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности" (зарегистрирован в Минюсте РФ 06.08.2009 г. № 14486).
8. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 г. № 404 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (зарегистрирован в Минюсте РФ 17.08.2009 г. № 14541).

Сведения об авторах

Сергей Юрьевич Яковлев

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: yakovlev@iimm.kolasc.net.ru

Sergey Yu. Yakovlev

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Рыженко Алексей Алексеевич

к.т.н., старший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: ryzhenko@iimm.kolasc.net.ru

Alexey A. Ryzhenko

Ph.D. (Tech. Sci.), senior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.94: 378.1

В.В. Быстров, Ю.О. Самойлов

КОМПЛЕКС ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, посвященные разработке информационных средств в области оценки и управления качеством образования. Авторы предлагают к рассмотрению мультиагентную систему поддержки управления качеством образования научно-образовательного комплекса. Одной из составляющих данной системы является комплекс вспомогательных программ. Подробно рассматривается архитектура разработанного комплекса, описывается назначения и особенности реализации отдельных его компонентов.

Ключевые слова:

информационная технология, управление качеством, система образования, комплекс программ, база данных.

V.V. Bystrov, Y.O. Samoilov

THE COMPLEX OF AUXILIARY PROGRAMS OF THE QUALITY MANAGEMENT SUPPORT MULTIAGENT SYSTEM OF EDUCATION

Abstract

The questions devoted to development of information means in the field of an estimation and quality management of formation are considered in article. Authors offer to consider the quality management support multiagent system of formation of a scientifically-educational complex. One of the considered system components is the complex of auxiliary programs. The architecture of the developed complex is considered in details. Also it is described appointments and realization features of its separate components.

Key words:

informational technology, quality management, education system, complex of programs, database.

Введение

На сегодняшний день основополагающим ресурсом для любого производства или организации вне зависимости от сферы деятельности являются люди. В большинстве случаев персонал играет очень важную роль в развитии предприятия, его стабильности и конкурентоспособности в условиях современных рыночных отношений. Однако к современному работнику предъявляются работодателем все более обширные требования, затрагивающие, кроме умения на высоком профессиональном уровне выполнять свои прямые трудовые обязанности, еще и владение информационными технологиями. Таким образом, для развития и стабильной деятельности экономики региона необходимо соответствующее кадровое обеспечение. За подготовку кадров в первую очередь отвечает система образования. На сегодняшний день проблемы по оценке и управлению качеством системы образования остаются открытыми и актуальными.

Комплекс вспомогательных программ

Для решения вопросов оценки и управления качеством образования коллективом научных сотрудников Института информатики и математического моделирования КНЦ РАН предложена информационная технология, в основе которой лежит мультиагентная система поддержки управления качеством образования научно-образовательного комплекса.

Разработанная система представляет собой имитационную модель, реализованную средствами агентного моделирования и комплекс программ, осуществляющих поддержку принятия решения. Модель разработана в среде имитационного моделирования Anylogic v.5.0.[1]. Выделены два типа активных сущностей – «студент» и «преподаватель» и три типа сцен: аудиторное занятие, внеаудиторное занятие, научно-исследовательская деятельность. Каждый тип агента и сцены параметризован и определен набор основных свойств и характеристик. Для каждой характеристики определен тип и диапазон допустимых значений. Используются следующие типы параметров: измеряемые, экспертные и формальные. Для обработки реальных данных о студентах и преподавателях разработан комплекс приложений в среде программирования Borland C++ Builder, входящий в состав интегрированной среды разработки программ Borland Developer Studio 2006, и Web-приложений, реализованных с помощью классической связки «Apache+PHP+MySQL». Разработанный комплекс программ выполняет следующие основные функции: хранение данных о лицах, принимающих участие в образовательном процессе; формирование данных для заполнения параметров имитационной модели управления качеством образования конкретными значениями; осуществление взаимодействия с мультиагентной моделью; обработка результатов имитации; формирование отчетов.

Для получения данных, обработки результатов моделирования были созданы приложения, взаимосвязанные между собой и мультиагентной моделью. Связь между приложениями организована через передачу служебных файлов и обращение к единой базе данных (БД) научно-образовательного комплекса. Взаимосвязь между имитационной моделью, созданной в среде Anylogic, и программным комплексом осуществляется через механизм Java-апплетов. На рис. 1 приводится схематичное представление организации взаимодействия основных программных компонентов разработанной мультиагентной системы поддержки управления качеством образования.

Комплекс вспомогательных программ состоит из следующих элементов:

- *Программа информационного обмена.* Реализована в среде Borland Developer Studio 2006. Основное назначение – обмен информацией между остальными приложениями и имитационной моделью, точнее средой моделирования Anylogic. Данные приводятся к унифицированному виду и отправляются в качестве параметров модели. В качестве механизма взаимодействия данной программы и среды имитационного моделирования используются Java-апплеты – процедуры, написанные на кросс-платформенном языке программирования Java[2].

- *Информационная система кадрового обеспечения.* Основное назначение – работает с персональными и служебными данными о сотрудниках научно-образовательного комплекса.

- *Информационная система студенческого обеспечения.* Основное назначение – работает с персональными и служебными данными о студентах научно-образовательного комплекса.

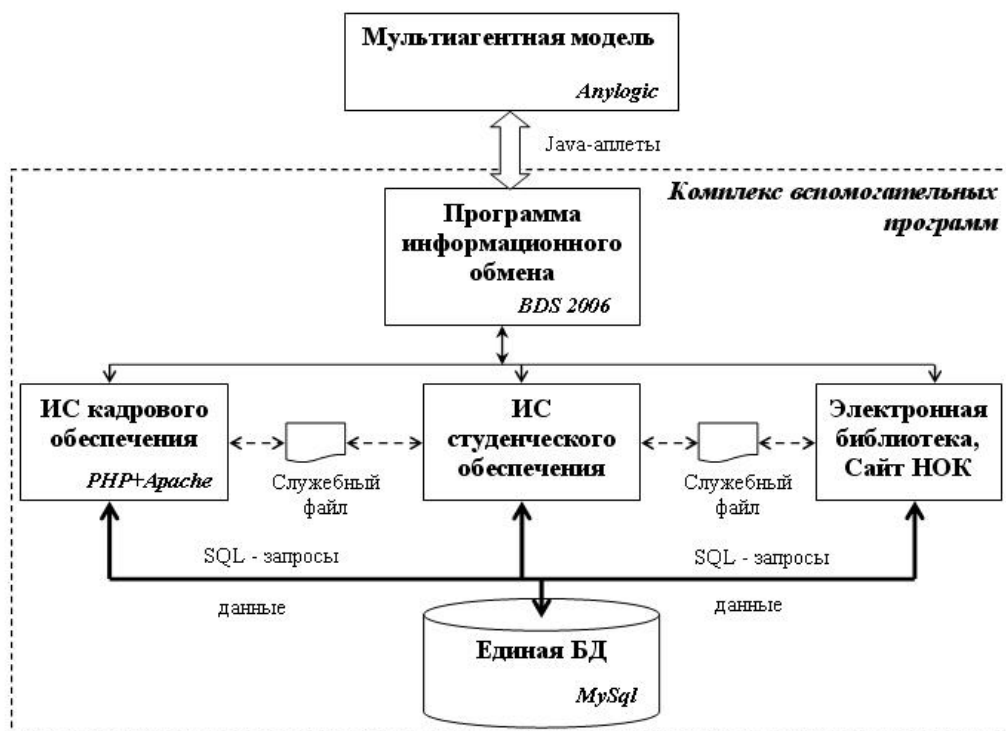


Рис.1. Архитектура комплекса вспомогательных программ

- *Электронная библиотека и сайт научно-образовательного комплекса (НОК).* Основное назначение – работает с электронными источниками информации, предоставляет доступ к новостям и полезной информации о деятельности научно-образовательного комплекса.

- *Единая база данных.* Является основным хранилищем всей информации обо всех видах деятельности научно-образовательного комплекса. Имеет распределенную структуру. Реализована на основе технологии доступа к данным MySQL. Обладает средствами защиты и резервного копирования.

Информационные системы кадрового и студенческого учета, а также электронная библиотека и сайт научно-образовательного комплекса реализованы в виде веб-ресурса с помощью языка программирования веб-приложений PHP и сервера Apache. Взаимодействие с другими приложениями осуществляется через специальные файлы или через данные в единой БД комплекса.

В настоящее время завершенными практическими разработками являются информационная система студенческого обеспечения, модуль информационного обмена и единая база данных. Другие приложения (информационная система кадрового обеспечения, электронная библиотека и сайт) прошли стадии проектирования и практической реализации и находятся на этапе тестирования и отладки. В связи с этим, в статье основное внимание уделено рассмотрению этапов реализации информационной системы

студенческого учета и единой базы данных. Положенные в их основу разработки средства, технологии, программные решения и алгоритмы будут применяться и для других приложений комплекса.

К разработанной информационной системе студенческого обеспечения (ИССО) на основе анализа предметной области были выдвинуты следующие требования:

- выполнение всевозможных операций данными, хранящимися в основной БД по студентам (создание карточек, удаление, перемещение и пр.);
- осуществление проверки прав пользователя на выполнение тех или иных действий;
- реализация запросов на формирование определённого вида статистики;
- формирование определенных видов документов на основе данных из БД;
- обеспечение дружественного интерфейса пользователя (работа в интерактивном режиме);
- обеспечение кросс-платформенности и интероперабельности программных компонентов.

Следует отметить, что за счет того, что ИССО разрабатывается в форме web-сайта её функциональность можно легко расширять, просто подключая к ней новые разработанные модули с незначительными изменениями в коде тех модулей, к которым подключаются новые.

ИССО изначально спроектирована в UML нотации [3] с учетом требований потенциальных пользователей к ее функциональному наполнению.

Для полноценного функционирования ИССО, а также для хранения большого количества данных по студентам, которые будут вноситься работниками соответствующих подразделений, была разработана база данных под управлением СУБД MySQL. С учетом будущего внедрения ИССО в деятельность конкретного ВУЗа, технология доступа к данным MySQL подходит как нельзя лучше: во-первых, является кросс-платформенной СУБД, во-вторых, Web-сервер научно-образовательного комплекса работает под управлением ОС FreeBSD, которая является Unix-подобной, и на его базе уже действует связка компонентов, включающая и MySQL.

Схема данных, разработанной базы данных, приводится на рис. 2. Данные карточек студентов реализованы в виде таблиц. В таблице «Студент» находятся все данные, касающиеся студентов и выбираться будут в зависимости от подразделения, в котором работает пользователь ИССО. Таблица «Студенты» относится к так называемым «оперативным» карточкам студентов со сроком хранения пять лет в общем случае. Данные в таблицу «Студенты» будут как переноситься из таблицы «Абитуриент» в случае зачисления студента, так и создаваться заново, в случае перевода студента. Данные таблицы «Абитуриент» формируются, как правило, в приемной комиссии. Таблица «Выпускник» относится к «архивным» карточкам студентов и будет храниться 75 лет. Данные этой таблицы формируются на основе данных таблицы «Студент» с добавлением соответствующей информации касательно дипломной работы, трудоустройства и прочее.

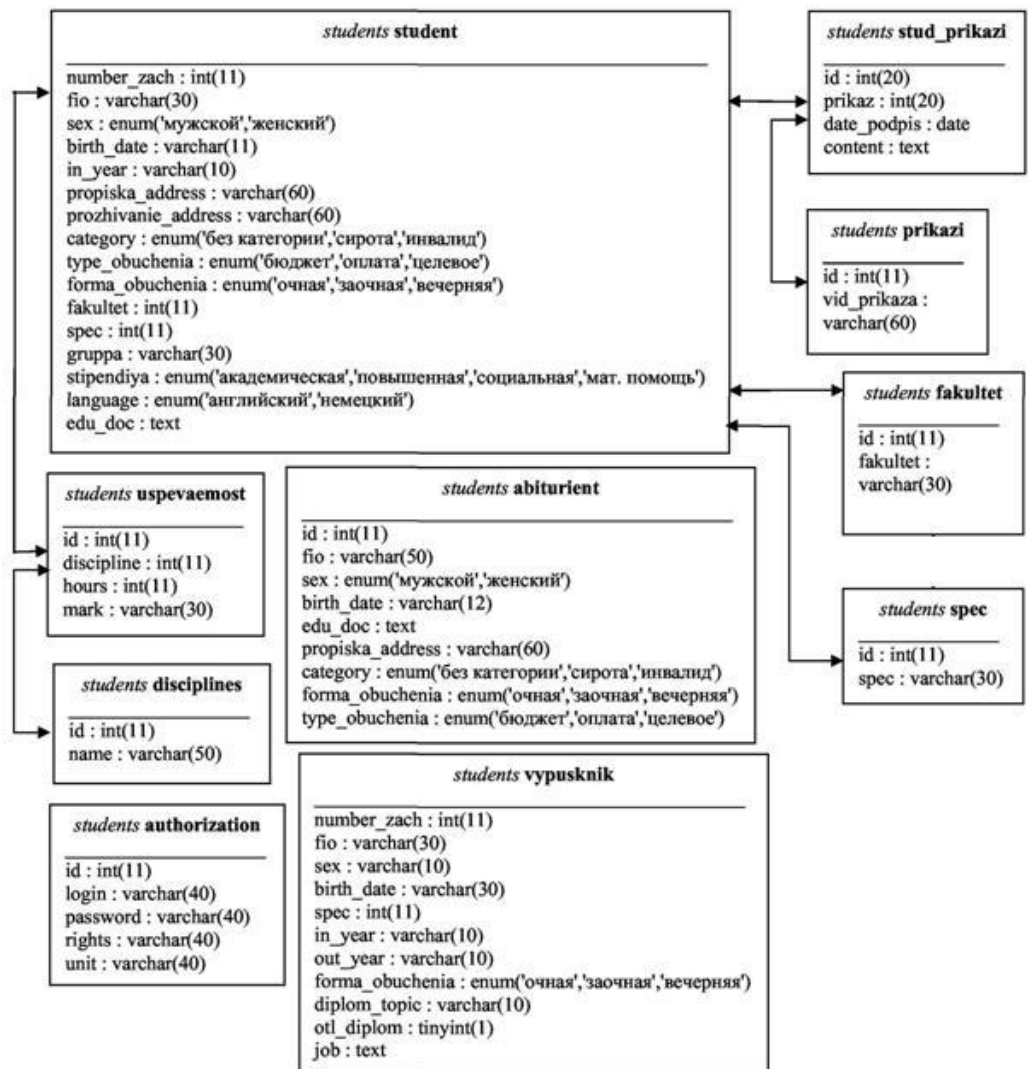


Рис.2. Схема данных

Центральной, как видно из схемы данных, является таблица «Студент». С ней связаны вспомогательные таблицы «Факультет» и «Специальность». В этих таблицах хранятся статичные данные (справочники), необходимые для возможности заполнения соответствующих полей в таблице «Студент» из списка, а не вручную. Связаны они между собой связью «один-ко-многим». Кроме того, с таблицей «Студент» связаны таблицы, хранящие уникальные данные для каждого студента. Это таблицы «Успеваемость» и «Приказы студента». «Успеваемость» связана с таблицей «Дисциплины», хранящей список всех учебных дисциплин, преподаваемых в вузе, т.е. назначение таблицы также для обеспечения возможности выбора нужной дисциплины при формировании карточки, вместо ручного ввода. В таблице «Успеваемость» хранятся данные, ставящие в соответствие дисциплину, количество часов по ней и оценку или

зачет. Первичным ключом в данном случае является № зачетной книжки студента. Именно этот номер является уникальным идентификатором каждого студента. Таким образом, таблицы «студент» и «дисциплины» связаны соотношением «многие-ко-многим». «Приказы студента» связаны с таблицей «Приказы», хранящей список всех приказов, формирующих в процессе обучения студента, соответственно назначение этой таблицы такое же, как у таблицы «Дисциплины». В таблице «Приказы студента» хранятся данные, ставящие в соответствие вид приказа, дату подписи, служебную информацию. Первичным ключом также является № зачетной книжки. Таким образом таблицы «Студент» и «Приказы» связаны соотношением «многие-ко-многим». Остальные поля таблицы «Студент» заполняются вручную сотрудниками соответствующих подразделений.

Кроме того, в этой же БД хранится служебная информация, касающаяся системы авторизации. За нее отвечает таблица «Авторизация», хранящая имя пользователя (логин), пароль в зашифрованном виде (используется криптографическая хеш-функция MD5) права пользователя и подразделение, в котором пользователь работает. Данную таблицу использует модуль авторизации при разрешении доступа к системе, а также прав авторизованного пользователя в системе.

Архитектура информационной системы студенческого обеспечения имеет модульную структуру. Модули проекта структурированы по принципу от общего к частному. Особое внимание уделено как можно большему разделению ИССО на модули даже небольшие по своему функциональному значению. Связанно это, прежде всего, с необходимостью обеспечения возможности дополнения и наращивания системы новыми модулями, а соответственно новыми возможностями и функционалом.

«Дизайнерская» и «программная» части системы разделены между собой. К «дизайнерским» относятся html-документы, хранящие информацию о верстке страницы и об основных формах, находящихся на ней (кнопки, текстовые поля и прочее). К «программным» относятся php документы, содержащие преимущественно код функциональных элементов html страниц на языке PHP. Связываются между собой обе части в основном двумя способами: либо посредством включения include ('module_name.php'), либо посредством вызова обработчика формы <form name='something' action='module_name.php'> *** </form>. Для обеспечения безопасности доступа к содержимому и функциям ИССО используется механизм сессий, появившийся в возможностях PHP начиная с версии 4.1

Заключение

Разработанный комплекс вспомогательных программ входит в состав мультиагентной системы поддержки управления качеством образования научно-образовательного комплекса. Он служит для сбора и анализа статистических данных о деятельности учебного заведения, и преобразует результаты этих операций в определенный формат для последующей передачи в виде параметров имитационной модели. Имитационная модель используется как средство прогнозирования и имитации различных ситуаций в образовательной деятельности научно-образовательного комплекса. В целом предлагаемая

информационная технология может обеспечивать путем многократной имитации формирование предпочтительных, с точки зрения качества выпускаемых специалистов, сценариев управления образовательным процессом и на основе результатов их анализа вырабатывать управленческие решения по изменению деятельности учебного заведения.

Практическая значимость предлагаемой технологии, частью которой и является рассмотренный в данной статье комплекс вспомогательных программ, заключается в том, что она обеспечивает возможность решения основных задач управления региональным научно-образовательным комплексом и системой высшего образования в целом. Разработанная информационная технология может выступать в качестве примера применения современного когнитивного подхода для создания компьютерных средств информационной поддержки управления сложными социально-экономическими системами.

Литература

1. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем / Ю.Г. Карпов // Введение в моделирование с AnyLogic 5 -СПб., БХВ-Петербург, 2005. - 400 с.
2. Свистунов, А.Н. Построение распределенных систем на основе Java: учеб. пособие /А.Н. Свистунова. - М., УРСС, 2010. -279 с.
3. Леоненков, А.В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose /А.В. Леоненков. - М., УРСС, 2009. -320 с.

Сведения об авторах

Быстров Виталий Викторович

к.т.н., научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: vitbist@mail.ru

Vitalij V. Bystrov

Ph.D. (Tech. Sci.), researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Самойлов Юрий Олегович

аспирант, инженер-программист. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: samoilov@arcticsu.ru

Yu. O. Samoilov

post-graduate, programmer. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

УДК 004.94

И.Е. Кириллов¹, И.Н. Морозов¹, А.Е. Пророков²

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВОТ НА АБИТУРИЕНТОВ МЕЖДУ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В данной статье представлены варианты решения задач по управлению функционированием системы образования. Рассматривается пример решения задачи распределения квот на абитуриентов между учебными заведениями Мурманской области, все представленные в статье алгоритмы основываются на методах нечеткой логики.

Ключевые слова:

система подготовки кадров, нечеткая логика, управление.

I.E. Kirillov, I.N. Morozov, A.E. Prorokov

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO SOLVING THE PROBLEM OF APPLICANTS QUOTA ALLOCATIONS BETWEEN EDUCATIONAL INSTITUTIONS MURMANSK REGION

Abstract

This paper presents solutions to problems in managing the education system. An example of solving the problem of distribution of quotas for students between schools in the Murmansk region, are presented in the paper algorithms are based on the methods of fuzzy logic.

Keywords:

training system, fuzzy logic, control.

Введение

Важной задачей при управлении функционированием и развитием промышленных производств и экономики любого региона в целом является обеспечение наличия квалифицированных кадров в объеме, достаточном для удовлетворения спроса рынка труда. Особое внимание этому аспекту необходимо уделять в районах Севера России, где ограничен кадровый потенциал. Ключевую роль в решении задачи кадрового обеспечения промышленных предприятий играет эффективное управление функционированием и развитием системы профессионального образования (система ПО).

Пример решения задач управления функционированием системы ПО

Задача управления системой ПО является сложной, и может быть разделена на несколько основных составляющих частей. Одной из таких частей является задача распределения квот на абитуриентов между существующими учебными заведениями региона. В данной статье рассмотрен пример решения

¹ ИИММ КНЦ РАН

² Новомосковский институт РХТУ им. Менделеева

данной задачи для оценки возможных вариантов удовлетворения потребности ОАО «АПАТИТ» в специалистах по автоматизации технологических процессов и производств и по автоматизированным системам обработки информации и управления, на основании методики предложенной в [1].

По выбранным специальностям, для которых решается задача, в Мурманской области проводят обучение всего два ВУЗа - Мурманский государственный технический университет и Кольский филиал Петрозаводского государственного университета.

Таким образом, множество УЗ, для которых будет решена задача, состоит из двух элементов $Q=\{q1, q2\}$.

Далее необходимо ввести критерии оценки рассматриваемых учебных заведений, в качестве таких критериев можно выделить:

- стоимость обучения;
- качество обучения;
- наличие промышленных предприятий в районе расположения УЗ.

Следует отметить тот факт, что критерий “качество обучения” является относительным и может быть оценен различными способами, не всегда дающими одинаковый результат.

Таким образом, $C=\{c_1, c_2, c_3\}$ множество критериев, которыми оцениваются варианты. Задача состоит в том, чтобы упорядочить элементы множества Q по критериям из множества C .

Все критерии $c_i \in C$ представляются в виде нечеткого множества \tilde{c}_i , заданного на множестве Q следующим образом:

$$\tilde{c}_i = \left\{ \frac{\mu^i(c_1)}{q_1}, \frac{\mu^i(c_2)}{q_2}, \dots, \frac{\mu^i(c_m)}{q_m} \right\} \quad (1)$$

$\mu^i(c_j)$ - степень принадлежности элемента q_j к нечеткому множеству \tilde{c}_i .

Для определения степеней принадлежности, которые входят в (1) используется метод парных сравнений вариантов по каждому критерию. Общее количество таких матриц сравнения совпадает с количеством критериев и равняется 3.

Для введенных критериев в данной задаче матрицы парных сравнений имеют следующий вид:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A^2 = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A^3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где элемент a_{ij}^l оценивается экспертом по 9 -бальной шкале Саати.

Степени принадлежности, необходимые для формирования нечеткого множества, вычисляются по формуле:

$$\mu^i(c_j) = \frac{1}{a_{i1}^l + a_{i2}^l + \dots + a_{im}^l} \quad (3)$$

Степень принадлежности выбранных УЗ по каждому критерию в данном примере:

$$\mu^1(q_1) = \frac{1}{1+1} = 0.5, \quad \mu^1(q_2) = \frac{1}{1+4} = 0.2,$$

$$\mu^2(q_1) = \frac{1}{1+1} = 0.5, \quad \mu^2(q_2) = \frac{1}{1+4} = 0.2,$$

$$\mu^3(q_1) = \frac{1}{1+4} = 0.2, \quad \mu^{3^1}(q_2) = \frac{1}{1+1} = 0.5.$$

Базируясь на принципе Беллмана - Заде, наилучшей системой будет та, которая одновременно лучшая по критериям, поэтому после того как были вычислены все степени принадлежности УЗ находится пересечение нечетких множеств $D = \tilde{c}_1 \cap \tilde{c}_2 \cap \tilde{c}_3$ по формуле:

$$D = \left\{ \frac{\min_{l=1,2} \left\{ \frac{1}{q_l} \right\}, \min_{l=1,2} \left\{ \frac{1}{q_l} \right\}, \dots, \min_{l=1,2} \left\{ \frac{1}{q_m} \right\}}{q_1, q_2, \dots, q_m} \right\}. \quad (4)$$

В результате было получено: $D = \left\{ \frac{0.2}{q_1}, \frac{0.2}{q_2} \right\}$.

Таким образом, Кольский филиал Петрозаводского государственного университета не имеет преимуществ над Мурманским государственным техническим университетом.

Использование данного алгоритма обеспечит максимальную загрузку УЗ, которые обладают лучшими показателями по цене и качеству обучения специалистов определенного профиля, однако данный алгоритм обладает некоторыми ограничениями:

- он не учитывает месторасположение УЗ и мобильность абитуриентов;
- рейтинги должны формироваться по единому принципу для всех сравниваемых УЗ и могут быть различны для разных специальностей, в то время как распространенной является практика определения общего рейтинга УЗ.

В связи с указанными недостатками возникает потребность применения метода слияния целей и ограничений.

При использовании метода слияния целей и ограничений возьмем то же самое множество УЗ, которое использовалось в предыдущем примере - $Q = \{q_1, q_2\}$.

Задаем ограничения на нечеткую цель:

$$P_{ij}^- \leq \sum_{k=1}^m x_{kj} + y_{kj} + z_{kj} \leq P_{ij}^+ \Rightarrow 120 \leq \sum_{k=1}^2 x_k + y_k + z_k \leq 200.$$

Для каждой j-ой специальности можно представить как нечеткое множество с функцией принадлежности, определяемой по формуле 5.

$$\mu_G(m_k) = \begin{cases} 0, \sum_{k=1}^m x_k + y_k + z_k \leq 120 \\ (\sum_{k=1}^{10} x_k + y_k + z_k) / ((200) / 2), \sum_{k=1}^m x_k + y_k + z_k \leq (200) / 2 \\ ((200) / 2) / (\sum_{k=1}^m x_k + y_k + z_k), \sum_{k=1}^m x_k + y_{kj} + z_k \geq (200) / 2. \\ 0, \sum_{k=1}^m x_k + y_k + z_k \geq 200 \end{cases} \quad (5)$$

Нечеткие ограничения, влияющие на решение поставленной задачи, можно представить как нечеткие множества. Поскольку оба рассматриваемых ВУЗа являются крупными, то в качестве максимального ограничения на возможное количество подготавливаемых специалистов взято число двести:

$$\mu_c(x, y, z) = (1 + (\sum_{k=1}^m (x_k + y_k + z_k) - 200 / 2))^{-1}.$$

В качестве общего финансирования УЗ по данным специальностям принимается сумма 4 000 000 рублей.

$$\mu_D(x, y, z) = (1 / (1 + (4000000 - \sum_{i=1}^m 2000000))) .$$

Нечетким решением задачи планирования развития образовательной системы будет множество P , представляющее собой пересечение множества альтернатив и множеств ограничений: $P = D \cap C \cap G$.

Функция принадлежности для пересечений примет вид:

$$\mu_{D \cap C \cap G} = \begin{cases} 0, \sum_{k=1}^m x_{kj} + y_{kj} + z_{kj} \leq P_{ij}^- \\ \text{Min} (\mu_D, \mu_C, \mu_G), \sum_{k=1}^m x_{kj} + y_{kj} + z_{kj} \leq (P_{ij}^+ + P_{ij}^-) / 2 \\ \text{Min} (\mu_D, \mu_C, \mu_G), \sum_{k=1}^m x_{kj} + y_{kj} + z_{kj} \geq (P_{ij}^+ + P_{ij}^-) / 2 \\ 0, \sum_{k=1}^m x_{kj} + y_{kj} + z_{kj} \geq P_{ij}^+ . \end{cases} \quad (6)$$

Затем вычисляем значения функций принадлежности для всех возможных комбинаций УЗ, таких комбинаций всего две:

$$\mu_{D \cap C \cap G}(m_1) = 0.9, \quad \mu_{D \cap C \cap G}(m_2) = 0.9.$$

Полученного решения не свидетельствует о преимуществе какого-либо из выбранных учебных заведений, а, следовательно, о предпочтительности выделения максимального количества квот одному из них.

После решения задачи распределения квот может возникнуть ситуация в которой полученные решения по одним специальностям не будут удовлетворять спрогнозированной потребности рынка труда из-за нехватки финансирования

или производственных мощностей имеющихся УЗ. По другим специальностям размер необходимого финансирования может оказаться меньше, чем количество финансов, выделенных на подготовку данных специалистов. Так же могут оказаться незадействованными производственные мощности УЗ по подготовке определенных специалистов. В связи с этим необходимо перераспределить оставшееся финансирование между УЗ, подготавливающими специалистов, спрос на которых был не удовлетворен, и провести анализ возможности использования незадействованных производственных мощностей УЗ для подготовки специалистов схожих специальностей.

Для решения данной задачи необходимо определить приоритетные специальности для рынка труда региона и в первую очередь направить необходимое финансирование на подготовку кадров по этой специальности. При этом следует учитывать возможность организации курсов переподготовки для незанятых граждан, имеющих «родственную» специальность.

На третьем этапе формируется набор лингвистических правил формата ЕСЛИ-ТО. Например, правило «ЕСЛИ μ потребность = необходимые И μ системный администратор = идентично, И μ количество = очень мало, ТО возможность подготовки = высокая» связывает потребность в определенных специалистах и возможность их подготовки в общую оценку возможности подготовки. Полный набор вариантов таких правил очень велик. Поэтому априорно формулируются и принимаются к рассмотрению только те правила, которые соответствуют «здравому смыслу» (по мнению экспертов).

Затем производится операция дефазификации, т.е. сформулированные правила записываются в явном виде. В результате логического вывода определяется наиболее рациональный вариант для подготовки или переподготовки определенных специалистов.

Далее алгоритм решения сводится к следующему. Из множества решений удаляются решения, имеющие значение функции принадлежности меньше заданного экспертом. Из оставшихся решений выбирается лучший вариант и «выделяется» финансирование на его реализацию в необходимом или имеющемся объеме. Если выделенный объем финансирования обеспечивает удовлетворение спроса на специалистов рассматриваемой специальности, то все варианты, включающие данную специальность, исключаются из рассмотрения. Процедура продолжается до тех пор, пока не будет исчерпано финансирование, либо будет удовлетворен спрос на специалистов всех направлений.

В примере для ОАО «АПАТИТ» было получено решение, предполагающее удовлетворение спроса на требуемых специалистов за счет переподготовки специалистов в прикладной математике и информатике на базе КФПетрГУ.

Литература

1. Кириллов, И.Е. Постановка задачи планирования развития образовательной системы /И.Е. Кириллов, Л.С. Богатикова, А.Г. Олейник // Информационные технологии в региональном развитии: сб. научн. тр. ИИММ КНЦ РАН, вып. VII. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. – С.104-119.

Сведения об авторах

Кириллов Иван Евгеньевич

к.т.н, младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: kirillov@rambler.ru

Ivan E. Kirillov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A

Морозов Иван Николаевич

к.т.н, младший научный сотрудник. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.

Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.

e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov

Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS.

Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Пророков Анатолий Евгеньевич

к.т.н, заведующий кафедрой «Прикладная информатика» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева».

Россия, 601370, г. Новомосковск Тульская область, ул. Дружбы, д. 8.

e-mail: Prorokov@nmosk.ru

Anatoly E. Prorokov

Ph.D. (Tech. Sci.), head of the chair «Applied informatics» of the Novomoskovsk Institute (Branch of the Mendeleev Russian Chemical-Technological University).

УДК 004.7

З.В. Суворова

ДВУХУРОВНЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОДНОРАНГОВОЙ СЕТИ

Аннотация

В данной работе представлен принцип построения распределенных информационных сетей на базе мобильных узлов. В его основе лежит двухуровневая архитектура сети, ресурсы которой описываются в соответствии со спецификацией Dublin Core, что позволяет осуществлять семантический поиск в рамках данной сети.

Ключевые слова:

одноранговая сеть, дублинское ядро.

Z.V.Suvorova

TWO-LEVEL PROBLEM-ORIENTED PEER TO PEER NETWORKING

Abstract

This paper presents the principle of building distributed information network which consists of mobile nodes. It is based on a two-level network architecture. Resources of the network described in accordance with the specification Dublin Core, which allows the semantic search within the network.

Keywords:

peer to peer networking, Dublin core

1. Введение

Одними из наиболее перспективных сетевых технологий в области обеспечения отказоустойчивости и обмена большими объемами данных являются технологии одноранговых (или пиринговых, peer-to-peer, p2p) сетей, которые объединяют десятки миллионов компьютеров по всему миру и находят широкое применение в таких областях как: трансляция потокового мультимедиа (Skype), обмен файлами (BitTorrent), распределенные вычисления и др.

Технологии, на базе которых строятся пиринговые сети, весьма разнообразны. Обычно принято делить их на два больших класса – централизованные (BitTorrent, eDonkey2000) и децентрализованные (Skype, OpenDC++). При этом децентрализованные сети, по крайней мере, теоретически, превосходят централизованные практически по всем характеристикам, однако имеют существенный недостаток - большой объем генерируемого служебного трафика (поисковые пакеты, пакеты синхронизации данных и пр.).

Одним из возможных решений задачи снижения объема побочного трафика p2p сети и уменьшения времени поиска данных является использование архитектуры сети, в которой каждый узел имеет минимум соединений с другими узлами.

В данной статье предлагается метод организации двухуровневой децентрализованной пиринговой сети, узлы которой могут быть классифицированы в определенные группы согласно тематике находящейся в узлах информации.

2. Недостатки существующих систем как обоснование разработки новой архитектуры

Основные параметры узлов при организации децентрализованной пиринговой сети:

- все узлы равноправны;
- каждый узел хранит информацию, которая структурирована в рамках единого для всей системы классификатора;
- узел предоставляет возможность поиска информации как локально, так и по всей системе.

При такой архитектуре сети поиск информации может осуществляться следующими способами:

1. При получении запроса на поиск узел инициирует поиск у себя локально и опрашивает все остальные узлы сети. Затем по мере поступления информации формирует отчет на запрос пользователя и предъявляет этот отчет. Такой тип поиска условно можно назвать рекурсивным.

2. Предположим, что каждый узел имеет полный список всех ресурсов всех узлов сети, возможно ограниченный для поиска информации только с определенными характеристиками. Этот список реплицируется на все узлы сети. Узел инициирует поиск строго в рамках своей локальной копии полного списка и формирует ответ пользователю. Такой поиск можно обозначить как локальный.

Поскольку при рекурсивном поиске узел, выполнивший запрос, вынужден ждать ответа от всех узлов сети, время получения ответа конечным пользователем будет определяться откликом самого медленного узла (таковым будет являться наиболее загруженный или наименее производительный хост), а также временем отклика узлов сети при выполнении запросов от одного узла к другому. Кроме того, существенным недостатком такой архитектуры будет являться ее слабая устойчивость к отказам (например, при нарушении связи с отдельными узлами). В случае недоступности хотя бы одного узла, хранящего хотя бы небольшую часть необходимой пользователю информации, поиск будет если не невозможен, то сильно затруднен – будут возникать задержки при поиске, причем при увеличении количества узлов системы вероятность отказов и количество и длительность таких задержек будут только расти.

Вторая модель является лучше масштабируемой и более надежной. Продолжительность поиска на конкретном узле напрямую зависит от его производительности. Однако очевидным недостатком такой архитектуры является то, что полный список всех ресурсов сети должен быть реплицирован на все хосты в сети, что порождает огромный служебный трафик внутри сети (момент первоначального распространения списка + периодическая синхронизация в случае изменения перечня хранимых ресурсов хотя бы на одном узле). Кроме того, необходимость хранения списка на всех хостах предъявляет дополнительные требования к узлам сети в плане организации дискового пространства, вычислительных ресурсов и мобильности [3].

Очевидно, что ни одна из этих архитектур в полной мере не удовлетворяет требованиям доступности и высокой надежности.

3. Описание двухуровневой архитектуры

Анализ децентрализованных пиринговых сетей показал, что лишь 25% узлов находятся в сети более 24 часов, а около 40% - менее 4 часов. Кроме того, служебный трафик (так называемые запросы «ping-pong», используемые для определения доступности узлов, т.е. поддержания непрерывного сетевого взаимодействия) составляет более 50% всего трафика сети, а объем «полезного» трафика (пользовательские запросы) - около 10% [1]. Таким образом, чтобы существенно сократить объем вспомогательного трафика, следует, прежде всего, добиться сокращения количества запросов «ping-pong». В предлагаемой архитектуре количество таких запросов сокращается за счет того, что они распространяются не между всеми хостами сети (что и перегружает сеть), а среди некоторых групп узлов.

С учетом указанных выше статистических данных – мобильности большинства узлов – можно построить классификацию узлов по признаку постоянства нахождения узла в составе сети.

В результате такой классификации образуется двухуровневая организация узлов, входящих в сеть:

1-й уровень: узлы, которые обладают высокой доступностью и участвуют в процессе приема и отдачи данных, находясь в составе сети практически постоянно;

2-й уровень: узлы, обладающие высокой мобильностью, которые преимущественно получают информацию и хранят небольшие объемы данных. Роль таких узлов исполняют преимущественно мобильные (подвижные) узлы.

Такое разделение узлов потенциально позволит снизить объем вспомогательного трафика за счет «перекладывания» некоторых функций на хосты первого уровня; при этом снижается нагрузка на мобильные узлы второго уровня.

Хосты, выделенные в верхний уровень, назовем мастер-хостами, или концентраторами, остальные хосты остаются обычными узлами. Мастер-хосты должны обрабатывать основной поток трафика и отвечать на запросы поиска, доступности, а также отслеживать появление мобильных узлов сети, т.е. обладать достаточными вычислительными ресурсами и способностью поддерживать множественные соединения, которые поступают от других хостов (в том числе и от тех, которые располагаются на уровне ниже). К мобильным узлам предъявляемые требования значительно ниже с точки зрения вычислительных возможностей, в роли обычных узлов могут выступать мобильные устройства. Функциональность таких узлов сравнительно ниже, но не является «тонкой» архитектурой с точки зрения задач поиска, хранения и индексирования данных.

Взаимодействия между хостами организованы в виде следующих задач:

- При *первичном подключении к сети* на клиентском приложении каждого хоста имеется список адресов мастер-хостов. Делая свой первый запрос какому-либо из мастер-хостов из списка, узел подключается к сети.

- *Индексирование ресурсов.* Узел после включения его в сеть генерирует сообщение, содержащее структуру, описывающую все разделяемые данные, и отправляет его мастер-хосту, который в свою очередь инициирует обновление реестра данных на остальных мастер-хостах. На основании этой структуры мастер-хост строит индекс, который в дальнейшем используется при обработке поисковых запросов.

- Мастер-хосты взаимодействуют с другими мастер-хостами посредством широкополосной передачи.

- *Опрос доступности узла.* Каждый узел должен регулярно опрашивать узлы из своего списка на предмет доступности. Это реализуется запросами Ping-Pong: отправляя запрос Ping какому-либо узлу, получатель запроса в ответ формирует запрос Pong, который означает присутствие в сети в данный момент. Список узлов «соседей» строится в соответствии с алгоритмом, описанным ниже.

- *Поисковые запросы.* Узлы первоначально взаимодействуют с узлами из своего списка. В случае, если на них отсутствует необходимая информация, запрос перенаправляется мастер-хосту.

4. Описание ресурса с помощью дублинского ядра (метаданные ресурсов)

Поскольку в описываемой архитектуре предлагается каждому хосту поставить в соответствие определенную область интересов, зависящую от тематики хранимых ресурсов, необходимо определить структуру, которая бы описывала данные, хранящиеся на узлах. Метаданные, описывающие разделяемые ресурсы, должны быть представлены структурой с определенным набором полей, которая хранит информацию о наиболее важных параметрах описываемых данных. Например, музыкальный файл может описываться именем исполнителя, названием, альбомом, годом записи и другими параметрами. В качестве стандарта для описания данных можно взять действующий в РФ ГОСТ Р 7.0.10-2010 (ИСО 15836:2003) "Национальный стандарт российской федерации". Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Набор элементов метаданных "Дублинское ядро".

Дублинское ядро (Dublin Core, DC) можно понимать как компактный язык для разработки формализованных утверждений определенных типов, описывающих ресурсы.

1) Simple Dublin Core – простой уровень, который еще называется неквалифицированным;

2) Qualified Dublin Core – квалифицированный уровень.

Простой уровень состоит из 15 базовых элементов, квалифицированный уровень содержит еще один элемент – Audience, а также группу квалификаторов (атрибутов) базовых элементов, позволяющих уточнять информацию из базовых элементов метаописаний.

Каждый элемент DC является опциональным (необязательным) и может повторяться в метаописании сколько угодно раз. Кроме того, порядок элементов в метаописании также никак не регулируется. Порядок, в котором несколько экземпляров одного и того же элемента (например, Creator – создатель) входят в метаописание, может иметь значение в некоторых системах. Однако не гарантируется, что этот порядок будет сохраняться в других реализациях. Упорядочение зависит от синтаксиса, в котором реализуется дублинское ядро.

Простой набор элементов метаданных Дублинского ядра (Dublin Core Metadata Element Set; DCMES):

1. Title — название;
2. Creator — создатель;
3. Subject — тема;
4. Description — описание;
5. Publisher — издатель;
6. Contributor — внёсший вклад;

7. Date — дата;
8. Type — тип;
9. Format — формат документа;
10. Identifier — идентификатор;
11. Source — источник;
12. Language — язык;
13. Relation — отношения;
14. Coverage — покрытие;
15. Rights — авторские права.

Квалифицированный (компетентный) набор элементов метаданных Дублинского ядра, помимо 15 вышеперечисленных, может включать:

- Audience — аудитория (зрители);
- Provenance — происхождение;
- RightsHolder — правообладатель.[5]

Основываясь на метаданных, полученных с помощью «Дублинского ядра», далее предлагается классифицировать ресурсы по семантике и организовать тематический поиск данных.

5. Реализация поискового запроса

Каждый узел после подключения к одноранговой сети производит построение списка данных, которые он содержит. Каждому ресурсу при этом поставлен в соответствие файл, содержащий описание этого конкретного ресурса в виде дублинского ядра. Такие файлы с описаниями формируются при выставлении этого ресурса в общий доступ (в клиентском приложении заполняются соответствующие поля), причем для дальнейшей организации и корректной работы семантического поиска обязательно задаются понятия, связанные с тематикой этого ресурса, или ключевые слова. Затем сформированный список всех ресурсов хоста с их описаниями в виде дублинского ядра отсылаются на мастер-хост. Концентраторы, таким образом, получают информацию обо всех данных, хранящихся на всех хостах. Используя эту информацию, мастер-хосты могут выделить в отдельные кластеры хосты, объединенные общей областью интересов, которая задается пользователем самостоятельно как его область интересов либо определяется по процентному соотношению хранимых данных по конкретной тематике к общему объему хранимых данных (т.е. если большая часть хранимых данных данного хоста имеет в поле Subject в DC заголовок «кулинария», то этот хост прикрепляется к группе хостов, имеющих большинство информации на эту же тему). Сами мастер-хосты также определяют собственные области интересов и участвуют в поиске наравне с обычными узлами.

Адресный реестр узлов, находящихся в той же области интересов, что и данный хост, отправляется хосту и далее он взаимодействует с узлами из этого списка. Если затем какой-либо хост инициирует тематический поисковый запрос и не находит запрашиваемый ресурс у себя локально, он инициирует поиск внутри своей группы, а если и этот поиск не дает результатов, то обращается к мастер-хосту, который запускает процедуру поиска по копиям списков ресурсов, хранящихся у них и перенаправляет на тот хост, на котором было найдено совпадение. Стоит отметить, что группа узлов, близких по интересам, может расширяться за счет большого числа

взаимодействий с каким-либо другим узлом не из данной группы, а также может уменьшаться за счет выведения из списка наиболее неактивных узлов.

Поиск в такой сети возможен как по ключевым словам, автору, названию, так и по любому полю, представленному в дублинском ядре.

6. Заключение

Данная архитектура разработана с учетом требования к мобильности узлов, а также с целью снижения «накладных расходов» одноранговой сети и добавления возможности семантического поиска. Практически в любой сети существуют узлы, которые являются доступными большую часть времени. При этом многие другие узлы подключаются к сети время от времени и не обладают высокой ресурсоемкостью (как объем хранимой информации, так и вычислительные мощности). Такими узлами, прежде всего, являются подвижные, мобильные узлы. В связи с этим естественным будет разделение узлов по этому принципу на функционально более отягощенные и более облегченные узлы; при этом снижается объем служебных запросов за счет «сужения» областей передачи служебных данных.

Такая архитектура не является полностью децентрализованной, однако задачи распределенного хранения данных и их передачи соответствуют таковым в одноранговых сетях.

Использование в качестве описания ресурса общепринятого стандарта «дублинское ядро» задает общий классификатор для тематического разделения ресурсов.

Литература

1. Matei, Ripeanu. Mapping the Gnutella Network: Properties of Large-Scale Peer-to-Peer Systems and Implications for System Design / Matei Ripeanu, Ian Foster, Adriana Iamnitchi // IEEE Internet Computing. - 2002. - Vol. 6, Issue 1. - pp. 50-57.
2. Алексеев, И.В. Разработка протокола уровня приложений для организации мобильной файлообменной пиринговой сети / И.В. Алексеев, А.В. Лукьянов // Информатизация образования и науки. - 2009. - №4. - С.75-88.
3. Манцивода, А.В. Объектные модели и распределенные системы знаний / А.В. Манцивода, Н.О. Стукушин // Известия Иркутского государственного университета. - 2010. - Т.3, №4. - С.65-79.
4. Рожков, М.М. Разработка моделей поиска структурированной информации в пиринговой сети / М.М. Рожков // Дистанционное и виртуальное обучение. - 2009. - №12. - С.65-72.
5. Dublin Core Metadata Initiative. - Режим доступа: <http://dublincore.org/>

Сведения об авторах

Суворова Зоя Викторовна

стажер-исследователь. Учреждение Российской академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 24А.
e-mail: shirokova@iimm.kolasc.net.ru

Zoya V. Suvorova

probationer-researcher. Institution of Russian Academy of Sciences, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes, Kola Science Center of RAS. Russia, 184209, Apatity Murmansk region, Fersman St. 24A.

Научное издание

ТРУДЫ
Кольского научного центра РАН
4/2011(7)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
Выпуск 2

Технический редактор Мигулян С.И.
Редактор Малыгина С.Н.

Лицензия ПД № 00801 от 6 октября 2000 г.

Подписано к печати 20.12.2011 г.

Формат бумаги 60x84 1/8

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cirillic

Усл. печ. л. 31.7. Заказ № 28. Тираж 100 экз.

Российская Академия Наук

Ордена Ленина Кольский научный центр им. Кирова

Отпечатано подразделением оперативной полиграфии

Кольского филиала Петр ГУ.

184209, г. Апатиты, Мурманская область, Космонавтов, 3