

Российская Академия Наук

ТРУДЫ

3/2017(8)

издается с декабря 2010 г.

УДК 004.9
ISSN 2307-5252

Кольского научного центра

Главный редактор –
д.г.-м.н., проф. Ю.Л. Войтеховский

Заместители главного редактора:
д.г.-м.н., проф. В.П. Петров,
д.т.н., проф. В.А. Путилов

Редакционный совет:
академик Г.Г. Матишов,
академик Н.Н. Мельников,
чл.-корр. В.К. Жиров,
чл.-корр. А.Н. Николаев,
д.э.н. Ф.Д. Ларичкин,
д.т.н. В.А. Маслобоев,
д.г.-м.н. В.П. Петров (зам. главного
редактора), д.т.н. Б.В. Ефимов,
д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (отв. секретарь)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Выпуск 8

Редколлегия серии
«Информационные технологии»:
профессор, д.т.н. В.А. Путилов (отв. редактор),
д.т.н. А.Г. Олейник (зам. отв. редактора),
д.т.н. А.В. Горохов,
д.т.н. В.Е. Марлей

Научное издание

Технический редактор: В. Ю. Жиганов
Редактор Мигуляна С.И.

Подписано к печати 12.12.2017. Формат бумаги 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 15.0. Заказ № 39. Тираж 100 экз.
ФГБУН КНЦ РАН
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14

184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, ул. 14,
Кольский научный центр РАН
Тел.: (81555) 79393, 79380, факс: (81555) 76425
E-mail: admin@admksk.apatity.ru, <http://www.kolasc.net.ru>

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт информатики и математического моделирования технологических
процессов Кольского научного центра Российской академии наук, 2017
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	8
В.А. Путилов А.В. Маслобоев В.В. Быстров	9
М.Г. Шишаев С.Ю. Яковлев	28
Д.Н. Халиуллина	38
А.С. Шемякин	44
С.Ю. Яковлев	54
В.В. Быстров М.Г. Шишаев	62
Д.Н. Халиуллина В.В. Быстров С.Н. Малыгина	69
А.В. Вицентий М.Г. Шишаев А.А. Ершова Г.Г. Гогоберидзе	77
Д.Н. Халиуллина С.Н. Малыгина В.В. Быстров	89

А.А. Зуенко	Моделирование физических систем в рамках парадигмы программирования в ограничениях	98
В.В. Диковицкий	Семантический анализ текста с применением нейросетевого анализа морфологии и синтаксиса	109
А.А. Павлов О.И. Датьев	Проблемы использования средств тестирования многошаговых беспроводных сетей	116
В.В. Бирюков В.Ф. Скороходов Р.М. Никитин А.Г. Олейник	Формирование моделей технологических схем переработки редкометалльного минерального сырья с использованием методов системного анализа	124
И.Н. Морозов И.Е. Кириллов	Применение методов нечеткой логики для создания системы автоматического регулирования дробления руды различной крепости дробилкой крупного дробления ККД 1500/180	135
Е.В. Балбукова А.Г. Олейник	Разработка системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса теплоэнергетического оборудования	144
В.В. Диковицкий М.М. Панфилов А.А. Менькова	Программно-аппаратный комплекс удаленного присутствия	156
А.В. Авдеев А.С. Шемякин	Автоматизация конвертации документов MS Office в формат pdf на веб-сервере под управлением CentOS Linux	166

Russian Academy of Sciences

3/2017(8)

Published since 2010

transactions

UDC 004.9
ISSN 2307-5252

Kola Science Centre

Editor-in-Chief –

Yu. L. Voitehovsky, Dr.Sc.,
(Geology and Mineralogy), Prof.

Deputy Editors-in-Chief:

V.P. Petrov, Dr.Sc.
(Geology and Mineralogy), Prof.
V.A. Putilov, Dr. Sci., Prof.

Editorial Council:

G.G. Matishov, Acad. of RAS,
N.N. Melnikov, Acad. of RAS,
V.K. Zhiron, Cor. Member of RAS,
A.N. Nikolaev, Cor. Member of RAS,
F.D. Larichkin, Dr.Sc. (Economics),
V.A. Masloboev, Dr.Sc. (Engineering),
V.P. Petrov, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy),
B.V. Efimov, Dr.Sc. (Engineering),
E.D. Tereshchenko, Dr.Sc. (Physics and
Mathematics),
A.N. Vinogradov, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy) –
Executive Secretary

**INFORMATION
TECHNOLOGIES**
Series 8

V.A. Putilov, Dr.Sc., Prof. (Editor-in-Chief),
A.G. Oleynik, Dr.Sc. (Eng.) (Vice Editor-in-Chief),
A.V. Gorokhov, Dr.Sc. (Eng.),
V.A. Marley, Dr.Sc. (Eng.)

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
Tel. (81555)79393, 79380. Fax: (81555)76425
E-mail: admin@admksk.apatitu.ru <http://www.kolasc.net.ru>

© Establishment of Russian Academy of Sciences Institute for Informatics and
Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center
RAS, 2017

© The Branch of Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, 2017

CONTENTS		Page
	Introduction	7
V.A. Putilov A.V. Masloboev V.V.Bystrov	Modeling of regional security control processes	9
M.G. Shishaev S.Yu. Yakovlev	Conceptual basis for assesment of societal security as a factor of sustainable development of the region	28
D.N. Khaliullina	Problems of information support in solving tasks of regional security management	38
A.S. Shemyakin	Problems and technical-organizational aspects of regional safety passport development	44
S.Yu. Yakovlev	The problem of uncertainty accounting at regional safety management	54
V.V. Bystrov M.G. Shishaev	Fundamentals of information technology of automated synthesis of randomized complex models of migration	62
D.N. Khaliullina V.V. Bystrov S.N. Malygina	Development of prototype of multi-model complex for modeling processes of the eurasian continent migration	69
A.V. Vicentiy M.G. Shishaev A.A. Ershova G.G. Gogoberidze	Conceptual model of regional maritime activities as a basis for information support systems for marine spatial planning	77
D.N. Khaliullina S.N. Malygina V.V. Bystrov	Project activities in the field of development of innovative potential of single-industry towns in the arctic zone of the russian federation	89

A.A. Zuenko	Modelling of physical systems within the framework of the paradigm of constraint programming	98
V.V. Dikovitskiy	Improving quality of visualization by changing the convergence angle	109
A.A. Pavlov I.O. Datyev	Problems of using instruments for testing multihop wireless networks	116
V.V. Birukov V.F. Skorokhodov R.M. Nikitin A.G. Oleynik	Creation of the flow chart models for rare-metal mineral raw material processing using system analysis methods	124
I.N. Morozov I.E. Kirillov	Application of fuzzy logic methods for creating a system of automatic regulation of ore crushing various fortress by crushing crushed crushing ККД 1500/180	135
E.V. Balbukova A.G. Oleynik	Development of the system for automated monitoring and forecasting of residual resource of heat-power engineering equipment	144
V.V. Dikovitskiy M.M. Panfilov A.A. Menkova	Program-hardware complex of remote presence	156
A.V. Avdeev A.S. Shemyakin	Automating conversion of ms office documents to pdf on a web server running CentOS Linux	166

INTRODUCTION

The series "Information Technology" represents the research and development results in the field of creation and development of methods, models, information technology and systems to support of tasks solving in a wide range of activity areas. Presented works were performed as within the framework of governmental assignments, well as with the support of RFBR grants.

A significant part of the works included in the eighth issue of the "Information Technologies" series of the Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences is devoted to the analysis, modeling and automation of regional security management processes. In these papers the results of the study of systemic connections, regularities and trends that determine the security of the development of regional socio-economic systems are presented. Problems formulations and variants of number tasks formalization of regional security management are proposed. In particular, the problem of assessing societal security as one of the key factors for sustainable regional development and various approaches to formalizing the uncertainties essential for managing regional security are considered. The components and principles of using the information technology to automated synthesis of population migration models are determined. The technology being developed is based on the joint use of system dynamics methods, randomized and ontological modeling. Special attention is paid to the development of means for solving problems of intellectual information support for spatial planning management of regional sea economic complexes that play an important role in the strategic development plans of the Murmansk region.

Along with the works on issues of conceptual and methodological levels, this publication includes articles on the development of solutions for the development of tools for the formation of the "digital economy". Among them, the original approach, which allows to model physical systems within the framework of the programming paradigm in constraints by using specialized matrix-like structures. The mathematical apparatus of the approach provides the opportunity, without changing the mechanisms of formal output, to receive from information systems answers to questions of various types: prognostic, diagnostic and management. Also the service of semantic analysis for text in natural language is presented in the number. The service implements the formation of a semantic domain model on the basis of a documents collection, which greatly expands the possibilities of automated "sense recognition" of the analyzed texts.

The research on the development and creation of information technology to support the management of industrial facilities and technological processes do not lose their relevance. Urgency is due both to the need to improve the efficiency of the organizational and technological processes of mining and processing of mineral raw materials, which playing one of the key roles in the region's economy, and exacerbating the problems of ensuring the stable functioning of aging equipment in a number of industries. Solving the problems of production management requires mandatory accounting with technological and economic, environmental and social factors in modern conditions.

This is the first issue that includes papers supported after the competitive selection under the program "Smart Person" (Participant of Youth Scientific-Innovative Competition).

The series 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 specialists of higher education.

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть работ, вошедших в восьмой выпуск серии «Информационные технологии» Трудов Кольского научного центра РАН посвящена вопросам анализа, моделирования и автоматизации процессов управления региональной безопасностью. В этих работах представлены результаты исследования системных связей, закономерностей и тенденций, определяющих безопасность развития региональных социально-экономических систем. Предложены постановки и варианты формализации ряда задач управления региональной безопасностью. В частности, рассмотрены проблема оценки социетальной безопасности как одного из ключевых факторов устойчивого регионального развития и различные подходы к формализации неопределённостей, существенных для управления региональной безопасностью. Определены компоненты и принципы использования информационной технологии автоматизированного синтеза комплексных моделей миграции населения. Разрабатываемая технология основана на совместном использовании методов системной динамики, рандомизированного и онтологического моделирования. Отдельно внимание уделено разработке средств решения задач интеллектуальной информационной поддержки управления пространственным планированием региональных море-хозяйственных комплексов, играющих важную роль в планах стратегического развития Мурманской области.

Наряду с работами, касающимися вопросов концептуального и методологического уровня, в данное издание включены статьи, посвященные разработке решений в сфере развития инструментов формирования «цифровой экономики». Среди них оригинальный подход, позволяющий моделировать физические системы в рамках парадигмы программирования в ограничениях с использованием специализированных матрицеподобных структур. Математический аппарат реализации данного подхода обеспечивает возможность без изменения механизмов формального вывода получать от информационных систем ответы на различные вопросы прогностического, диагностического и управленческого типов. Также в выпуске представлен сервис семантического анализа текста на естественном языке, реализующий формирование семантической модели предметной области на основе коллекции документов, что значительно расширяет возможности автоматизированного «распознавания смысла» анализируемых текстов.

Не теряют своей актуальности исследования в области разработки и создания информационных технологий поддержки управления промышленными объектами и технологическими процессами. Актуальность обусловлена как необходимостью повышения эффективности организационных и технологических процессов добычи и переработки минерального сырья, играющих одну из ключевых ролей в экономике региона, так и обострением проблем обеспечения устойчивого функционирования стареющего оборудования в ряде отраслей экономики. В современных условиях решение задач обеспечения эффективности производств требует обязательного учета наряду с технологическими также экономических, экологических и социальных факторов.

В настоящий выпуск впервые включены работы, получившие поддержку в результате конкурсного отбора по программе «Умник» («Участник молодежного научно-инновационного конкурса»).

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.

В.А. Путилов, А.В. Маслобоев, В.В. Быстров

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ*

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы анализа, моделирования и автоматизации процессов управления региональной безопасностью. Исследованы системные связи, закономерности и тенденции, определяющие безопасность развития региональных социально-экономических систем. Предложены постановка и формализация общей задачи управления региональной безопасностью на основе матрицы безопасности региона и проектного подхода. Разработаны концептуальные модели жизненного цикла управления региональной безопасностью в условиях кризисных ситуаций и системы управления безопасностью региона. Реализация разработок позволяет осуществить автоматизированный синтез онтологических и имитационных моделей управления безопасностью и их последующее использование в составе интеллектуальных систем поддержки принятия решений по обеспечению региональной безопасности на базе ситуационных центров региона.

Ключевые слова:

концептуальное моделирование, проектный подход, управление, региональная безопасность, жизненный цикл, информационная поддержка.

V.A. Putilov, A.V. Masloboev, V.V. Bystrov

MODELING OF REGIONAL SECURITY CONTROL PROCESSES

Abstract

The work considers control processes analysis, modeling and automation problems of regional security. System relations, regularities and tendencies, adjusting risk-sustainable development of regional socio-economic systems, have been investigated. General problem statement and formalization of regional security control on the basis of region safety matrix and project management approach have been proposed. Conceptual models of the regional security control life-cycle under crisis situation and security control system of the region have been developed. The developments implementation allows ontological and simulation security control model automated synthesis realization and its further application within the intelligent decision support system of situational center for region safeguarding.

Key words:

conceptual modeling, project management approach, control, regional security, life-cycle, information support.

Введение

В последние годы вопросам обеспечения безопасности в различных сферах на разных уровнях государственного управления уделяется особое внимание. Особенно остро проблемы безопасности проявляются на региональном уровне. Поэтому именно сегодня назрела объективная необходимость в

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - проект № 15-07-04290-а.

разработке и внедрении в области государственного управления средств поддержки принятия решений нового поколения, включая обучаемые нейронные сети, профессиональные социальные сети, мультиагентные и киберфизические (виртуальные) системы. Однако, эта задача еще далеко от эффективного решения.

Успешное внедрение современных информационных систем и технологий, высокая степень автоматизации процессов принятия управленческих решений предоставляют новые возможности для повышения эффективности процессов управления безопасностью сложных социально-экономических объектов, к которым относятся региональные системы.

Современные средства информационной поддержки управления безопасностью социально-экономических систем зачастую оказываются функционально ограниченными и не всегда обеспечивают субъектов управления полной и аналитически обоснованной информацией о состоянии развития этих систем для принятия эффективных управленческих решений, особенно в условиях кризисных ситуаций в социально-экономической сфере. Очевидно, что устранение этих противоречий на практике представляет собой достаточно важную задачу и, в свою очередь, требует разработки единой и конструктивной теории, позволяющей с общих методологических позиций оценивать существующее положение дел в области управления безопасностью региональных социально-экономических систем (далее – региональной безопасностью). Трудностей добавляет отсутствие формализованной постановки проблемы управления региональной безопасностью и формального аппарата для комплексного решения этой проблемы. Такие ключевые факторы в совокупности обуславливают необходимость проработки широкого круга вопросов, связанных с моделированием данной предметной области и с автоматизацией синтеза гибких систем управления региональной безопасностью.

Работа посвящена развитию теоретических основ управления безопасностью сложных систем в части разработки методологии информационной поддержки принятия решений в сфере обеспечения безопасности региональных социально-экономических систем, а также в части создания формального аппарата и средств автоматизации управления в этой области.

1. Понятийный аппарат и теоретические основы исследования

К настоящему времени не сложилось однозначного определения региональной безопасности. Каждый исследователь вкладывает в него тот смысл, который наиболее близок к его сфере научных интересов. Многие исследователи связывают региональную безопасность с понятием устойчивого развития и применяют его к различным территориальным образованиям (регионам, странам и их частям).

В широком понимании безопасность означает функционирование определенных компонентов социально-экономической системы в благоприятных условиях. Однако, в реальной жизни всегда существуют угрозы и опасности различной природы, которые необходимо учитывать при управлении сложной системой. В связи с этим, обеспечение безопасности проявляется в способности общества и государства противостоять им, адекватно реагировать или минимизировать их негативные последствия [1].

На государственном уровне понятие «безопасность» в современной России было определено в Федеральном законе «О безопасности» от 5 марта 1992 г. как «состояние защищённости жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз» [2]. Многие эксперты отмечают, что с каждым годом границы между внутренними и внешними угрозами стираются как следствие активной интеграции Российской Федерации в мировое сообщество.

В работе термин «региональная безопасность» определяется авторами как состояние защищенности региональной системы, при котором действие внешних (глобальных) и внутренних (локальных) факторов не приводит к ухудшению или к невозможности ее функционирования и развития [3].

Стоит отметить, что принятие решений в области обеспечения региональной безопасности является сложной и трудоемкой задачей, требующей привлечения экспертов из разных областей знаний, обработку разнородной многомерной информации, построение прогнозов для различных сценариев развития региона. Современные информационные технологии и системы поддержки принятия решения в сфере региональной безопасности ориентированы на снижение сложности и ресурсопотребления задач управления, а также на повышение качества принимаемых решений.

Одним из вариантов создания информационных технологий и средств поддержки принятия решений в сфере управления региональной безопасностью является использование имитационного моделирования. Комплексы проблемно-ориентированных имитационных моделей применяются для прогнозирования возможных вариантов развития ситуации в регионе в зависимости от заданных сценарных условий. Полученный прогноз дает аналитическую информацию, предназначенную для последующего анализа и выработки рекомендаций для принятия обоснованных решений.

Основная идея работы заключается в рассмотрении мероприятия, тем или иным образом приводящего к изменению состояния региональной безопасности, как отдельного проекта в терминах проектного менеджмента.

На сегодняшний день проектный менеджмент является достаточно проработанной областью знаний, проблемами которой занимаются как научно-исследовательские коллективы [4 - 9], так и различные ассоциации предприятий и организаций в России и за рубежом. Значимым фактом, подтверждающим высокую степень детализации проектного менеджмента, является разработки и внедрение в деятельность хозяйствующих субъектов соответствующих международных стандартов (ISO 21500:2014 «Управление проектами», руководство PMBOK v.4, методология IPMA, методология PRINCE2 и др. [10, 11]. Данные стандарты регламентируют основные процессы, их процедуры проведения и участников в рамках выполнения отдельного проекта или совокупности проектов.

Практика применения теории управления проектами показала, что существуют определенные проблемы при внедрении ее принципов в деятельность конкретных предприятий. Основные из них заключаются в принятии недостаточно обоснованных управленческих решений относительно выбора и назначения исполнителей на выполнение отдельных работ по проекту, а также наличие несовпадающих целевых установок у различных заинтересованных лиц. При поддержке принятия решений в задачах управления

проектом используются, как правило, модели оптимального назначения, где в качестве исходных данных используются сведения о сроках и длительности реализации и необходимых для этого ресурсов, которые по факту могут быть изменены в случае использования иных подходов к выполнению. При этом эффективное использование на практике таких моделей является достаточно проблематичным из-за необходимости комплексного учета дополнительных факторов, способных оказать значительное влияние на ход и качество выполнения проектных работ [6].

Под проектом понимается ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией [7].

Проект в сфере обеспечения региональной безопасности – комплекс антикризисных мероприятий, проводимых субъектами регионального управления и заинтересованными лицами с целью получения определенных результатов требуемого качества, непосредственно или опосредованно влияющих на состояние социально-экономического развития региона с учетом ограничений на использование различного типа ресурсов (временных, финансовых, кадровых, материальных и др.). Цели определяются на основе анализа принятой стратегии социально-экономического развития региона и текущих проблем регионального развития.

Примерами проектов в сфере экономической безопасности исследуемого региона (Мурманской области) являются формирование эффективных инновационных структур, ориентированных на создание социально значимых объектов на территории Мурманской области, а также сети малых инновационных предприятий и научно-образовательных структур для поддержки устойчивого развития моногородов Севера России.

Жизненный цикл проекта - установленная последовательность фаз от начала до завершения проекта.

Стейкхолдер или заинтересованное лицо – лицо, принимающее решение, или организационная структура, которые могут участвовать в выполнении проекта или оказывать воздействие на ход его реализации, реализуя тем самым ту или иную программу управления.

Жизненный цикл управления проектом – последовательность выполнения определенных задач управления, каждой из которых соответствует конкретная фаза жизненного цикла проекта.

Управление проектами - область деятельности, в ходе которой определяются и достигаются четкие цели проекта при балансировании между объемом работ, ресурсами, временем, качеством и рисками.

Существуют различные классификации проектов [7]. Тип проекта определяет его свойства и характеристики, а также выбор методов принятия управленческих решений. В сфере обеспечения региональной безопасности преимущественно реализуются долгосрочные организационно сложные смешанные мегапроекты, а также модульные оперативные и стратегические программы управления региональным развитием.

Известны следующие методы и подходы для решения задач управления проектами:

1) Календарно-сетевое планирование и управления. В основе данного подхода лежит математический аппарат теории графов, позволяющий решать сложные оптимизационные задачи, используя методы дискретной математики.

2) Качественный подход к управлению проектами, близкий по своей методологии к менеджменту организаций и развиваемый, в основном, зарубежными учеными.

3) Количественный подход, основывающийся на анализе и синтезе математических моделей механизмов управления проектами и процедурах принятия управленческих решений. Данный подход оперирует комбинациями методов теории игр, исследования операций, имитационного моделирования, математической экономики, теории активных систем, а также программно-целевого и ситуационного планирования.

Позиционируя проводимое исследование в рамках приведенных подходов, можно сказать, что разрабатываемая информационная технология поддержки управления проектами в сфере обеспечения региональной безопасности использует комбинацию двух направлений – количественного и календарно- сетевого планирования и управления. При этом выбор математической модели того или иного типа определяется характеристиками решаемой задачи управления и заданными условиями для каждой конкретной ситуации.

Для эффективного управления региональными социально-экономическими системами создаются разнообразные информационные технологии и средства, ориентированные на подготовку рекомендаций лицам, принимающим решения. Выработка рекомендаций обычно осуществляется за счет прогнозирования возможных вариантов развития ситуации и/или агрегирования разнородной информации, полученной из различных источников. Указанные действия выполняются на основе определенных формальных моделей, позволяющих представить состав и взаимосвязи между компонентами системы управления, а также описать протекающие в ней процессы. Такие формальные модели служат промежуточным звеном между ментальными представлениями экспертов и создаваемыми информационными технологиями управления и позволяют полностью или частично автоматизировать процесс разработки соответствующих программных систем поддержки принятия решений.

2. Постановка и формализация задачи управления проектами в сфере региональной безопасности

Для исследования феномена региональная безопасность (РБ) применяется системный подход, заключающийся в рассмотрении объекта исследования (региона) как сложной динамической системы.

Формально понятие «региональная безопасность» определяется на языке теоретико-множественных отношений и представляется в виде множества составляющих ее компонент, каждый из которых характеризует определенный аспект функционирования региональной социально-экономической системы:

$$RS = \{C_i^{RS}\}, i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где N – количество составляющих региональной безопасности, участвующих в рассмотрении и соответствующих сферам регионального развития (экономика, окружающая среда, социальная сфера, кадровая политика, инновационный потенциал и др.).

Региональная безопасность как система декомпозируется на следующие основные составляющие, общие не только для каждого отдельно взятого региона, но и учитывающие его специфические особенности:

$$RS = \{Econ, Ecol, Soc, Inf, Tech, Mil, Enrg\}, \quad (2)$$

где $Econ$ – экономическая безопасность; $Ecol$ – экологическая безопасность; Soc – социальная безопасность; Inf – информационная безопасность; $Tech$ – техносферная безопасность; Mil – военная безопасность; $Enrg$ – энергетическая безопасность.

Так для Мурманской области и региона, входящего в состав Арктической зоны России, наиболее важными являются экологическая, военная и энергетическая сферы безопасности.

Каждый компонент региональной безопасности описывается набором определенных параметров:

$$C_i^{RS} = \overline{P}_i, \quad \overline{P}_i = \{p_{i,j}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, K_i}, \quad (3)$$

где N – количество компонент региональной безопасности; K_i – количество параметров, описывающих i -й компонент региональной безопасности.

Все множество параметров, описывающих различные компоненты региональной безопасности, разделяется на две группы: внешние и внутренние. На параметры внешней среды система управления РБ оказывать прямого воздействия не может, а, значит, должна к ним адаптироваться. Параметры внутренней среды региона – экономические, социальные, экологические, техногенные являются управляемыми. Воздействуя на них, можно управлять региональной безопасностью.

В качестве меры для интегральной оценки региональной безопасности предлагается использовать матрицу региональной безопасности [12], которая формируется на основе системы индикаторов безопасности региона и включает в себя показатели для каждой сферы безопасности [13]:

$$M_{RS} = \{m_{i,j}\}, m_{i,j} = p_{i,j}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, K}, K = \max_i(K_i), \quad (4)$$

где M_{RS} – матрица РБ; $p_{i,j}$ – j -й показатель i -го компонента РБ; N – количество компонент РБ, K_i и K – количество показателей i -го компонента и наибольшее количество показателей в строке матрицы РБ соответственно.

Анализ матрицы РБ позволяет разработать формальные процедуры сравнения различных сценариев социально-экономического развития региона в заданных условиях.

Для каждого показателя региональной безопасности справедливо утверждение, что состояние РБ считается безопасным по данному показателю, если значение этого показателя находится в пределах допустимого интервала значений:

$$\min_{ij} \leq m_{ij} \leq \max_{ij}. \quad (5)$$

Предельно допустимые нижние \min_{ij} и верхние \max_{ij} значения каждого параметра РБ определяются из регламентирующей документации, а при ее отсутствии - с помощью экспертных оценок. Таким образом, в матричном виде условие безопасности региона определяется следующим образом:

$$M_{\min} \leq M_{RS} \leq M_{\max}. \quad (6)$$

Выражение (6) используется для определения состояний региональной безопасности, при которых возникают угрозы (риски), требующие оперативного принятия определенных мер, направленных на их устранение или смягчение негативных последствий от воздействия на элементы социально-экономической системы региона.

Стоит отдельно отметить, что для учёта особенностей процессов обеспечения региональной безопасности необходимо выработать особую систему параметров, связанных со спецификой конкретной территории. Для этого требуется и специальная проработка системы показателей региональной безопасности, которая должна быть взаимосвязана с общей схемой анализа показателей, использующихся на федеральном и отраслевом уровнях. Эта система должна также совмещаться с действующей системой статистики и прогнозирования, сопровождаться регулярным мониторингом и прогнозированием факторов, влияющих на уровень угроз региональной безопасности [14].

С другой стороны, динамику региональной безопасности следует рассматривать как изменение сложной системы и представить ее в виде последовательности устойчивых состояний:

$$\{S_k\}, S_k \in S, k = 1, K_s, \quad (7)$$

где S – множество устойчивых состояний системы, K_s – количество устойчивых состояний.

Для определения механизмов изменения состояния используется матрицу переходов. Каждый элемент матрицы переходов отражает возможность перехода из одного устойчивого состояния системы в другое. На эту возможность влияет «цена перехода» c_{ij} , изменение оценки региональной безопасности $\Delta M_{RS(i,j)}$, а также время совершения изменения состояния системы T_{ij} . В данном случае под ценой перехода c_{ij} понимается оценка требуемых для изменения состояния ресурсов, выраженных в единых единицах измерения (например, в денежных условных единицах). Параметр $\Delta M_{RS(i,j)}$ отражает то, как именно изменится значение каждого показателя матрицы региональной безопасности при переходе из текущего состояния в новое. Параметр T_{ij} характеризует период времени, которое потребуется системе для перехода в новое состояние. Матрица переходов имеет вид:

$$M(s_j, s_k) = \begin{vmatrix} 0 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1K_s} \\ \rho_{21} & 0 & \dots & \rho_{2K_s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{K_s 1} & \rho_{K_s 2} & \dots & 0 \end{vmatrix}, \quad (8)$$

при этом $\rho_{ij} = f(c_{ij}, \Delta M_{RS(i,j)}, T_{ij})$.

На элементы матрицы переходов накладываются следующие ограничения, вызванные вероятностным характером величины ρ_{ij} :

$$0 \leq \rho_{ij} \leq 1, \sum_{i=1}^{K_s} \rho_{ij} = 1, \sum_{j=1}^{K_s} \rho_{ij} = 1. \quad (9)$$

Любое мероприятие, связанное с изменением состояния региональной безопасности, предлагается рассматривать как соответствующий проект, применяя к нему методический аппарат теории управления проектами [7].

С точки зрения управления проектами совокупность отдельных предметно-ориентированных проектов объединяются в программы:

$$PROG = \{PR_i\}, i = 1, N_{PR}, \quad (10)$$

где N_{PR} – количество проектов в программе.

В общепринятом представлении проект определяется как последовательность фаз (стадий), которые проходит проект в ходе своего жизненного цикла, а также совокупностью свойств, которые характеризуют его как относительно обособленный объект управления:

$$PR = \{LF, GPR, Type, RS, RK, TLF\}, \quad (11)$$

где LF – жизненный цикл проекта; GPR – цель и задачи проекта; $Type$ – тип проекта (инвестиционный, некоммерческий, оперативный, стратегический и др.); RS – ресурсы, необходимые для реализации проекта; RK – риски реализации проекта (для региональной безопасности - угрозы); TLF – продолжительность жизненного цикла проекта.

Принимая во внимание информацию о жизненном цикле проекта, представленную в работах [4, 5, 8], математически его можно представить в следующем виде:

$$LF = \langle Ph, Lk \rangle, \quad (12)$$

где Ph – множество фаз жизненного цикла, Lk – множество связей между фазами.

Такая формальная конструкция соответствует математическим моделям, которые применяются в теории и практике управления проектами [7 - 9], и позволяет представить жизненный цикл проекта в виде ориентированного взвешенного графа. В такой постановке задачи Ph определяет множество вершин орграфа, а Lk задает множество дуг и их характеристики (направление и веса).

Согласно международному стандарту ISO 21500:2014 [10] по управлению проектами выделяется пять основных фаз проекта: инициализация, планирование, исполнение, управление, завершение (рис. 1). В качестве весов дуг используется вероятность перехода из одной фазы проекта в другую. При этом вероятность перехода зависит от результатов выполнения фазы проекта. В свою очередь, на результат реализации определенной фазы проекта влияет текущее и/или прогнозируемое состояние региональной безопасности.

Следует отметить, что данная конструкция может усложняться за счет введения дополнительных весов для дуг орграфа. Так, например, можно к весам добавить параметры, характеризующие «стоимость» перехода или временные задержки между фазами. Для решения задач на графах, дуги которых имеют несколько весов, применяются методы потокового программирования [15].

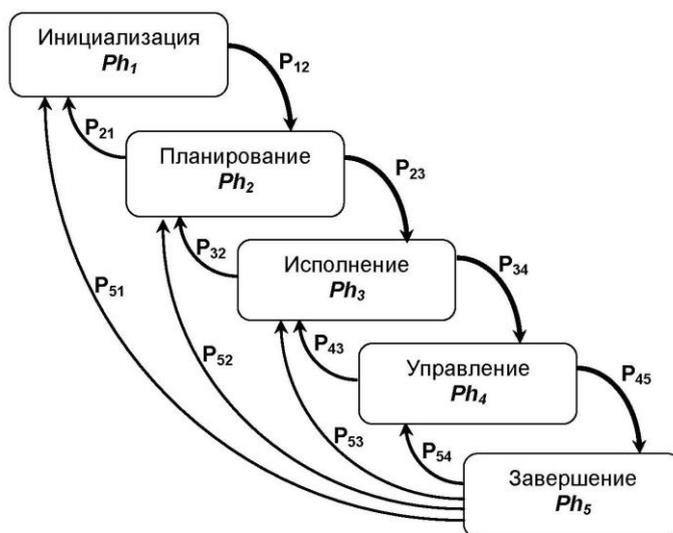


Рис. 1. Обобщенное представление жизненного цикла проекта

Связь между двумя фазами проекта определяется следующим образом:

$$l_{ij} = \langle Ph_i, Ph_j, \bar{w}_{ij} \rangle, \quad \bar{w}_{ij} = \text{func}(Ph_i, M_{RS}), \quad (13)$$

где Ph_i – фаза проекта, из которой осуществляется переход; Ph_j – фаза проекта, в которую осуществляется переход; \bar{w}_{ij} – вектор весовых коэффициентов связи.

При этом вектор весовых коэффициентов связи \bar{w}_{ij} определяется, как функциональная зависимость от результатов предыдущей фазы проекта и состояния региональной безопасности, оцененного с помощью матрицы РБ.

Сетевая модель представления жизненного цикла проекта позволяет формулировать и решать разнообразные задачи управления. Основной задачей управления является формирование последовательности выполнения фаз проекта в зависимости от различных параметров проекта и последующая коррекция хода выполнения проекта в зависимости от результатов реализации конкретной стадии.

Формальное описание фазы проекта представляется в виде кортежа:

$$Ph_l = \langle Op^l, Gr^l, St^l, G^l, RS^l, T_0^l, T_g^l, TLF^l, Res^l \rangle, \quad (14)$$

где $Op^l = \{o_j^l\}, j = \overline{1, N_{Op}^l}$ – множество операций, которые требуется выполнить на l -й фазе проекта; N_{Op}^l – количество операций на l -й фазе проекта; Gr^l – календарный график выполнения l -ой фазы проекта; St^l – множество стейкхолдеров (заинтересованных лиц) на l -й фазе проекта; G^l – цели и задачи l -й фазы проекта; RS^l – множество ресурсов, требуемых для выполнения l -й фазы; T_0^l и T_g^l – начальное и конечное время выполнения l -й фазы проекта; TLF^l – продолжительность l -й фазы проекта; Res^l – результаты выполнения l -й фазы проекта.

Каждую операцию можно описать с точки зрения процессного подхода [16], выделив основной процесс, исходные материалы и информацию, исполнителей, регламенты и процедуры выполнения процесса, а также его результаты. Календарный график реализации фазы проекта предназначен для описания последовательности выполнения определенных операций и может быть представлен в виде сетевой структуры.

Традиционно в качестве стейкхолдеров рассматриваются следующие субъекты управления: инвестор, заказчик, генконтрактор, руководитель проекта, исполнитель проекта, поставщик, официальный регулятор. При этом разработаны математические модели [4, 7], описывающие поведение каждой из заинтересованных сторон в зависимости от их целевых установок и критериев оценки результатов.

Цели и задачи конкретной фазы выполнения проекта определяются в результате декомпозиции глобальной цели проекта. Для этого предлагается применять функционально-целевой подход [17] к исследованию сложных систем. В качестве ресурсов рассматриваются как материальные, так и нематериальные объекты, которые необходимы для успешной реализации фазы проекта. Задается внутренняя структура множества ресурсов, в которой выделяются отдельные подмножества потребностей и лимитов (ресурсных ограничений).

Согласно основным положениям проектного менеджмента на временные характеристики проекта и его фазы накладываются ограничения:

$$T_0^l \leq t + T_{LF}^l \leq T_g^l - \text{на время реализации фазы проекта;}$$

$$T_{LF} \geq \sum_{l=1}^L T_{LF}^l - \text{на соотношение продолжительности проекта и про-}$$

должительности его фаз.

В рамках проводимого исследования результаты выполнения фазы проекта должны влиять на состояние региональной безопасности. Для этого предлагается при оценке результатов реализации фазы сразу формировать ее в виде изменения показателей региональной безопасности, то есть каждой фазе проекта ставить в соответствие ΔM_{RS} .

В данном разделе рассмотрена концептуальная модель объекта исследования – региональной безопасности, регламентирующая основные структурные части и их внутреннюю взаимосвязь на определенном уровне детализации модели. Взаимодействие между компонентами модели разных уровней детализации представлено в общей схеме управления региональной безопасностью.

3. Концептуальная модель системы управления региональной безопасностью

В общем случае задача управления региональной безопасностью заключается в поиске такого допустимого вектора управления, которое имеет максимальную эффективность и определяет оптимальную траекторию движения объекта управления в пространстве устойчивых состояний. Опираясь на аппарат теории управления [18, 19], формально модель системы управления РБ можно

представить в классической форме (рис. 2). Такая обобщенная математическая постановка адаптирована для задач управления системами различной природы, в том числе региональной безопасностью [12].

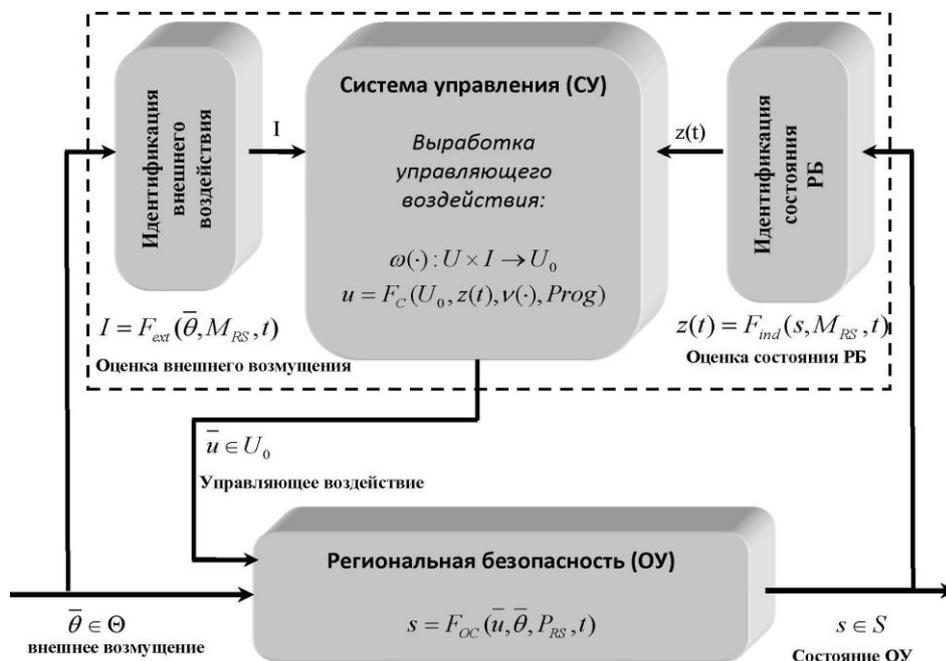


Рис. 2. Общая концептуальная схема управления региональной безопасностью

Для оценки эффективности управления предлагается использовать функционал вида:

$$E(u) = \max_{u \in U} f(u, s), \quad f = f(u, F_{OC}(u, \theta, P_{RS}, t)), \quad (15)$$

где $u \in U$ - управляющее воздействие, $s \in S$ - состояние объекта управления.

Для определения текущего состояния объекта управления используется функция вида:

$$s = F_{OC}(u, \theta, P_{RS}, t), \quad (16)$$

где θ - множество воздействий внешней среды; P_{RS} - множество параметров объекта управления; t - время.

Модель субъекта управления структурно подразделяется на три функциональные составляющие: блок идентификации внешнего воздействия, блок идентификации состояния объекта управления и блок выработки управляющего воздействия.

Идентификация влияния внешней среды на объект управления представляется в виде:

$$I = F_{ext}(\bar{\theta}, M_{RS}, t), \quad (17)$$

где I - оценка внешнего воздействия субъектом управления; θ - непосредственно вектор внешнего воздействия; M_{RS} - матрица региональной безопасности; t - время.

Назначение блока идентификации внешнего воздействия состоит в формировании информации о влиянии внешней среды на показатели региональной безопасности.

Основной задачей блока идентификации состояния объекта управления является получение оценки текущего состояния региональной безопасности в терминах показателей соответствующей системы индикаторного оценивания. Формально функционирование данного блока можно представить в виде:

$$z(t) = F_{ind}(s, M_{RS}, t), \quad (18)$$

где $z(t)$ – оценка текущего состояния региональной безопасности; s – состояние объекта управления; M_{RS} – матрица региональной безопасности; t – время.

Процесс выработки управляющего воздействия выполняется в два этапа:

1) Формирование множества применимых в текущих условиях стратегий управления U_0 , которое определяется в результате использования оператора вида:

$$\omega(\cdot): U \times I \rightarrow U_0. \quad (19)$$

Данный оператор осуществляет отображение декартового произведения множества всех возможных стратегий управления U и множества оценок внешнего воздействия I на множество допустимых в текущих условиях стратегий управления региональной безопасностью U_0 .

2) Формирование управляющего воздействия на объект управления. Для формального описания данного этапа используется выражение вида:

$$u = F_C(U_0, z(t), v(\cdot), Prog), \quad (20)$$

где U_0 – множество допустимых в текущих условиях стратегий управления; $z(t)$ – оценка текущего состояния объекта управления; $v(\cdot)$ – функция полезности, задающая предпочтения субъекта управления; $Prog$ – программа проектов (реализуемых и/или планируемых к реализации).

Под системой управления РБ (рис. 2) понимается совокупность информационных технологий и средств, позволяющих неявно управлять ходом реализации мероприятий в сфере обеспечения РБ. При этом основными задачами являются:

- оценка текущего состояния РБ;
- проведение анализа плана реализации или результатов выполнения проекта (мероприятия) в сфере РБ с целью выявления потенциальных угроз;
- выработка соответствующих рекомендаций ЛПР по реализации проекта или внесение корректировок в жизненный цикл проекта;
- оценка последствий при реализации предлагаемого управляющего воздействия на состояние РБ за счет манипуляции планируемыми и реализуемыми проектами.

Теоретико-множественная модель (8) - (11), (15) - (20) обеспечивает формальную основу для автоматизации синтеза программной исполнительской среды управления региональной безопасностью и выбора адекватных средств информационной поддержки задач управления и принятия решений для успешной реализации каждой фазы жизненного цикла проекта. В модель могут быть встроены теоретические конструкции [20], что позволит также решать задачи координации в системах управления региональной безопасностью.

При реализации предлагаемой модели необходимо учитывать, что появление новых проектов, как правило, зависит от состояния региональной безопасности, а цели проектов должны быть ориентированы на нейтрализацию потенциальных угроз и опасностей, а также на смягчение последствий возможных кризисных ситуаций в регионе.

4. Системная модель жизненного цикла региональных кризисных ситуаций

Региональная кризисная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате возникновения опасных явлений социально-экономического, геополитического, техногенного или природного характера, которая повлекла за собой изменение состояния региональной экономики, угрожающее развитию региона [3]. Типы и критерии региональных кризисных ситуаций подробно рассматриваются в работе [21].

Все виды региональных кризисных ситуаций объединяет важная деталь – процесс зарождения каждой из них является скрытым (неочевидным) и, как правило, начинается в нормальных условиях в результате накопления противоречий, источников угроз, дефектов и постепенной деградации системы.

По динамике развития региональные кризисные ситуации классифицируются следующим образом:

- медленно развивающиеся кризисные ситуации – это ситуации, когда имеется достаточно большой резерв времени для принятия управленческих решений и реализации превентивного управления развитием кризисной ситуацией;

- быстро протекающие кризисные ситуации – ситуации, скорость нарастания и распространения которых ограничена, что создает резерв времени на выработку и реализацию управленческих решений, направленных на стабилизацию ситуации или снижение нанесенного ущерба;

- мгновенные кризисные ситуации, когда отсутствует резерв времени для принятия оперативных решений ситуационного управления.

В работе исследуются преимущественно быстро протекающие и медленно развивающиеся кризисные ситуации, как наиболее типичные для региональных социально-экономических систем.

Системная модель жизненного цикла региональных кризисных ситуаций предназначена для концептуального описания и последующего анализа этапов зарождения, развития, нейтрализации и смягчения последствий кризисных явлений и процессов, происходящих в социально-экономической сфере, а также для выявления причин их возникновения. Использование модели позволяет идентифицировать и типизировать текущую стадию развития кризисной ситуации, оценить ресурсные затраты на реализацию антикризисных мероприятий на данной стадии в зависимости от выбранного сценария управления, а также обеспечивает возможность прогнозирования ее динамики на качественном уровне в заданных условиях обстановки. Формализованное представление жизненного цикла развития региональных кризисных ситуаций основано на концептуальной модели региональной безопасности [3].

Для построения концептуальной модели жизненного цикла региональных кризисных ситуаций предлагается использовать триадный подход к концептуальному моделированию сложных процессов и систем [22, 23].

Аппарат триадных сетевых моделей обеспечивает наглядное представление и формализацию знаний о целевых, структурных, динамических характеристиках функционирования сложных объектов, возможных сценариях и результатах поведения соответствующих систем и процессов. Триадный подход успешно используется для моделирования жизненного цикла сложных объектов управления различной природы, так как учитывает характеристики цикличности развития системы и/или процесса.

Триадная концептуальная модель жизненного цикла региональных кризисных ситуаций состоит из множества взаимосвязанных подмоделей, каждая из которых представляется в виде триады - графа с тремя вершинами (рис. 3). Вершинам соответствуют множества объектов модели, а ребрам - отношения между ними. Такое представление модели является удобным и наглядным для системного анализа процессов управления региональной безопасностью в условиях кризисных ситуаций.

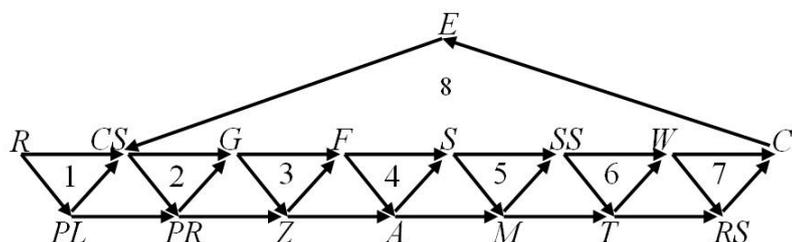


Рис. 3. Системная модель управления жизненным циклом кризисных ситуаций

При формировании триад должны соблюдаться требования [23]:

– элементы триад должны быть взаимосвязаны по какому-либо отношению, например, по виду деятельности или по функциональной зависимости;

– элементы триад должны быть адекватны друг другу, то есть соответствовать друг другу по какому-либо принципу и отображаться друг на друга.

Первая триада отображает потребности в нейтрализации возникшей кризисной ситуации или источника угроз ее возникновения. В данном случае существует множество потребностей R , связанных с нейтрализацией множества региональных кризисных ситуаций CS . Для него определяется множество PL планов антикризисных мероприятий по нейтрализации множества кризисных ситуаций CS , т.е. по удовлетворению потребностей R . При этом одно множество может быть отображено на другое:

$$\begin{aligned} \mu_0 : R &\rightarrow CS, & \begin{array}{ccc} R & \xrightarrow{\mu_0} & CS \\ \mu_1 \swarrow & \downarrow 1 & \searrow \mu_2 \\ & PL & \end{array} \\ \mu_1 : R &\rightarrow PL, \\ \mu_2 : PL &\rightarrow CS. \end{aligned}$$

Возможно и обратное отображение: например, $\mu_2^{-1} : CS \rightarrow PL$.

Вторая триада на основе множества CS формирует множество целей G , связанных с нейтрализацией кризисных ситуаций, и множество проблем PR , которые необходимо решить, чтобы достичь множество целей G . Процесс

формирования первых двух триад является слабо формализуемым и реализуется на основе опытных данных и знаний экспертов, которые зачастую содержатся в экспертных системах. Сложность формирования множества целей G , отражающих множество CS , заключается в том, что глобальная цель системы управления иерархична, динамична и приоритеты отдельных подцелей могут меняться непредвиденным образом в процессе управления ходом развития кризисных ситуаций.

$$\begin{aligned} \alpha_0 : CS &\rightarrow G, \\ \alpha_1 : CS &\rightarrow PR, \\ \alpha_2 : PR &\rightarrow G. \end{aligned} \quad \begin{array}{ccc} CS & \xrightarrow{\alpha_0} & G \\ & \searrow \alpha_1 & \nearrow \alpha_2 \\ & PR & \end{array}$$

Третья триада переводит множество целей G на множество функций F , которые необходимо выполнить, чтобы достичь поставленные цели управления по локализации и смягчению последствий кризисных ситуаций. Конкретизация множества целей G осуществляется через формирование множества задач Z , которые отражают подцели в качественном и/или в количественных отношениях, а также в пространстве и во времени. Множество функций F , которые необходимо выполнить для нейтрализации кризисных ситуаций, включает в себя функции мониторинга, планирования, прогнозирования, предупреждения, управления, принятия решения, диагностики и анализа состояния объектов, а также сценарный анализ развития кризисных ситуаций, оценку результативности антикризисных мероприятий и исполнения принятых управленческих решений, затрат, потребностей в ресурсах и т.д.

$$\begin{aligned} \beta_0 : G &\rightarrow F, \\ \beta_1 : G &\rightarrow Z, \\ \beta_2 : Z &\rightarrow F. \end{aligned} \quad \begin{array}{ccc} G & \xrightarrow{\beta_0} & F \\ & \searrow \beta_1 & \nearrow \beta_2 \\ & Z & \end{array}$$

Четвертая триада отображает необходимость поиска (подбора) множества функциональных систем S (субъектов управления, обладающих требуемыми компетенциями в плане нейтрализации кризисной ситуации) для реализации множества функций F . При этом каждая функциональная система должна иметь определенную структуру, которая отражает реализуемый ею алгоритм управления (набор действий, компетенций). В связи с этим, возникает проблема формирования множества алгоритмов (структур) A и выбора из них такого алгоритма (структуры), который наилучшим образом позволит системе управления региональной безопасностью выполнять соответствующую функцию в смысле выбранного критерия эффективности. При этом функции могут выполняться как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме.

$$\begin{aligned} \gamma_0 : F &\rightarrow S, \\ \gamma_1 : F &\rightarrow A, \\ \gamma_2 : A &\rightarrow S. \end{aligned} \quad \begin{array}{ccc} F & \xrightarrow{\gamma_0} & S \\ & \searrow \gamma_1 & \nearrow \gamma_2 \\ & A & \end{array}$$

Пятая триада отображает множество функциональных систем S на множество организационных структур управления SS (композиций элементов множества S) через множество моделей M этих композиций. Каждая модель (спецификация) конфигурации функциональной системы отражает конкретные элементы ее состава: ресурсы, сервисы, технологии, затраты, потребности, ограничения и т.д. Задача выбора модели конфигурации для заданных условий формализуется на основе оптимизации конфигурации по выбранным критериям эффективности.

$$\begin{aligned} \lambda_0 : S &\rightarrow SS, & S &\xrightarrow{\lambda_0} SS \\ \lambda_1 : S &\rightarrow M, & \lambda_1 &\searrow \quad \swarrow \lambda_2 \\ \lambda_2 : M &\rightarrow SS. & & \quad \quad \quad M \end{aligned}$$

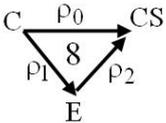
Шестая триада отображает множество конфигураций организационных структур SS функциональных систем (территориальных координационных комиссий) на множество антикризисных мероприятий W , которые необходимо выполнить с использованием множества имеющихся в наличии средств T . При решении задачи выбора средств (исполнительных ресурсов) необходимо, чтобы она была согласована не только с возможностями функциональной системы SS , компетенциями субъектов управления безопасностью, но и с характером самой кризисной ситуации, а также особенностями реализуемых мер противодействия ее развитию.

$$\begin{aligned} \phi_0 : SS &\rightarrow W, & SS &\xrightarrow{\phi_0} W \\ \phi_1 : SS &\rightarrow T, & \phi_1 &\searrow \quad \swarrow \phi_2 \\ \phi_2 : T &\rightarrow W. & & \quad \quad \quad T \end{aligned}$$

Седьмая триада на основе множества проведенных антикризисных мероприятий W формирует множество новых состояний процесса развития кризисных ситуаций C . Эти новые состояния получаются в результате целенаправленных управляющих воздействий на процесс развития кризисной ситуации посредством использования множества имеющихся ресурсов RS для управления кризисной ситуацией. При этом множество ресурсов RS выбирается как исходя из условий ситуационного управления «точно в срок» с учетом пространственно-временных и других ограничений с целью перевода кризисной ситуации в безопасное состояние, так и на основе требований к снижению риска возникновения новой кризисной ситуации. Данный процесс – это процесс непосредственного управления кризисной ситуацией, который заключается в целенаправленном переводе кризисной ситуации или объекта-источника угрозы ее возникновения из одного состояния в другое.

$$\begin{aligned} \eta_0 : W &\rightarrow C, & W &\xrightarrow{\eta_0} C \\ \eta_1 : W &\rightarrow RS, & \eta_1 &\searrow \quad \swarrow \eta_2 \\ \eta_2 : RS &\rightarrow C. & & \quad \quad \quad RS \end{aligned}$$

Восьмая триада отображает множество новых ситуаций C на множество предыдущих кризисных ситуаций CS через множество оценок новых состояний E . Множество оценок E позволяет судить об эффективности предпринятых антикризисных организационно-управленческих мер по нейтрализации угроз развития новых кризисных ситуаций. Оценка эффективности проводится по скалярному или векторному критерию, характеризующему степень близости кризисной ситуации к ситуации с требуемым (желаемым) уровнем безопасности.

$$\begin{aligned} \rho_0 : C &\rightarrow CS, \\ \rho_1 : C &\rightarrow E, \\ \rho_2 : E &\rightarrow CS. \end{aligned}$$


Интеграция построенных триад в единую системную модель показана на рис. 3. Элементы множеств нижнего уровня также можно соединять между собой. При этом образуются новые триады, которые являются объектами для дальнейших системных исследований.

Таким образом, формализация процессов обеспечения региональной безопасности в условиях кризисных ситуаций в виде триадной концептуальной модели обеспечивает возможность интеграции в единую систему основных направлений деятельности субъектов управления, связанные с этими процессами. Вместе с тем, предложенная модель обеспечивает основу для анализа и оценки эффективности выбранной программы мероприятий (проекта) достижения глобальной цели управления – нейтрализации кризисной ситуации и смягчения ее последствий.

Заключение

В работе получены следующие основные результаты:

1. Предложены новые формулировки терминов в сфере региональной безопасности, не противоречащие официально принятым и уточняющие содержание этой перспективной предметной области с помощью конкретных формализмов, что расширяет понятийный аппарат теории безопасности сложных систем и делает его более конструктивным.

2. Впервые предложен подход к формализации задачи управления региональной безопасностью, основанный на комбинированном применении технологии концептуального моделирования, формального аппарата теории управления и проектного менеджмента.

3. Разработана новая теоретико-множественная модель жизненного цикла управления проектами, адаптированная и расширенная на задачи обеспечения безопасности социально-экономических систем регионального уровня, а также отличающаяся полнотой формального описания объектов и задач управления безопасностью и связанных с ними информационных процессов. Модель имеет многоуровневую структуру и обеспечивает возможность построения онтологических и имитационных моделей региональной безопасности, которые могут быть использованы в составе систем поддержки принятия решений в сфере регионального управления.

Результаты использованы при реализации «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» на территории Мурманской области в части создания средств информационной поддержки принятия решений [24] в сфере управления региональной безопасностью. Эти средства позволяют ЛПР получать в автоматизированном режиме агрегированную аналитическую информацию о возможных последствиях реализации того или иного регионального проекта еще на стадии его планирования, а также оценивать эффективность принимаемых решений в фазе оперативного управления проектом.

Литература

1. Загребнев, С.А. Региональная безопасность в системе национальной безопасности Российской Федерации / С.А. Загребнев // Власть. - 2010. - №10. - С.90-92.
2. Ильин, В.А. Национальная и региональная безопасность: взгляд из региона / В.А. Ильин // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. - 2013. - №3(27). - С.9-20.
3. Маслобоев, А.В. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов. - Апатиты: КНЦ РАН, 2016. - 222 с.
4. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. - М.: ИПУ РАН, 2014. - С.8278-8289.
5. Воропаев, В.И. Математические модели управления для руководителя и команды управления проектом (часть 1) / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. - 2014. - Вып. 1(37). - С.62-71.
6. Катаев, А.В. Управление проектами: математические модели оптимального назначения исполнителей проектных работ / А.В. Катаев, Т.М. Катаева, Е.Л. Макарова // Известия Саратовского университета. Серия «Экономика. Управление. Право». – 2016. - Т.16. - Вып.3. - С.294-299.
7. Новиков, Д.А. Управление проектами: организационные механизмы / Д.А. Новиков. - М.: ПМСОФТ, 2007. - 140 с.
8. Логиновский, О.В. Информационно-аналитическая система управления проектами на базе использования комплекса математических моделей функционирования стейкхолдеров / О.В. Логиновский, Я.Д. Гельруд // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». - 2015. - Т.15. - №3. - С.133-141.
9. Привалов, А.И. Математические модели управления проектами в решении системных проблем экономики / А.И. Привалов // Сегодня и завтра российской экономики. - 2009. - №26. – С.43-48.
10. ГОСТ Р ИСО 21500:2014 «Руководство по проектному менеджменту». - М.: Стандартинформ, 2015. - 46 с.
11. Международный Стандарт по Управлению Проектами ISO 21500:2012. -Режим доступа: <http://mconlab.com/stati/proekty/27-iso-21500-russkaya-versiya>
12. Маслобоев, А.В. Развитие методологии сетевидного управления региональной безопасностью. Системный анализ проблемы / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН. –Ч.1. - 2016. - Т.66. - №1. - С.26-39.

13. Bystrov, V.V. The Information Technology of Multi-model Forecasting of the Regional Comprehensive Security / V.V. Bystrov, S.N. Malygina, D.N. Khaliullina // Proceedings of the 5th Computer Science On-line Conference Advances in Intelligent Systems and Computing, - 2016. - Vol.466. - P.475-482.
14. Шульц, В.Л. Управление региональной безопасностью на основе сценарного подхода / В.Л. Шульц, В.В. Кульба, А.Б. Шелков, И.В. Чернов. - М.: ИПУ РАН, 2014. - 163 с.
15. Кутепов, В.П. Граф-схемное потоковое параллельное программирование: язык, процессная модель, реализация на компьютерных системах / В.П. Кутепов, В.Н. Маланин, Н.А. Панков // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2012. - №1. - С.67-82.
16. Наумов, А.А. Управление экономическими системами: процессный подход / А.А. Наумов, М.А. Максимов. - Новосибирск: ОФСЕТ, 2008. - 300 с.
17. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов, Ю.С. Попков, А.Г. Олейник, В.А. Путилов. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 400 с.
18. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. - 3-е изд., испр. и дополн. - М.: Физматлит, 2012. - 604 с.
19. Цыгичко, В.Н. Руководителю о принятии решений / В.Н. Цыгичко. - 3-е изд. перераб и доп. - М.: Красанд, 2010. - 352 с.
20. Маслобоев, А.В. Координация в многоуровневых сетевых системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов, А.В. Сютин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2015. - Т.15. - №1. - С.130-138.
21. Вечканов, Г.С. Экономическая теория / Г.С. Вечканов. - СПб.: Питер, 2011. - 512 с.
22. Юдицкий, С.А. Триадный подход к моделированию систем сетевых систем управления / С.А. Юдицкий, П.Н. Владиславлев, Д.С. Точ // Управление большими системами. - 2010. - №28. - С.24-39.
23. Ямалов, И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / И.У. Ямалов. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 288 с.
24. Маслобоев, А.В. Система поддержки принятия решений в условиях региональных кризисных ситуаций / А.В. Маслобоев // Информационные ресурсы России. - 2017. - №4(158). - С.25-32.

Сведения об авторах

Путилов Владимир Александрович – д.т.н., профессор, научный руководитель, заслуженный деятель науки РФ,
e-mail: putilov@iimm.ru

Vladimir A. Putilov - Dr. Sci. (Tech.), professor, research supervisor, honoured science worker of the Russian Federation

Маслобоев Андрей Владимирович – д.т.н., доцент, старший научный сотрудник,
e-mail: masloboev@iimm.ru

Andrey V. Masloboev – Dr. Sci. (Tech.), associate professor, senior research fellow

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: bystrov@iimm.ru

Vitaliy V. Bystrov – PhD (Tech. Sci.), senior research fellow

УДК 004.9:316.0

М.Г. Шишаев^{1,2}, С.Ю. Яковлев^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² ФГБОУ ВО «МАГУ»

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СОЦИЕТАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОРА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА*

Аннотация

В статье рассмотрена проблема оценки социетальной безопасности как одного из ключевых факторов устойчивого регионального развития. Даны определения понятий, предложена концептуальная модель различных видов безопасности социальных систем. Понятие социетальной безопасности соотнесено с такими близкими по смыслу видами безопасности, как индивидуальная и национальная. В качестве критерия социетальной безопасности предложено рассматривать групповую идентичность соответствующего сообщества. Рассмотрены сложности и возможные подходы к оценке идентичности как фактора социетальной безопасности.

Ключевые слова:

социетальная безопасность, сообщество, групповая идентичность, оценка безопасности, концептуальная модель.

M.G. Shishaev, S.Yu. Yakovlev

CONCEPTUAL BASIS FOR ASSESSMENT OF SOCIETAL SECURITY AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

Abstract

The article considers the problem of assessing the societal security as one of the key factors of sustainable regional development. Definitions of the concept are given, a conceptual model of various types of security of social systems is proposed. The concept of societal security is compared with individual and national security concepts. As a criterion of societal security, it is suggested to consider the group identity of the corresponding community. Complexities and possible approaches to assessing identity as a factor of societal security are considered.

Keywords:

societal security, society, group identity, security assessment, conceptual model.

Введение, понятие социетальной безопасности

Термин «социетальная безопасность» (societal security) широко используется в зарубежных исследованиях и почти не встречается в отечественных публикациях. При этом выражение «societal security» в большинстве случаев переводится на русский язык как «социальная безопасность» (т.е. так же, как и «social security»). На наш взгляд, под «societal security» правильнее было бы понимать безопасность различных социумов, сообществ. Таким образом, неопределённость возникает уже на стадии определения основных понятий.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 16-29-12878, № 15-07-04290.

Английское «societal» авторы интерпретируют как производное от «society», где под «society» (социум, сообщество) понимается совокупность людей, каким-либо образом организованных, действующих, проявляющих, идентифицирующих себя как целое.

В качестве «мостика» между западными и российскими исследованиями можно выбрать действующий стандарт [1], идентичный международному стандарту ИСО 22300:2012 «Социетальная безопасность. Терминология» (ISO 22300:2012 «Societal security - Terminology, IDT»). Приведём некоторые важные для настоящей работы определения из этого стандарта.

Социетальная безопасность (societal security): Защита общества от инцидентов, чрезвычайных ситуаций и бедствий, вызванных умышленными и неумышленными действиями человека, опасными природными явлениями и техническими неисправностями, а также реагирование на такие события.

Основы социетальной безопасности (societal security framework): Совокупность компонентов, обеспечивающих основы и организационные механизмы для разработки, осуществления, мониторинга, анализа и постоянного совершенствования мер по обеспечению социетальной безопасности.

Примечание 1 - Основы включают политику, цели, полномочия и обязательства по управлению социетальной безопасностью.

Примечание 2 - Организационные механизмы охватывают планирование, взаимоотношения, подотчетность, ресурсы, процессы и деятельность.

Гражданская защита (civil protection): Мероприятия и системы, предназначенные для защиты жизни и здоровья граждан, их имущества, а также окружающей среды от нежелательных событий.

Примечание - Нежелательные события включают аварии, чрезвычайные ситуации и бедствия.

Риск (risk): Следствие влияния неопределенности на достижение целей.

Примечание 1 - Следствие влияния характеризуется отклонением от ожидаемого, в лучшую и/или худшую сторону.

Примечание 2 - Цели могут иметь различные аспекты (например, финансовые цели, цели в области охраны труда, охраны окружающей среды и т.д.) и относиться разным уровням (например, стратегические цели, цели, относящиеся к организации в целом, к конкретному проекту, продукту или процессу).

Примечание 3 - Риск часто характеризуется ссылкой на возможные события и последствия, или их комбинацию.

Примечание 4 - Риск часто выражают в виде комбинации последствий событий (включая изменения в обстоятельствах) и связанной с этим вероятности или возможности наступления.

Примечание 5 – Неопределенность - это ситуация, когда полностью или частично отсутствует информация, понимание или знание о событии, его последствиях или вероятности.

Настоящая работа посвящена определению роли и места социетальной безопасности среди многочисленных направлений обеспечения безопасности, возможным подходам к оценке социетальной безопасности, учёту фактора неопределённости при управлении социетальной безопасностью (см. также статью [2] в настоящем сборнике).

При этом в качестве цели исследований намечено построение комплексной информационной технологии управления безопасностью.

1. Wellbeing, безопасность личности, социетальная безопасность и человеческий капитал

Наращивание человеческого капитала – одно из стратегических направлений развития российских регионов [3], в частности – Мурманской области [4].

В современном мире, с высокоразвитыми коммуникациями, множественными проявлениями глобализации во всех сферах выбор места жительства и формирования карьеры становится исключительно личным, субъективным выбором. Возможности свободного перемещения не только в пределах страны, но и всего мира резко выросли за последние десятилетия. Развитие телекоммуникаций (прежде всего – Интернета) значительно облегчило трудоустройство и обустройство быта на территориях, значительно удаленных от текущего местонахождения человека.

Из этого можно заключить, что для формирования и поддержания качественного человеческого капитала на территории необходимо обеспечить привлекательность последней для каждой отдельно взятой персоны. Это позволит обеспечить положительное сальдо региональной миграции и, тем самым, наращивание потенциала региона в части человеческого ресурса. В современной социальной психологии комплекс факторов, характеризующих состояние комфортности индивидуума или группы, принято обозначать как психологическое (субъективное) благополучие (англ. wellbeing).

Таким образом, принимая во внимание, что социально-экономическая безопасность признается в качестве ключевого компонента благополучия [5], безопасность личности или персональная безопасность может рассматриваться как одно из важных условий устойчивого развития человеческого капитала региона. Безопасность личности имеет множество аспектов – физический/физиологический, информационный, экономический, социальный, возможно выделение и других аспектов.

Одним из факторов, определяющих безопасность личности в социальном аспекте, является безопасность сообществ, которым рассматриваемая персона считает себя идентичной (социетальная безопасность). При этом идентичность может быть различной – гражданской, политической, этнической, культурной и др., но в любом случае социетальная безопасность является одним из важнейших факторов устойчивого регионального социально-экономического развития, основанного на человеческом капитале.

В данной статье мы будем рассматривать социетальную безопасность в контексте иных видов безопасности социальных групп – национальной (государственной), групповой, персональной (вырожденный случай безопасности сообщества).

2. Концептуальная модель безопасности социальных систем

Концептуальные представления о безопасности (англ. *security*) динамичны и даже противоречивы [6]: «внутреннее состояние человека, возвышающее его над страданием», «объективное положение индивида, в

котором тот избавлен от перспективы внезапного покушения на его личность или собственность», безопасность как признак политической свободы и т. д. Кроме того, в соответствии с используемыми операционными элементами представлений о безопасности, различают большое число различных ее видов – экологическая, национальная (государственная), экономическая, политическая, и т.д. Несмотря на множественность концептуальных представлений, так или иначе, безопасность трактуется как характеристика состояния человека или иного объекта (государства, сообщества, региона и т. п.). Оценка этого состояния, как правило, опирается на анализ угроз и обусловленных ими рисков [7], рис. 1.

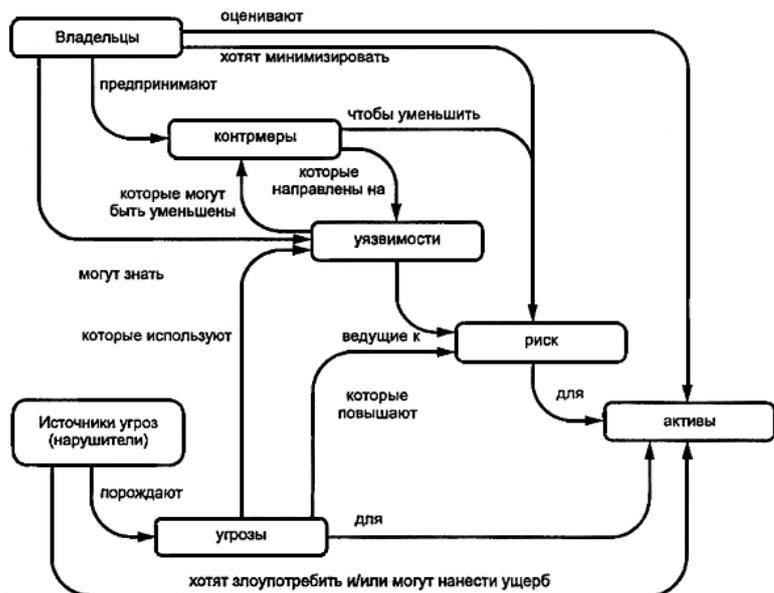


Рис. 1. Понятия информационной безопасности и их взаимосвязь

Таким образом, для оценки безопасности как состояния необходимо располагать моделью, отражающей различные аспекты безопасности с точки зрения угроз и рисков - концептуальной моделью. Как правило, в качестве базовой модели сложного, многоаспектного объекта используется классификация. Сформировать привычную одномерную классификацию видов безопасности трудно по причине множественности критериев отнесения к тому или иному виду, поэтому для формирования целостного представления о безопасности, как о сложном объекте, целесообразно использовать многомерную концептуальную модель. Для соотношения различных видов безопасности возьмем за основу такие признаки, как субъекты (акторы) и объекты безопасности, а также природу и характер (внутренние или внешние) источников угроз. Отметим, что разные с точки зрения природы виды безопасности – экологическая, экономическая, информационная – могут, с одной стороны, рассматриваться в объектно-субъектом контексте, подразумевающим, что объектами безопасности являются системы соответствующего сорта – экологические, экономические и т. д. С другой стороны, те же «безопасности» могут рассматриваться как различные аспекты безопасности

индивидуума и социальных систем. В этом случае объектом является социальная группа или индивидуум, а экологическая, экономическая и иные безопасности обозначают отдельные виды угроз безопасности человека или социальной группы, имеющих соответствующую природу. Это находит отражение в ряде современных работ [8, 9], увязывающих безопасности различной природы с безопасностью человека и сообществ, и в целом соответствует взглядам копенгагенской школы [10]. В результате, в соответствии с таким «субъектно-объектным» взглядом, разные виды безопасности социальных систем и их различные аспекты могут быть представлены в виде трехмерной модели, представленной на рис. 2.

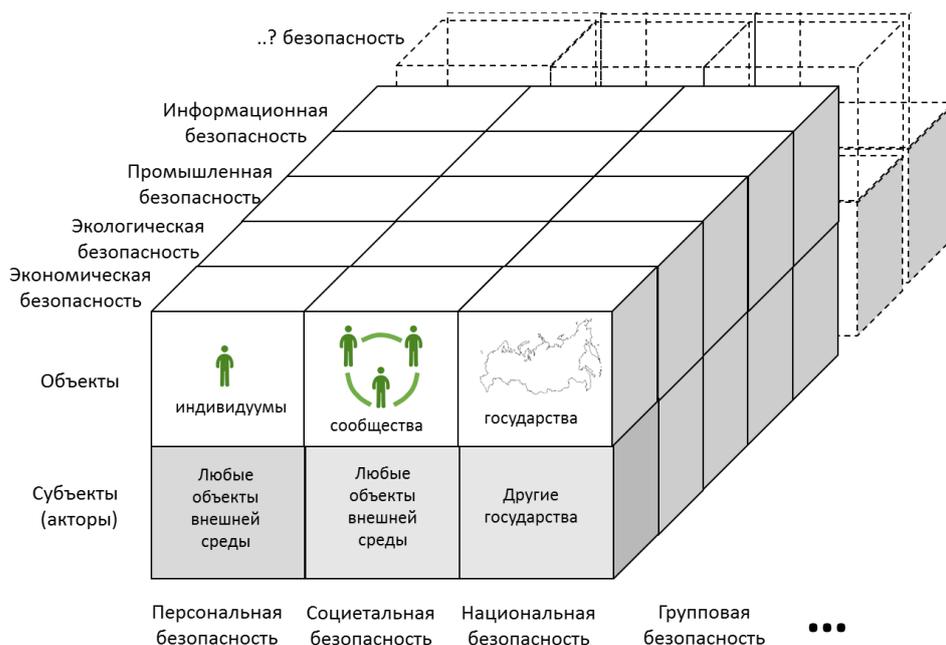


Рис. 2. Концептуальная модель безопасности социальных систем

По горизонтальной оси расположены виды безопасности с точки зрения объектов и субъектов – индивидуальная, социетальная, национальная, региональная, групповая, и т.д. По вертикальной оси расположены источники угроз – внутренние и внешние. По третьей оси – виды безопасности с точки зрения природы угроз. В ячейках матрицы могут быть размещены характеристики (качественные или количественные) угроз (внешних и внутренних) разного рода - экономических, экологических, техногенных и др., объектами которых являются человек, сообщество, государство и т. д. Тогда идеальное целевое состояние характеризуется пустыми ячейками матрицы (нулевыми значениями оценок).

3. Социетальная безопасность в контексте иных видов безопасности

Несмотря на то, что по «объектно-субъектному» признаку выделяют большое число разных видов безопасностей социальных систем – региональная, групповая, коллективная - ключевых акторов, обладающих существенно различными свойствами, всего три: человек, общество и государство [6]. Поэтому

для систематизации комплексного представления о безопасности с «объектно-субъектных» позиций можно ограничиться рассмотрением соотношений между тремя видами безопасности – индивидуальной, социетальной и государственной (национальной).

Социетальная и социальная безопасность

В отечественной литературе используются два близких, иногда отождествляемых, понятия – социальная безопасность и социетальная безопасность. В целях дальнейшего изложения уточним их понимание в рамках данной статьи.

Социальная безопасность определяется очень по-разному. В [11], например, под этим термином понимается безопасность социальной системы, а в качестве объектов рассматриваются государство и общество. Однако большинство авторов расширяют область социальной безопасности и на отдельную личность [12]. Принимая во внимание тот факт, что социетальная безопасность направлена на безопасность сообщества как целого, а её объектом являются «крупные коллективные идентичности, способные существовать вне зависимости от состояния государства» [10], можно заключить, что социальная и социетальная безопасность рассматривают угрозы в разных «разрезах». Предметом социальной безопасности является множество угроз и рисков, имеющих общую природу – социальную, в то время как социетальная безопасность оперирует угрозами и рисками различной природы, но объединенных общим объектом – некоторым сообществом. Вместе с тем, оба вида безопасности взаимно включают отдельные аспекты друг друга: социальная безопасность имеет социетальный аспект, так как угрозы сообществу в целом отражаются на безопасности каждого его члена в отдельности, равно как и наоборот: угрозы отдельно взятой персоне - члену сообщества - могут повлиять, например, на численность этого сообщества и, тем самым, представлять угрозу групповой идентичности.

Социетальная и национальная безопасность

В соответствии с концепцией национальной безопасности акторами и объектами безопасности является государство, как попечитель своих граждан и равный партнер во взаимоотношениях с другими государствами. Конечным признаком национальной (государственной) безопасности является суверенность, тогда как конечный признак безопасности сообщества - идентичность [13].

В данной работе мы не будем отождествлять национальный и этнический признаки, в соответствии с одним из распространенных взглядов на соотношение этнической и национальной идентичности, разделяющих эти два понятия [14, 15]. Национальная безопасность, где объектом и субъектами являются государства, и безопасность сообщества, сформированного по национальному признаку (гражданство или местожительство в стране) – это разные вещи, так как отличаются объекты и субъекты безопасности. При этом национальная безопасность имеет, в том числе, и социетальный аспект, так как безопасность существующих на территории государства сообществ является потенциальным источником внутренних угроз национальной безопасности: ущемление прав каких-либо социальных групп может приводить к гражданской и политической нестабильности, повышению уязвимости государства к внешним угрозам.

В терминах методологии объектно-ориентированного дизайна, сообщество или социальная группа (society) – наиболее общий класс, имеющий такие классы-наследники, как этнос, нация, политическая партия, профессиональное сообщество и другие.

Социетальная и индивидуальная безопасность

Индивидуальная безопасность, или безопасность личности обычно понимается как единство социальных условий, обеспечивающих достойное выживание, благосостояние и свободу [6]. Вместе с тем, человек выступает в двух ипостасях: индивидуальной - как отдельная личность, и коллективной - как та или иная социетальная группа (возрастная, поселенческая, этническая, профессиональная и т. д.). Поскольку социетальная идентичность человека, как правило, множественна (человек принадлежит одновременно многим сообществам), то социальный аспект индивидуальной безопасности может рассматриваться как вектор «безопасностей» включающих сообществ. При этом вклад (в индивидуальную безопасность) безопасности того или иного сообщества зависит от степени самоидентификации личности с соответствующим сообществом.

4. Коллективная (групповая) идентичность как основа оценки социетальной безопасности

Понимание природы идентичности как конечного признака социетальной безопасности является ключом к пониманию угроз и к адекватной оценке последней.

В социологии один из распространенных взглядов на идентичность принадлежит Альберто Мелуччи, согласно которому коллективная идентичность определяется как интерактивное и совместное самоопределение, созданное несколькими взаимодействующими людьми, которые разделяют некоторые направления своих действий как области возможных и запрещенных действий [16]. То есть идентичность рассматривается как процесс с обратной связью, порождающий некое коллективное действие: «разделять ту или иную коллективную идентичность, значит, не только участвовать в ее формировании, но и в определенных ситуациях «повиноваться» ее нормативным предписаниям, принимаемым в качестве «объективного» факта» [17].

В работе [18] коллективная идентичность определяется как когнитивные, моральные и эмоциональные связи человека с более широким сообществом, категорией, практикой или институтом. Коллективная идентичность группы часто выражается через культуры и традиции группы. Происхождение идентичности может быть изнутри группы или вне группы, но в конечном счете коллективная идентичность формируется только при принятии членами группы идентичности.

Таким образом, угрозы коллективной идентичности обусловлены нарушениями процессов формирования общей системы ценностей, в том числе – сокращением числа индивидуумов, идентифицирующих себя с группой. Причины сокращения числа последних могут быть как физического (смерть, болезни «адептов» группы), так и психологического (дискредитация системы ценностей группы) свойства. Подобные угрозы имеют эндогенный характер.

С другой стороны, поскольку групповая идентичность проявляется также в коллективном действии (например, традиционный способ хозяйствования саами, основанный на разведении северных оленей), любые факторы, затрудняющие это действие, также могут рассматриваться как угрозы сообществу. Такие угрозы можно отнести к категории экзогенных.

5. Объективные сложности и возможные подходы к оценке социетальной безопасности

Оценка групповой идентичности как показателя угроз социетальной безопасности затрудняется существенной динамичностью как состава социальных групп, так и объединяющих их систем ценностей. В такой ситуации можно предложить различные подходы к оценке:

- фиксировать аномальные изменения динамики процесса формирования идентичности (например, если доля оленины в рационе саами сокращается постепенно за счет замещения иными продуктами – это норма; если же это изменение происходит резко, вследствие сокращения поголовья – это угроза идентичности группы);

- принять некоторое состояние сообщества в качестве эталонного, зафиксировав «исконную» идентичность, и рассматривать любые факторы, изменяющие эту идентичность, как угрозу; такой подход способствует сохранению вымирающих культур (их системы материальных и духовных ценностей), но имеет малую практическую значимость вследствие объективного сокращения адептов архаичных сообществ;

- также можно принять и иной эталон состояния сообщества – состав его членов; в этом случае в качестве угроз нужно рассматривать нарушения процесса формирования групповой идентичности, тогда как сама идентичность принимается изменчивой; недостатком такого подхода является априорная замкнутость группы, что не соответствует большинству реальных ситуаций.

Еще одной сложностью при оценке социетальной безопасности является высокий уровень неопределенности, проявляющийся уже в самом определении предмета исследования как некоторого состояния сообщества, состав которого динамичен и размыт. С неопределенностью мы сталкиваемся и при попытке оценки этого состояния, в частности, как предлагается в данной статье, через оценку идентичности социальной группы. Для решения этой проблемы модели количественной оценки социетальной безопасности должны включать те или иные методы учета неопределенности [19].

Наконец, безопасность сообщества, как некоторое состояние, имеет множество компонентов. Наиболее общие из них отмечены выше – это процесс формирования системы ценностей, средства реализации коллективной деятельности, собственно система ценностей социальной группы и другие. Можно выделить и прочие, более частные составляющие социетальной безопасности: безопасность коммуникаций внутри группы, количество разделяющих ценности сообщества индивидуумов и т. д. Оценка каждой составляющей дает нам компоненты общей векторной оценки. Для сопоставления различных состояний социетальной безопасности необходимо использовать специальные техники скаляризации либо сравнения векторов, например, подход, основанный на определении центров безопасности в пространстве состояний сложной системы [20].

Заключение

В современном мире с прозрачными границами, с бесконечными возможностями межчеловеческих коммуникаций, социетальная безопасность становится важным объектом для изучения, поскольку во многом определяет устойчивое развитие территорий и социумов. Проблемная область, затронутая в данной статье, является «живой», активно формирующейся в современной отечественной и зарубежной гуманитарной науке. Несмотря на априори гуманитарную природу затронутой проблемы, ее важность и актуальность заставляет искать подходы к формализации с целью последующей выработки эффективных и предсказуемых механизмов управления социетальной безопасностью.

В данной работе предпринята попытка сформировать концептуальный базис для оценки социетальной безопасности как фактора регионального развития. В том числе дано определение данного понятия и его соотношение со смежными и пересекающимися концептами. Предложена концептуальная схема различных видов и аспектов безопасности социальных систем. Рассмотрены возможные способы оценки социетальной безопасности, основанные на анализе природы идентичности социальных групп.

Представленные результаты могут послужить основой для дальнейшего изучения феноменологии социетальной безопасности с целью разработки формализованных механизмов мониторинга, оценки и управления.

Литература

1. ГОСТ Р 22.0.12-2015/ИСО 22300:2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Международные термины и определения.
2. Яковлев С.Ю. Проблемы учета неопределенности при управлении региональной безопасностью // Труды Кольского научного центра РАН. - 3/2017(8). Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2017. – Вып.8. – С.54-61.
3. Стратегия-2020: Новая модель роста – новая социальная политика. Итоговый доклад о результатах экспертной работы по актуальным проблемам социально-экономической стратегии России на период до 2020 года. Кн.1 / под научн. ред. В.А. Мау, Я.И. Кузьминова. - М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2013. - 430 с.
4. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года. - Режим доступа: http://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/sub02/
5. Wellbeing in Developing Countries: From Theory to Research. Edited by Ian Gough, University of Bath, J. Allister McGregor, University of Bath. Cambridge: Cambridge University Press. –Режим доступа: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511488986.006>
6. Миграция и безопасность в России /под ред. Г. Витковской и С. Панарина. Московский Центр Карнеги. -Москва, Интердиалект+, 2000. -341 с.
7. Государственный стандарт Российской Федерации. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности критерии оценки безопасности информационных технологий. -М.: ИПК: Изд-во станд., 2002.
8. Zojer G., Hossain K. Rethinking multifaceted human security threats in the Barents Region: A multilevel approach to societal security. University of Lapland Printing Centre, Rovaniemi, 2017. -87 p.

9. Thiel M. Identity, Societal Security and Regional Integration in Europe. Jean Monnet / Robert Schuman Paper Series Vol.7, No.6 April 2007.
- Режим доступа: http://www.as.miami.edu/media/college-of-arts-and-sciences/content-assets/euc/docs/papers/Thiel_IDSocietSec_long07_edi.pdf
10. Buzan, Barry, Waever, Ole and De Wilde, Jan, Security: a new framework for analysis. Lynne Rienner: Boulder, 1998. -239 p.
11. Скворцова, М.А., Ромашкина, А.С., Солодовникова, Ю.В. Статистическая характеристика уровня социальной безопасности населения республики Мордовия. -Режим доступа: sisupr.mrsu.ru/2008-2/pdf/38-Skvorcova.pdf
12. Гафнер, В.В., Петров, С.В., Забара, Л.И. Опасности социального характера и защита от них: учеб. пособие / В.В. Гафнер, С.В. Петров, Л.И. Забара. - М.: Флинта. - Наука, 2012. - 320 с.
13. Buzan B., Kelstrup M., Lemaitre P., Tromer E., Waever O. (англ.) Identity, Migration and the New Security Agenda in Europe (англ.). -Pinter, 1993. -221 p.
14. Мёдова, Ю.А. О соотношении этнической и национальной идентичности /Ю.А. Медова // Философия и общество. -2010. -Вып. №4(60). - Режим доступа: <https://www.socionauki.ru/journal/articles/130986/>
15. Кортунув, С.В. Национальная идентичность: Постижение смысла / С.В. Кортунув. - М.: Аспект Пресс, 2009. - 589 с.
16. Melucci, cited in: Guibernau, Montserrat. Nationalisms. The Nation-State and Nationalism in the 20th Century. Cambridge: Polity Press, 1996. - P.75.
17. Миненков, Г.Я. Политика идентичности: взгляд современной социальной теории / Г.Я. Миненков // Политическая наука. – 2005. – № 6. – С.36.
18. Polletta, Francesca, and Jasper, James M. Collective Identity and Social Movements. Annual Review of Sociology, 2001.
19. Колесников, Е.Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска. -Ч.2 / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. -2013. - Т.10, № 3. -С.8-31.
20. Богатиков, В.Н. Теоретический подход к оценке состояний надежности сложных информационных сетей / В.Н. Богатиков, А.Г. Олейник, А.Е. Пророков // Труды Кольского научного центра РАН. -4/2011(7). Информационные технологии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. – Вып. 2. – С.56-65.

Сведения об авторах

Шишаев Максим Геннадьевич - д.т.н, доцент, профессор РАН, главный научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН, проректор по стратегическому развитию ФГБОУ ВО «МАГУ», e-mail: shishaev@iimm.ru

Maxim G. Shishaev - Dr. Sci. (Tech.), lead researcher of IIMM KSC RAS, vice-rector for strategic development of MAGU

Яковлев Сергей Юрьевич - к.т.н, старший научный сотрудник, доцент, e-mail: yakovlev@iimm.ru

Sergey Yu. Yakovlev - PhD. (Tech. Sci.), senior researcher, associate professor

УДК 004.94

Д.Н. Халиуллина

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ*

Аннотация

Статья посвящена вопросам информационной поддержки обеспечения региональной безопасности. Дано определение региональной безопасности, приводится его формальное описание. Рассматриваются проблемы создания системы управления региональной безопасностью, одним из возможных решений которых может служить использование в ней методов проектного менеджмента. Приводится концептуальное описание проектов и возможность их применения для исследования процессов развития инновационного потенциала моногородов Арктической зоны РФ.

Ключевые слова:

региональная безопасность, система управления региональной безопасностью, проектная деятельность.

D.N. Khaliullina

PROBLEMS OF INFORMATION SUPPORT IN SOLVING TASKS OF REGIONAL SECURITY MANAGEMENT

Abstract

The article is devoted to questions of information support of regional security. The definition of regional security and its formal description are given. Problems of creation of system of management of regional security are considered. Using of methods of project management in such system may be one of the possible solutions of such problems. Conceptual description of projects and opportunity to apply them for studying processes of development of innovative potential of single-industry towns of the Arctic zone of the Russian Federation are given.

Keywords:

regional security; system of management of regional security; project activity.

Введение

Одним из факторов устойчивого развития общества является обеспечение его безопасности. Причем чем больше возможностей и средств для удовлетворения своих потребностей появляется у человечества, тем больше опасностей возникает, поскольку невозможно полностью предугадать последствия от применения нового вида оружия, лекарств, средств защиты от различных вредителей, строительства преграждающих сооружений и многого другого. Именно стремление человеческого общества обезопасить сферу своей жизнедеятельности привело к появлению таких понятий, как региональная безопасность, национальная безопасность, комплексная безопасность.

* Работа выполнена по программе ОНИТ 1 РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация»

Понятие региональной безопасности

Подходя к вопросу обеспечения региональной безопасности, необходимо определить границы «региона». Согласно определению, данному в [1], под региональной безопасностью понимается защищенность субъекта РФ от внутренних и внешних угроз. При этом в качестве внешних угроз рассматриваются «угрозы, источники которых располагаются за пределами данного субъекта РФ».

Принимая во внимание тот факт, что в качестве «региона» выступает субъект РФ, под региональной безопасностью (РБ) будем понимать безопасность конкретного региона (субъекта) РФ. Суть РБ состоит в обеспечении регионального развития с целью удовлетворения различных видов потребностей населения, хозяйствующих субъектов и органов государственной власти региона.

В «Концепции безопасности человека», принятой ООН [2], выделяются следующие основные категории безопасности: экономическая, продовольственная, экологическая, личная, социальная, общественная, политическая и безопасность для здоровья. Региональную безопасность также можно рассматривать как систему отдельных составляющих (подсистем) и формально представить в виде кортежа компонент (составляющих РБ):

$$RS = \langle Demos, Soc, Econ, Educ, Ecol \rangle, \quad (1)$$

где $Demos = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ – население и демографические процессы;

$Soc = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – общество и социо-культурные аспекты;

$Econ = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ – набор показателей отраслей экономики;

$Educ = \{ed_1, ed_2, \dots, ed_l\}$ – система образования и подготовки кадров;

$Ecol = \{ec_1, ec_2, \dots, ec_p\}$ – экология и загрязнение окружающей среды.

Каждая подсистема (составляющая РБ) описывается набором показателей, для которых установлены пороговые значения. Формальным механизмом индикации появления угрозы региональной безопасности является выход отдельного показателя из области (интервала) допустимых значений. При этом степень угрозы должна оцениваться в совокупности с другими показателями РБ, поскольку превышение порогового значения по одному из параметров может нанести незначительный ущерб, а при учете влияния нескольких показателей угроза может существенно возрасти.

Также необходимо принимать во внимание степень изменения показателей: выход значения на долю процента по одному показателю может незначительно влиять на состояние региональной безопасности, а по другому показателю – наносить непоправимый ущерб. Для решения указанной проблемы предлагается разработать не только матрицу РБ, в которой содержались бы значения показателей по отдельным составляющим региональной безопасности, но и экспертную систему, определяющую степень угрозы в зависимости от параметров, вышедших за пороговые значения, в соответствии с правилами. Одним из вариантов матрицы РБ предлагается использовать матрицу, описанную в [3].

Система управления региональной безопасностью

Под информационной поддержкой обычно понимается процесс информационного обеспечения, ориентированный на пользователей информации, занятых управлением сложными объектами [4]. В частности, к этому направлению можно отнести разработку различных программных средств, направленных на автоматизацию процессов управления.

Для информационной поддержки обеспечения региональной безопасности целесообразно разработать специальную систему управления РБ (SMRS). Формально ее можно представить следующим образом:

$$SMRS = \langle Obj, Sub, Aim, Met \rangle, \quad (2)$$

где *Obj* – объекты региональной безопасности;

Sub – субъекты региональной безопасности (непосредственно принимающие участие в управлении: конкретные должностные лица, официальные и неофициальные институты, органы и организации, действующие в системе региональной безопасности и др.);

Aim – цели, задачи и функции по предупреждению, пресечению и нейтрализации любых опасностей, угрожающих созданию благоприятных условий для развития региона.

Met – методы и средства, которые могут использоваться при обеспечении региональной безопасности (проекты, законы, регламенты и др.) [5].

При этом для комплексного обеспечения региональной безопасности разрабатываемая система должна реализовывать следующие функции в автоматизированном режиме:

- Анализировать текущее состояние региона (проводить мониторинг), а также учитывать его специфические особенности (географическое положение, социально-экономическое состояние, исторически сложившиеся традиции, взаимосвязи с другими регионами и др.).

- Выявлять и квалифицировать угрозы, препятствующие устойчивому развитию региона.

- Прогнозировать последствия влияния различных угроз.

- Формировать рекомендации по устранению этих угроз.

Стоит отметить, что разрабатываемая SMRS должна обладать способностью к адаптации в зависимости от меняющихся условий, быть восприимчива к воздействию внешних и внутренних факторов, а также создавать условия для устойчивого развития региона.

Основные проблемы информационной поддержки управления региональной безопасностью

С точки зрения разработки программных средств информационной поддержки управления РБ можно выделить ряд наиболее существенных проблем:

- Сложность определения показателей (критериев) и параметров состояния региона, которые обеспечивали бы безопасность региона по всем подсистемам (*Demos*, *Soc*, *Econ*, *Educ*, *Ecol*).

- Наличие разнообразных вариантов однозначного распределения выделенных показателей по составляющим региональной безопасности.
- Невозможность оперативного мониторинга состояния региона (в реальном времени) по некоторым параметрам.
- Сложность определения основных характеристик и параметров внешних и внутренних угроз.
- Комплексный характер некоторых региональных угроз, заключающийся в затрагивании интересов не только рассматриваемого субъекта РФ, но и определенной группы территориально-административных единиц либо/или всей страны в целом.
- Неоднозначность оценки адекватности предлагаемых механизмов устранения угроз (комплекса мер по ликвидации угроз).

По мнению автора для решения проблем определения показателей РБ, их рационального распределения по составляющим, а также выявления основных угроз и их характера воздействия можно использовать принципы проектного менеджмента.

Проектная деятельность и региональная безопасность

Согласно положениям, представленным в стандарте по управлению проектами [6], проект – это уникальный набор процессов, состоящих из скоординированных и управляемых задач с начальной и конечной датами, предпринятых для достижения цели. При этом для каждого проекта характерно наличие цели, структуры, границ, бюджета, этапов, сроков, возможных рисков и т.п. С точки зрения формального описания проект можно представить следующим образом:

$$Proj = \langle InitCond, PrAim, LifeCycle, PrRisks \rangle, \quad (3)$$

где *InitCond* – начальные условия (с точки зрения обеспечения региональной безопасности можно рассматривать матрицу РБ, являющейся агрегированным индикатором состояния региона).

PrAim – цель проекта, которая включает в себя: срок реализации, результат (доход, ущерб, трудоустройство и др.).

LifeCycle – жизненный цикл проекта, содержащий стадии проекта, методы управления, необходимые ресурсы (материальные и нематериальные), а также условия дальнейшей реализации (набор правил, по которым оценивается возможность продолжения проекта).

PrRisks – различные риски проекта.

Принимая во внимание обширность понятия РБ, при разработке проектов по обеспечению региональной безопасности особое внимание необходимо уделить следующим моментам:

1. При реализации крупных региональных проектов важно учитывать все сферы региональной безопасности: экологическую, экономическую, технологическую и др.

2. Сложность объективной оценки и однозначной интерпретации промежуточных и конечных результатов.

3. Сложность прогнозирования возможных рисков, а также последствий реализации проекта.

4. Мониторинг и актуализация проекта при изменении внешних условий.

Для учета перечисленных проблем при разработке проектов целесообразно разработать автоматизированную систему управления проектами (SPM), которая входила бы в состав системы управления региональной безопасности.

При этом SPM может представлять собой универсальный комплекс методов и инструментов управления проектами, который обеспечивает достижение поставленных в проектах целей, сроков, бюджета. Важной особенностью такой системы является способность оценивать разнородные проекты, учитывать их специфику, выявлять противоречивые, а также выбирать наиболее приемлемые (например, с точки зрения минимизации негативных последствий) из набора альтернативных проектов.

Предлагаемый подход можно применить для исследования особенностей формирования и развития дополнительных инновационных перспектив и возможностей моногородов, функционирующих на территории Арктической зоны РФ. В рамках решения такой задачи можно рассмотреть управление крупными инвестиционными проектами, реализуемыми на территориях моногородов АЗ РФ. Данные проекты обычно носят комплексный характер и влияют на различные составляющие региональной безопасности: экономическую, социальную, экологическую, продовольственную и др. Разработка системы управления проектами позволит в явной форме определить перечень конкретных показателей, влияющих на состояние региональной безопасности, а также критерии для оценки возможных рисков. Включение в состав разрабатываемой SPM модулей, обеспечивающих автоматизированный синтез динамических моделей на основе ранее предложенных технологий [7-10], предоставит возможность формировать комплекс имитационных моделей. С помощью синтезируемого полимодельного комплекса будет осуществляться прогнозирование результатов внедрения проектов (экономический и социальный эффекты, возможные негативные последствия и др.), а также их влияние на региональную безопасность.

Заключение

Региональная безопасность является довольно сложным объектом управления, поскольку затрагивает все сферы человеческой деятельности. На сегодняшний день не существует готового решения, позволяющего эффективно обеспечивать РБ. В качестве такого решения может выступать система управления региональной безопасности, которая позволила бы учитывать специфику рассматриваемого региона, оценивать его состояние, а также выявлять возможные и существующие угрозы по имеющимся показателям региональной безопасности. Работы по созданию такой системы уже начаты. На сегодняшний день коллективом ИИММ КНЦ РАН предложена матрица РБ, в которой заложены основные показатели региональной безопасности.

Автором статьи предлагается включить в разрабатываемую SMRS систему управления проектами, которая позволила бы учитывать и оценивать внедряемые в регионе проекты с точки зрения обеспечения региональной безопасности.

Литература

1. Общая теория национальной безопасности: учебник / под общ. ред. А.А. Прохожева. - 2-е изд. - М.: Изд-во РАГС, 2005. - 344 с.
2. Концепция безопасности человека / UN Trust Fund for Human Security. - Режим доступа: www.un.org/humansecurity/ru/content/ концепция безопасности человека (дата обращения: 01.11.2017)
3. Bystrov, V.V. The Information Technology of Multi-model Forecasting of the Regional Comprehensive Security / V.V. Bystrov, S.N. Malygina, D.N. Khaliullina // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 466 / *Automation Control Theory Perspectives in Intelligent Systems. Proceedings of the 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOC2016)*. - 2016. - Vol. 3. - P.475-482.
4. Граничин, О.Н. Информационные технологии в управлении / О.Н. Граничин, В.И. Кияев. - СПб.: Бином, 2008. - 336 с.
5. Кирьянов А.Ю. Система обеспечения региональной безопасности как теоретико-правовая конструкция и ее структура / А.Ю. Кирьянов // *Безопасность бизнеса*. - 2005. - № 3. - С.2-9.
6. ГОСТ Р ИСО 21500 - 2014 «Руководство по проектному менеджменту». (ISO 21500:2012 «Guidance on project management»). Москва: Стандартинформ. 2015. - 52 с.
7. Олейник, А.Г. Инструментальные средства интерактивного формирования имитационных моделей деятельности региональной системы профессионального образования / А.Г. Олейник, А.Н. Лексиков // *Труды ИСА РАН*. - 2008. - Т.39. - С.267-276.
8. Быстров, В.В. Разработка информационной системы автоматизации синтеза структуры динамических моделей сложных систем / В.В. Быстров, В.А. Кодема // *Информационные технологии в региональном развитии*. - 2006. - Вып. VI. - С.93-96.
9. Горохов, А.В. Синтез имитационных моделей макросистем на основе онтологических описаний / А.В. Горохов, О.В. Шелех // *Труды ИСА РАН*. - 2009. - Т.39. - С.195-201.
10. Халиуллина, Д.Н. Проблемно-ориентированный программный комплекс поддержки стратегического планирования развития малых инновационных предприятий / Д.Н. Халиуллина // *Труды СПИИРАН*. - 2016. - №3(46). - С.190-211.

Сведения об авторе

Халиуллина Дарья Николаевна – к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: khaliullina@iimm.ru

Darya N. Khaliullina – PhD. (Tech. Sci.), researcher

УДК 338.26

А.С. Шемякин

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ПРОБЛЕМАТИКА И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ПАСПОРТА РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Аннотация

В данной работе проведен анализ проблематики разработки единого паспорта региональной безопасности, рассмотрены основные угрозы национальной (региональной) безопасности. В качестве документа, на основе которого можно разрабатывать паспорт региональной безопасности в данной работе предлагается использовать паспорт безопасности территорий субъектов РФ.

Ключевые слова:

региональная безопасность, паспорт безопасности, региональные угрозы, угрозы безопасности.

A.S. Shemyakin

PROBLEMS AND TECHNICAL-ORGANIZATIONAL ASPECTS OF REGIONAL SAFETY PASSPORT DEVELOPMENT

Abstract

In this paper, an analysis of problems of developing a single passport for regional security was conducted, and main threats to national (regional) security were examined. As a document on the basis of which it is possible to develop a regional safety passport is proposed to use the safety passport of the territories of the Russian Federation subjects.

Keywords:

regional safety, safety passport, regional threats, safety threats.

Анализ проблематики разработки единого паспорта региональной безопасности

Исследование проводилось на примере проблем безопасности, специфичных для Мурманской области – региона, входящего в состав Арктической зоны России, и направлено на развитие информационных технологий и систем сетецентрического управления региональной безопасностью в Арктике [1, 2].

В своем указе от 31 декабря 2015 года № 683 Президент РФ утвердил Стратегию национальной безопасности Российской Федерации [3] (далее - Стратегия). Данная стратегия определяет «национальную безопасность» как состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан Российской Федерации (далее - граждане), достойные качество и уровень их жизни, суверенитет, независимость, государственная и

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - проекты № 15-07-04290-а, № 15-29-06973-офи, № 15-07-02757.

территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации. Национальная безопасность включает в себя оборону страны и все виды безопасности, предусмотренные Конституцией Российской Федерации и законодательством Российской Федерации, прежде всего государственную, общественную, информационную, экологическую, экономическую, транспортную, энергетическую безопасность, безопасность личности.

Российская Федерация реализует свои потребности в национальной безопасности через стратегические национальные приоритеты. Такими приоритетами являются:

- Оборона страны – в данной работе не рассматривается.

- Государственная и общественная безопасность. Основные угрозы общественной безопасности перечислены в п.43 Стратегии. Большая часть угроз носит криминальный характер, но выделяется угроза стихийных бедствий, аварий и катастроф, в том числе связанных с глобальным изменением климата, ухудшением технического состояния объектов инфраструктуры и возникновением пожаров.

- Повышение качества жизни российских граждан. В рамках этого приоритета выделяются следующие угрозы: неблагоприятная динамика развития экономики, отставание в технологическом развитии, введение ограничительных экономических мер против Российской Федерации, нецелевое расходование бюджетных ассигнований, усиление дифференциации населения по уровню доходов, снижение качества потребительских товаров и оказываемых населению услуг. Среди всех мер, которые должны предпринимать органы государственной власти и органы местного самоуправления выделяются меры по обеспечению продовольственной безопасности (п. 54 Стратегии [3]).

- Экономический рост. Главными стратегическими угрозами национальной безопасности в области экономики являются ее низкая конкурентоспособность, сохранение экспортно-сырьевой модели развития и высокая зависимость от внешнеэкономической конъюнктуры, отставание в разработке и внедрении перспективных технологий, незащищенность национальной финансовой системы от действий нерезидентов и спекулятивного иностранного капитала, уязвимость ее информационной инфраструктуры, несбалансированность национальной бюджетной системы, регистрация прав собственности в отношении значительной части организаций в иностранных юрисдикциях, ухудшение состояния и истощение сырьевой базы, сокращение добычи и запасов стратегически важных полезных ископаемых, прогрессирующая трудонедостаточность, сохранение значительной доли теневой экономики, условий для коррупции и криминализации хозяйственно-финансовых отношений, незаконной миграции, неравномерное развитие регионов, снижение устойчивости национальной системы расселения (п. 56 Стратегии [3]).

- Наука, технологии и образование. Основными угрозами национальной безопасности в области науки, технологий и образования являются: отставание в развитии высоких технологий, зависимость от импортных поставок научного, испытательного оборудования, приборов и электронных компонентов, программных и аппаратных средств вычислительной техники, стратегических материалов, несанкционированная передача за рубеж конкурентоспособных

отечественных технологий, необоснованные односторонние санкции в отношении российских научных и образовательных организаций, недостаточное развитие нормативно-правовой базы, неэффективная система стимулирования деятельности в области науки, инноваций и промышленных технологий, снижение престижа профессий преподавателя и инженера, уровня социальной защищенности работников инженерно-технического, профессорско-преподавательского и научно-педагогического состава, качества общего, среднего профессионального и высшего образования (п. 68 Стратегии [3]).

- **Здравоохранение.** Угрозами в сфере здравоохранения согласно стратегии являются: эпидемий и пандемий, массовое распространение таких заболеваний, как онкологические, сердечно-сосудистые, эндокринологические, ВИЧ-инфекции, туберкулез, наркомания и алкоголизм, увеличение случаев травм и отравлений, доступность психоактивных и психотропных веществ для незаконного потребления (п. 72 Стратегии [3]).

- **Культура.** Угрозами национальной безопасности в области культуры являются размывание традиционных российских духовно-нравственных ценностей и ослабление единства многонационального народа Российской Федерации путем внешней культурной и информационной экспансии (включая распространение низкокачественной продукции массовой культуры), пропаганды вседозволенности и насилия, расовой, национальной и религиозной нетерпимости, а также снижение роли русского языка в мире, качества его преподавания в России и за рубежом, попытки фальсификации российской и мировой истории, противоправные посягательства на объекты культуры (п. 79 Стратегии [3]).

- **Экология живых систем и рациональное природопользование.** Стратегия явным образом не перечисляет угрозы в сфере экологии живых систем и рационального природопользования, однако формулирует основные стратегические цели. Такими целями являются сохранение и восстановление природных систем, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для жизни человека и устойчивого развития экономики; ликвидация экологического ущерба от хозяйственной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата (п. 83 Стратегии [3]).

- **Стратегическая стабильность и равноправное стратегическое партнерство** – в данной работе не рассматриваются. Стратегия должна быть реализована за счет консолидации усилий и ресурсов органов государственной власти и органов местного самоуправления. Положения Стратегии обязательны для применения всеми органами власти (в т.ч. регионального уровня).

Из приведенного выше перечня угроз видно, что для оценки уровня национальной безопасности требуется отслеживать множество параметров. Поскольку положения Стратегии обязательны для применения всем органами власти на различных уровнях, то желательно наличие документа, который содержал бы в себе все отслеживаемые параметры на региональном уровне. Таким документом может быть паспорт региональной безопасности. Наличие подобного документа и его периодическая актуализация позволит региональным властям сформулировать и проводить региональную политику безопасности, направленную на достижения уровня безопасности, требуемого Стратегией.

В работе [4] приведена концептуальная модель предметной области «Нормативно-методическая база в сфере промышленной безопасности». Из концептуальной модели видно, что номенклатура и объем документации в сфере промышленной безопасности довольно большой, в данной работе мы ограничимся паспортами безопасности. Следует отметить, что паспортов безопасности существует несколько видов [5]. Для нужд разработки паспорта региональной безопасности наибольший интерес представляет «Паспорт безопасности территории» (точное название «Паспорт безопасности территорий субъектов РФ и муниципальных образований»), разрабатываемый в соответствии с приказом МЧС России от 25.10.2004 №484 [6]. Поскольку названия «Паспорт региональной безопасности» и «Паспорт безопасности территории...» весьма похожи, то имеет смысл рассмотреть «Паспорт безопасности территории...» (далее для краткости - ПБТ) более подробно.

Требования к паспорту безопасности территории субъекта Российской Федерации и муниципальных образований

Согласно приказу №484 [6] ПБТ разрабатывается для решения следующих задач:

- определение показателей степени риска чрезвычайных ситуаций;
- оценка возможных последствий чрезвычайных ситуаций;
- оценка состояния работ территориальных органов по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- разработка мероприятий по снижению риска и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций на территории.

ПБТ должен включать в себя следующее:

- титульный лист;
- раздел I "Общая характеристика территории";
- раздел II "Характеристика опасных объектов на территории";
- раздел III "Показатели риска природных чрезвычайных ситуаций";
- раздел IV "Показатели риска техногенных чрезвычайных ситуаций";
- раздел V "Показатели риска биолого-социальных чрезвычайных ситуаций";
- раздел VI "Характеристика организационно-технических мероприятий по защите населения, предупреждению чрезвычайных ситуаций на территории";
- раздел VII "Расчетно-пояснительная записка".

Хотя содержание документа регламентировано, в него допускается включать дополнительные сведения с учетом особенностей территории.

В разделах I-VI сведения представлены в табличной форме. Содержание и структура таблиц регламентируются приказом №484. Таблицы в этих разделах заполняются на основе расчетов, сделанных в расчетно-пояснительной записке (раздел VII). Содержание расчетно-пояснительной записки также регламентируется приказом №484, она должна содержать в себе следующие структурные элементы:

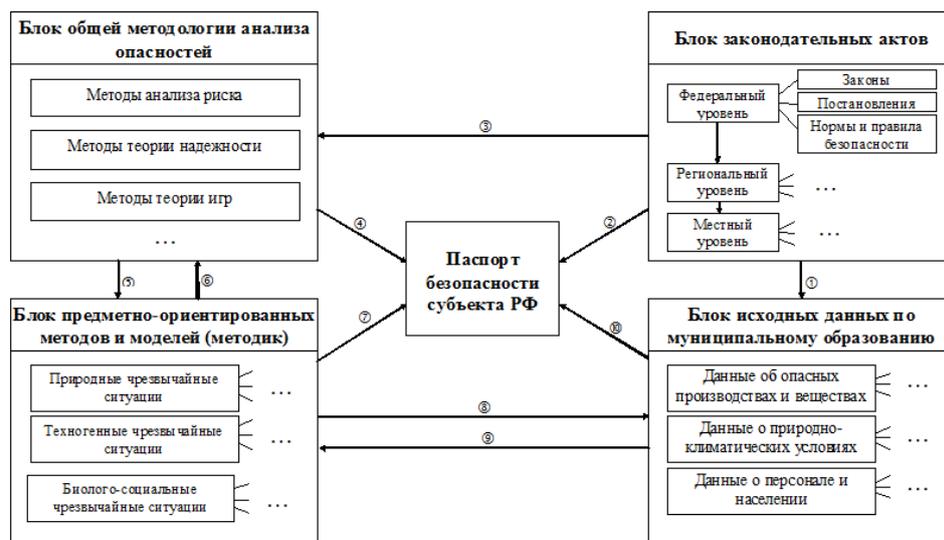
- титульный лист;
- список исполнителей с указанием должностей, научных званий, названием организации;
- аннотация;
- содержание (оглавление);
- задачи и цели оценки риска;
- краткое описание основных опасностей на территории;
- использованная методология оценки риска, исходные данные и ограничения для определения показателей степени риска чрезвычайных ситуаций;
- описание применяемых методов оценки риска и обоснование их применения;
- результаты оценки риска чрезвычайных ситуаций, включая чрезвычайные ситуации, источниками которых могут явиться аварии или чрезвычайные ситуации на объектах, расположенных на территории, транспортные коммуникации, а также природные явления;
- анализ результатов оценки риска;
- выводы с показателями степени риска для наиболее опасного и наиболее вероятного сценария развития чрезвычайных ситуаций;
- рекомендации для разработки мероприятий по снижению риска на территории.

Исходные данные для разработки паспорта безопасности территории субъекта Российской Федерации и муниципальных образований

В работе [7] рассмотрена проблема паспортизации безопасности муниципальных образований Мурманской области, также приводится перечень исходных данных, требуемых для разработки паспорта. Если «перевести» этот перечень на региональный уровень, можно сказать, что исходными данными для разработки паспорта безопасности территории субъекта РФ являются:

- прежний паспорт безопасности территории субъекта РФ (при его наличии);
- перечень опасных объектов, находящихся на территории субъекта РФ;
- декларации промышленной безопасности и паспорта безопасности опасных объектов, находящихся на территории субъекта РФ;
- картографическая информация о территории субъекта РФ в электронной и/или бумажной форме.

Перечень опасных объектов, находящихся на территории субъекта РФ определяется правительством субъекта РФ. Например, для Мурманской области перечень опасных объектов определяется постановлением [8]. Информационная модель разработки паспорта безопасности приведена на рисунке ниже. За основу взята информационная модель разработки паспорта безопасности муниципального образования, приведенная в [7].



- ① - требования по структуре и составу данных;
- ② - требования к порядку разработки паспорта;
- ③ - требования по составу, точности и надежности данных;
- ④ - метод оценки опасностей и рисков;
- ⑤ - области применимости, ограничения методов;
- ⑥ - области применимости, ограничения методик;
- ⑦ - предметно-ориентированная методика;
- ⑧ - требования по составу, точности и надежности данных;
- ⑨ - доступные данные и их характеристики;
- ⑩ - исходные данные по муниципальному образованию

Рис. 1. Информационная модель разработки паспорта безопасности субъекта РФ

Описание этапов разработки паспорта безопасности территории субъекта Российской Федерации и муниципальных образований

В работе [9] приводятся основные этапы разработки паспорта безопасности опасного объекта. Разработка паспорта безопасности опасного объекта проходит в 3 основных этапа:

1. Сбор и изучение нормативных документов и исходных данных по опасному объекту; разработка макета документа «Паспорт безопасности опасного объекта».
2. Разработка 1-й редакции паспорта.
3. Оформление, утверждение и согласование документа.

Разработка ПБТ проводится аналогичным образом, отличия могут заключаться в деталях. В частности, в приказе №484 [6] содержится предписание прикладывать к ПБТ карты, планы с нанесенными на них зонами последствий возможных чрезвычайных ситуаций, а также зонами индивидуального (потенциального) риска. Кроме того, на карту территории наносятся маршруты перевозок опасных грузов. В приказе №506 [10] требование наносить на карту маршруты перевозки опасных грузов отсутствует.

Необходимо также отметить, что приказ [10] носит достаточно общий характер. Например, не обозначена методология оценки риска – наиболее сложной и ответственной компоненты исследования. Здесь можно опереться на общую методику [11], а также специализированные методические материалы типа [12, 13]. При отсутствии утвержденных методик оценка показателей риска, на наш взгляд, может производиться разработчиком по собственным алгоритмам и/или экспертным путём [9].

Анализ возможности использования паспорта безопасности территории субъекта РФ и муниципальных образований в качестве паспорта региональной безопасности

В таблице проведен анализ возможности использования ПБТ в качестве паспорта региональной безопасности. В таблице два столбца: «Национальный приоритет, вид угроз» и «Отслеживаемые параметры». В столбце «Национальный приоритет, вид угроз» приведен перечень угроз безопасности из Стратегии, в столбце «Отслеживаемые параметры» - перечень параметров, присутствующих в ПБТ, которые можно использовать в качестве численной характеристики угрозы.

Анализ паспорта безопасности территории субъекта РФ

Национальный приоритет, вид угроз	Отслеживаемые параметры
<p>Государственная и общественная безопасность:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Угрозы криминального характера. 2. Угрозы стихийных бедствий, аварий, катастроф, угрозы, связанные с ухудшением технического состояния объектов инфраструктуры, пожары. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Количество преступлений на 1000 чел. (раздел I ПБТ). 2. Количество потенциально опасных объектов, степень износа производственного и жилого фонда, количество ЧС, размер ущерба от ЧС, показатель комплексного риска, показатель приемлемого риска, количество погибших от ЧС, см. также строку «Экология живых систем и рациональное природопользование».
<p>Повышение качества жизни российских граждан:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неблагоприятная динамика развития экономики. 2. Отставание в технологическом развитии. 3. Нецелевое расходование бюджетных ассигнований. 4. Усиление дифференциации населения по уровню доходов. 5. Снижение качества потребительских товаров и оказываемых населению услуг. 6. Продовольственная безопасность. 	<p>В ПБТ отсутствуют.</p>

	<i>продолжение таблицы</i>
<p>Экономический рост:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая конкурентоспособность экономики. 2. Сохранение экспортно-сырьевой модели развития. 3. Отставание в разработке и внедрении перспективных технологий. 4. Незащищенность национальной финансовой системы от действий нерезидентов. 5. Уязвимость информационной инфраструктуры. 6. Несбалансированность бюджетной системы. 7. Ухудшение состояния и истощение сырьевой базы. 8. Сокращение добычи и запасов стратегически важных полезных ископаемых. 9. Сохранение значительной доли теневой экономики. 10. Коррупция. 11. Незаконная миграция. 	<p>1 – 8. В ПБТ отсутствуют. 9-11. Частично – через параметр «Количество преступлений на 1000 чел.» (раздел I ПБТ).</p>
<p>Наука, технологии и образование:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость от импортных поставок научного оборудования, приборов, программных компонентов и пр. 2. Неэффективная система стимулирования деятельности в области науки. 3. Снижение престижа профессий преподавателя и инженера. 4. Снижение уровня социальной защищенности работников науки и образования. 	<p>В ПБТ отсутствуют.</p>

	<i>окончание таблицы</i>
Здравоохранение: 1. Эпидемии, пандемии. 2. Распространенность определенных заболеваний (см. выше в разделе «Анализ проблематики...»).	1. Частично – раздел V ПБТ. 2. В ПБТ отсутствуют. В целом состояние здравоохранения в регионе можно охарактеризовать через такие параметры как: количество больничных учреждений, количество инфекционных стационаров, численность персонала медицинских специальностей (раздел I ПБТ).
Культура	В ПБТ отсутствуют.
Экология живых систем и рациональное природопользование	Разделы II-IV ПБТ.

Из таблицы видно, что ПБТ можно взять за основу паспорта региональной безопасности, т.к. содержит большое количество параметров, которые можно использовать в качестве численных характеристик угроз национальной (региональной) безопасности. Часть угроз безопасности нельзя оценить только с помощью ПБТ. Отчасти это связано с тем, что ПБТ ориентирован на чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, отчасти с тем, что часть угроз трудно формализовать (например, угроза «Снижение престижа профессий преподавателя и инженера»).

Заключение

В данной работе проведен анализ проблематики разработки единого паспорта региональной безопасности, рассмотрены основные угрозы национальной (региональной) безопасности. В качестве документа, на основе которого можно разрабатывать паспорт региональной безопасности в данной работе предлагается использовать ПБТ. Часть сведений, содержащихся в ПБТ, количественно характеризует некоторые угрозы национальной (региональной) безопасности, перечисленные в табл.

Для разработки паспорта региональной безопасности требуется формализовать некоторые виды угроз (выделить количественные характеристики), которые не «покрываются» ПБТ.

Литература

1. Маслобоев, А.В. Развитие методологии сетцентрического управления региональной безопасностью. Системный анализ проблемы / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН. -Ч. 1. - 2016. - Т. 66. - №1. - С.26-39.
2. Маслобоев, А.В. Развитие методологии сетцентрического управления региональной безопасностью. Когнитивный подход и средства реализации / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН. -Ч. 2. - 2016.- Т. 66. - №3. – С.71-85.

3. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (утв. указом президента Российской Федерации №683 от 31 декабря 2015).
4. Шемякин, А.С. Автоматизация разработки планирующей документации по снижению промышленно-экологических рисков / А.С. Шемякин, С.Ю. Яковлев, Ю.А. Олейник, А.В. Маслобоев // Вестник Иркутского государственного технического университета. -2016. -Т.20. -№9. -С.74–85. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-9-74-85.
5. Паспорт безопасности. – Режим доступа: http://www.gostr.ru/services_sertifikat/pasport-bezopasnosti/ (27.09.2017).
6. Приказ МЧС России от 25.10.2004 №484 «Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов российской федерации и муниципальных образований» (в ред. Приказов МЧС России №606 от 11.09.2013, №595 от 10.11.2016).
7. Малыгина, С.Н. Паспортизация безопасности муниципальных образований / С.Н. Малыгина, А.А. Рыженко, Н.В. Исакевич, С.Ю. Яковлев //Прикладные проблемы управления макросистемами: тез. докл. 6-й всероссийской школы-семинара. - Апатиты: КФ ПетрГУ, 2006. -С.46.
8. Постановление Правительства Мурманской области №254-ПП от 24.06.2005 «Об утверждении перечня потенциально опасных объектов и объектов жизнеобеспечения мурманской области» (в редакции постановлений Правительства Мурманской области №349-ПП от 24.07.2007, №209-ПП от 12.05.2010, №365-ПП от 03.07.2013, №140-ПП от 13.04.2015, №44-ПП от 09.02.2016, №12-ПП от 16.01.2017).
9. Яковлев, С.Ю. Методические вопросы разработки паспортов безопасности опасных объектов / С.Ю. Яковлев, А.А. Рыженко, Н.В. Исакевич // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – Вып. V. – С.83-88.
10. Приказ МЧС РФ №506 от 04.11.2004 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта» (Зарегистрировано в Минюсте РФ №6218 22.12.2004).
11. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004.
12. РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах». Утв. Постановлением Госгортехнадзора России №63 от 29.10.2002.
13. Приказ Ростехнадзора №144 от 11.04.2016 «Об утверждении руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

Сведения об авторе

Шемякин Алексей Сергеевич – младший научный сотрудник,

e-mail: shemyakin@iimm.ru

Alexey S. Shemyakin - junior researcher

УДК 004.9

С.Ю. Яковлев

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ПРОБЛЕМА УЧЁТА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ*

Аннотация

Обсуждается понятие неопределённости. Устанавливаются виды неопределённости, существенные для управления региональной безопасностью, рассматриваются различные подходы к формализации этих видов. Конструируется обобщённый алгоритм управления безопасностью, ориентированный на работу с неопределённостями.

Ключевые слова:

региональная безопасность, учёт неопределённости, информационные технологии.

S.Yu. Yakovlev

THE PROBLEM OF UNCERTAINTY ACCOUNTING AT REGIONAL SAFETY MANAGEMENT

Abstract

The concept of uncertainty is discussed. The types of uncertainties that are essential for regional safety management are defined, and various approaches to formalizing these types are considered. The generalized safety management algorithm is developed, oriented to work with uncertainties.

Keywords:

regional safety, uncertainty accounting, information technologies.

Введение

Фактор неопределённости в той или иной форме проявляется при решении задач управления в различных областях. В сфере региональной безопасности этот фактор также присутствует и играет важную роль. Необходимость количественной оценки неопределённости при управлении риском не вызывает сомнений, однако отечественных исследований и публикаций на эту тему явно недостаточно [1, 2].

Учёт и формализация неопределённости в исследованиях по безопасности осуществляются в явной и/или неявной формах: посредством идентификации и анализа различных видов неопределённости и/или путём изначального применения вероятностных, возможностных или иных подходов. Также общей тенденцией является стремление снизить неопределённость, если это возможно и/или целесообразно.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 15-07-02757, 15-29-06973, 15-07-04290).

В настоящей статье: обсуждается понятие неопределённости; устанавливаются виды неопределённостей, существенные для управления региональной безопасностью; рассматриваются различные подходы к формализации этих видов; конструируется обобщённый алгоритм управления безопасностью, ориентированный на работу с неопределённостями.

Конечной целью исследований является создание информационной технологии поддержки управления безопасностью региона в условиях неопределённости.

1. Понятие неопределённости

Сначала конкретизируем само понятие «неопределённость», что необходимо, поскольку нормативные определения этого понятия в отечественной правовой базе по управлению риском отсутствуют [2].

В словарях В.И. Даля и С.И. Ожегова исходным является термин «неопределённый», который раскрывается следующим образом.

«В точности неизвестный; неисследованный, несосчитанный, неизмеренный, неописанный по всем признакам своим; темный, гадательный и сомнительный. Неопределимый, недоступный исследованию, определению» (В.И. Даль).

«1. Точно не установленный. В неопределённом направлении.
2. Не вполне отчетливый; неточный, неясный» (С.И. Ожегов).

Таким образом, в словаре В.И. Даля отмечается как неточность, неполнота, так и возможность полного отсутствия информации, знания о ком(чём)-либо.

Примем пока следующее рабочее определение: неопределённость – неполнота, неточность, неоднозначность информации, знания о чём-либо.

В настоящее время в науке и технике термин «неопределённость» используется как понятие качественное (в данной выше трактовке), так и количественное (например, в метрологии – как мера разброса, интервал значений).

Для каждого параметра (характеристики, атрибута, фактора) может быть предложена следующая ранжировка (градация) степени неопределённости:

- полная неопределённость (полное незнание, отсутствие информации), когда само наименование параметра неизвестно;
- известно наименование (или набор возможных наименований) параметра;
- известен набор значений, или диапазон значений, или вероятностные (или иные) характеристики возможных значений параметра;
- полная определённость (полное знание), когда известно точное (детерминированное) значение параметра.

Такое ранжирование позволяет, во-первых, отождествить понятия «степень неопределённости» и «степень незнания» (или, что равносильно, «степень определённости» и «степень знания»), во-вторых, явно наталкивает на мысль о количественной оценке степени знания по аналогии, например, с вероятностью. Введём обозначение для степени знания - K_n (от английского *knowledge*). Тогда состоянию «полное незнание» естественно приписать значение $K_n = 0$, состоянию «полное знание» - значение $K_n = 1$.

Во многих работах обсуждается соотношение понятий «риск» и «неопределённость», причём разброс мнений очень широк [1, 2]. В настоящей статье мы придерживаемся принятого и апробированного ранее [3] определения риска как количественной меры опасности, а неопределённость трактуем как один из атрибутов (одну из составляющих) возможной опасности (риска).

Перейдём к задачам управления региональной безопасностью и свойственным им видам неопределённости.

2. Основные виды неопределённостей при решении задач управления региональной безопасностью

Типовая система управления региональной безопасностью, её функции и задачи описаны ранее в работах [4 - 8]. Каждой функции, задаче, этапу функционирования системы свойственны свои виды неопределённости. Задачи анализа промышленно-природного риска обычно [2] разделяют на две большие составляющие – анализ экологического риска (загрязнение окружающей среды в режиме штатной эксплуатации объектов техносферы) и анализ аварийного риска (воздействие поражающих факторов аварий и инцидентов). Настоящая работа в основном касается второй составляющей – управлению региональной безопасностью в чрезвычайных и кризисных ситуациях.

По нашему мнению и мнению автора [9], одним из исходных (но зачастую неожиданных, забываемых и/или игнорируемых) источников (видов) неопределённости при решении фактически любой задачи управления региональной безопасностью является неопределённость терминологии, т.е. неоднозначная трактовка основных понятий (в т.ч. даже включая термины «безопасность» и «риск»). Поэтому «борьбу с неопределённостью» следует начинать именно с установления однозначно толкуемого всеми участниками (в рамках рассматриваемой системы или решаемой задачи) тезауруса. Желательно, чтобы основные определения были достаточно просты, конкретны и конструктивны. Опорная система понятий должна быть определена и принята заблаговременно. Понятийная основа предназначена для лиц, принимающих решения, а также для разработчиков программного обеспечения, т.е. она должна быть реализована («защита») и в информационных технологиях управления. С этим видом неопределённости тесно связана и неопределённость нормативно-правовой базы в сфере региональной безопасности. В частности, основные определения, приведённые в федеральных актах, не всегда удовлетворяют требованиям простоты и конструктивности [3]. Опорный (исходный) свод нормативно-методической документации также должен быть сформирован заблаговременно.

Следующий вид – неопределённость целеполагания, в частности, многокритериальность задач управления региональной безопасностью. В качестве критериев могут фигурировать: время выполнения задачи, стоимость работ, уровень безопасности (риска), значение возможного ущерба. В области решения многокритериальных задач разработаны различные подходы и методы.

Далее отметим такую важную и разнородную составляющую, как неопределённость информации о текущей обстановке. Для многих задач управления региональной безопасностью характерна неполнота и/или неточность знаний о текущей ситуации: информации об аварии или инциденте

(исходном событии), состоянии безопасности управляемых объектов и процессов, характеристиках сил и средств борьбы с авариями, природно-климатических условиях, сведениях о скорости изменения (нестабильности) обстановки.

Неопределённость может порождаться многоальтернативностью возможных решений (например, допустимостью применения различных технологий локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации), междисциплинарным характером задачи.

Неопределённость прогноза обстановки и оценки последствий принятых решений. Здесь играют роль как неопределённость исходных данных, так и неточность используемых моделей и методик. Несмотря на многообразие методической базы, она явно недостаточна: разные подходы дают разные результаты для одного и того же процесса, оценки порой очень грубые и упрощённые, не учитываются важные факторы (например, рельеф местности, время года, инфраструктура и т. п.), нечётко сформулированы принятые соглашения, ограничения и допущения (область применимости).

Для ряда задач региональной безопасности может иметь место неопределённость, обусловленная столкновением интересов двух или более сторон.

Также возможны структурные неопределённости, обусловленные неполнотой информации о структуре системы управления, объекта управления, окружающей среды.

Кроме того, возможно (при необходимости) выделение таких видов неопределённости, как промышленная, экологическая, экономическая (в т.ч. финансовая), социальная, политическая.

Возможна классификация видов неопределённости по этапам процесса управления (оценка обстановки, идентификация задачи, концептуальная модель ситуации, расчётные модели, выработка рекомендаций, реализация решения, передача информации). Иногда выделяют «человеческий фактор» как особый источник и вид неопределённости [9]. Обзор возможных классификаций и описание видов неопределённостей также можно найти в [9].

3. Принципы и методы учёта неопределённостей при управлении риском

Представляется возможным и целесообразным применять к учёту неопределённости те же принципы и подходы, которые используются при определении и/или оптимизации уровня риска и безопасности: принцип приемлемого риска, принцип оптимизации соотношений выгоды и ущерба. Так, при управлении риском производится сопоставление показателей одновременного увеличения и снижения риска. Такое сопоставление требует введения общей меры для показателей, позволяющей количественно выразить в одних и тех же единицах как ущерб, так и выгоды от принятия того или иного решения. Затем формируется общая (интегральная) оценка возможного ущерба и аналогичная оценка возможной выгоды. Польза (Π) от выбранного решения может быть определена в виде разности оценки выгоды и оценки ущерба. Если польза положительна, то такое решение оправдано, целесообразно. В противном случае ($\Pi < 0$) решение влечёт больше отрицательных, чем положительных последствий. Одним из продвинутых примеров реализации такого подхода является ядерная энергетика. Ещё одним примером применения подхода

является swot-анализ, имеющий дело в основном с качественными оценками. Также в качестве аналога можно отметить метод анализа «затраты – выгоды», применяемый при оценке привлекательности инвестиционных проектов, а также для обоснования оптимальных значений количественных показателей безопасности.

К числу традиционных и апробированных подходов к формализации неопределённостей в анализе рисков можно отнести:

- теорию вероятностей и математическую статистику, случайные графы;
- логико-вероятностное моделирование;
- теорию нечётких множеств, нечёткие графы;
- сценарный анализ;
- анализ разномасштабных событий на основе самоподобия;
- теорию хаоса, теорию катастроф (синергетика или нелинейная динамика).

Каждый из подходов имеет свою область применения. Обзор подходов к количественной оценке неопределённостей содержится в [9].

Различные методы и подходы в оценке различных неопределённостей порождают спектр возможных форм результатов оценки. Однако для принятия решений на завершающем этапе желательно привести эти результаты к единой, векторной или скалярной форме [2]. Так, риск чаще всего представляют в виде пары «вероятность – ущерб». Неопределённость тоже следует привести к скалярному показателю вроде «степени доверия» или меры возможного разброса результатов. Перспективным представляется подход, аналогичный интервальному оцениванию (точность и надёжность статистических оценок) в математической статистике (что также упоминается в [9]).

4. Методология учета неопределённостей при управлении региональным риском

Близким к принимаемому в настоящей работе является подход, развиваемый для оценки успешности инфраструктурных проектов [10]. Авторами предлагается метод построения двусторонних матриц рисков-шансов, учитывающий дуалистический характер неопределённостей при реализации проектов. Выделяются два подхода к оценке и планированию: детерминированный (рассматривается наиболее вероятный сценарий) и рисковый (выполняется вероятностный анализ всего сценарного графа). Для первого подхода случайные величины возможных критериев заменяются детерминированными характеристиками, при этом для компенсации возникающих неопределённостей вводятся запасы и рассчитываются предельно допустимые значения критериев. Для второго подхода строится сценарное дерево реализации проекта, включающее в себя три основных сценария (базовый, оптимистический и пессимистический) и случайные факторы влияния на проект (приводящие к ветвлению сценариев). Каждый исход (конечное состояние) характеризуется набором критериальных параметров и вероятностью. Для сопоставления различных исходов вводится многокритериальная функция полезности, далее строится профиль полезности (распределение полезности по сценариям). Формируется матрица рисков/шансов в координатах полезность (ось абсцисс) и вероятность (ось ординат), она имеет

две составляющих – левостороннюю (негативные случайные факторы, пессимистические сценарии, отрицательная полезность) и правостороннюю (позитивные факторы, оптимистические сценарии, положительная полезность). Далее в этих же координатах строятся критериальные линии рисков и шансов, разделяющие полуплоскость полезность – вероятность на области категорирования.

В настоящей работе оценку безопасности и полезности принимаемых решений предлагается осуществлять на основе случайной величины возможного ущерба от разнородных риск-факторов, включая фактор неопределённости. Сопоставление «негативных» оценок риска с «позитивными» оценками эффективности (возможная польза, выгода) способствует принятию сбалансированного решения. Предполагается разработка методов количественной оценки рисков и выгод с учётом неопределённости и создание модели формирования единого фазового пространства принятия решений.

Рассмотрим вопрос понижения степени неопределённости или пополнения информации (знания). Во-первых, необходимо выяснить, возможно ли это в принципе. Во-вторых, если пополнение в принципе возможно, следует обосновать его целесообразность. Не имеет смысла уточнять и/или пополнять информацию, если это будет слишком дорого стоить или займёт неоправданно много времени. Решение этого вопроса зависит в том числе и от того, осуществляется в данный момент заблаговременное (например, стратегическое) планирование или оперативное (например, кризисное) управление. Приведённые рассуждения позволяют построить укрупнённый алгоритм информационной технологии управления региональной безопасностью с учетом неопределённостей (рис.).

Предполагается циклическое использование приведённого алгоритма на различных этапах процесса управления региональной безопасностью.

Заключение

Разработаны основы подхода к учету фактора неопределённости при управлении региональной безопасностью. Описаны основные этапы управления и свойственные им виды неопределённости. Дан обзор возможных методов формализации неопределённостей. Сформулирована идея оптимизации степени неопределённости, отражающая дуалистический (позитивный и негативный) характер принимаемых решений и основанная на формировании интегрального количественного показателя эффективности. Сопоставление оценок риска с оценками возможной выгоды способствует принятию сбалансированного решения с приемлемым уровнем риска.

В целом можно констатировать, что, как и в исследованиях риска [1], при анализе неопределённости вряд ли возможно использование единого, унифицированного подхода, пригодного для всех аспектов проблемы управления безопасностью, в т. ч. региональной. Поэтому оценку неопределённостей, по-видимому, следует выполнять для различных задач различными методами [9].



Алгоритм управления безопасностью с учётом неопределённостей

Дальнейшие исследования по количественному анализу неопределённости при управлении риском предполагают:

- рассмотрение проблемы на примере конкретных чрезвычайных ситуаций, свойственных региональному уровню;
- формирование информационной технологии управления региональной безопасностью с учётом неопределённостей.

Литература

1. Быков, А.А. Об анализе риска, концепциях и классификации риска / А.А. Быков, Б.Н. Порфирьев // Проблемы анализа риска. -2006. -Т.3, №4. - С.319-337.
2. Колесников, Е.Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска. Ч.1. / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. - 2013. - Т.10, № 2. -С.48-71.
3. Яковлев, С.Ю. Безопасность труда и промышленная безопасность / С.Ю. Яковлев // Varents Newsletter on Occupational Health and Safety. - Helsinki, 2001. - Vol. 4, No. 1. -С37-39 (in Russian).
4. Путилов, В.А. Система управления безопасностью региона / В.А. Путилов, С.Ю. Яковлев // Региональные информационные системы: сборник научных трудов. –Ч.1. - Апатиты: КНЦ РАН, 1995. - С.7-14.
5. Яковлев, С.Ю. Основные положения концепции информационного обеспечения управления промышленной безопасностью региона (на примере Мурманской области) / С.Ю. Яковлев // Теоретические и прикладные модели информатизации региона: сборник научных трудов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – С.12-19.
6. Яковлев, С.Ю. Прикладные разработки ИИММ КНЦ РАН по информационной поддержке обеспечения безопасности региональных промышленно-природных комплексов / С.Ю. Яковлев // История науки и техники. - 2014. - №1. – С.107-123.
7. Маслобоев, А.В. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов. - Апатиты: КНЦ РАН, 2016. - 222 с.
8. Маслобоев, А.В. Развитие методологии сетцентрического управления региональной безопасностью. Системный анализ проблемы / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института системного анализа РАН. -Ч.1. -2016. - Т.66. - №1. - С. 26-39.
9. Колесников, Е.Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска. -Ч.2. / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. – 2013. – Т.10, № 3. -С.8-31.
10. Махутов, Н.А. Оценка успешности реализации инфраструктурных проектов с учетом факторов неопределенности и многокритериальности принятия решений / Н.А. Махутов, Д.О. Резников, В.П. Петров // Проблемы анализа риска. – 2013. – Т.10, №3. – С.32-45.

Сведения об авторе

Яковлев Сергей Юрьевич - к.т.н, старший научный сотрудник, доцент,

e-mail: yakovlev@iimm.ru

Sergey Yu. Yakovlev - PhD. (Tech. Sci.), senior researcher, associate professor

В.В. Быстров¹, М.Г. Шишаев^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² ФГБОУ ВО «МАГУ»

ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА РАНДОМИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ МИГРАЦИИ*

Аннотация

В статье рассмотрены основные компоненты и принципы использования информационной технологии автоматизированного синтеза рандомизированных комплексных моделей миграции населения. Представлена структура полимодельного комплекса, включающего в себя комбинации различных видов имитационных моделей, онтологические описания, опирающиеся на оригинальные энтропийные динамические модели миграции. Описано функциональное назначение и принципы реализации компонентов информационной технологии.

Ключевые слова:

миграция населения, демоэкономика, математическое моделирование, полимодельные комплексы, онтология, имитационное моделирование.

V.V. Bystrov, M.G. Shishaev

FUNDAMENTALS OF INFORMATION TECHNOLOGY OF AUTOMATED SYNTHESIS OF RANDOMIZED COMPLEX MODELS OF MIGRATION

Abstract

The article considers the main components and principles of using the information technology for automated synthesis of randomized complex population migration models. The structure of a poly-model complex including combinations of different types of simulation models, ontological descriptions based on original entropic dynamic migration models is presented. The functional purpose and principles of the implementation of information technology components are described.

Keywords:

migration of population, demoeconomics, mathematical modeling, polymodel complexes, ontology, simulation.

Введение

Одной из отличительных особенностей современного мира является наличие разнообразных миграционных процессов. Значительная масса людей по всей планете вовлечены в непрекращающиеся процессы перемещения в поисках более приемлемых для себя условий проживания. Данное явление оказывает существенное влияние на изменение численности населения, его половозрастную структуру, на показатели смертности и рождаемости. Изменение перечисленных показателей опосредованно влияет на региональные экономические процессы, а вместе с ними и на условия проживания будущих поколений.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-29-12878 (офи_м) «Развитие методов идентификации динамических моделей со случайными параметрами и их применение для прогнозирования миграции в Евразии».

В частности, миграционные процессы оказывают непосредственное влияние на преобразование социально пространственных отношений, что приводит к формированию нового рынка труда. Темпы развития таких отношений различны и не всегда согласуются с адаптационными возможностями, как самих мигрантов, так и коренных жителей регионов. Эти несогласованности могут служить причиной повышения социальной напряженности в отдельных регионах. По мнению некоторых исследователей [2, 5], задача составления прогноза миграции является наиболее сложной из задач прогнозирования динамики населения. Основной причиной сложности моделирования миграции является отсутствие полной информации о структуре миграционных потоков. В связи с этим при решении задачи прогнозирования миграции практически невозможно достижение той же точности, как и при расчете естественного движения населения.

На сегодняшний день появились научно-исследовательские работы, анализирующие генезис развития различных подходов к моделированию и прогнозированию миграции [11], что создает определенные основания для изучения миграционных процессов на базе современных информационных технологий с использованием математического моделирования.

Многие математические модели, связанные с исследованием динамики населения, и, в частности, миграции, отражают взаимосвязь демографических и экономических процессов. Подход к изучению подобного рода социально-экономических систем предложен академиком Ю.С. Попковым [8]. Основная идея предложенного подхода заключается в выявлении определенных состояний демоэкономических систем, которые появляются в результате взаимодействия процессов пространственно-временной эволюции населения и экономики в терминах макропоказателей. При этом базовым предположением является то, что население региона экономически мотивировано, т.е. поведение отдельных индивидов большей частью определяется разнообразными экономическими показателями. В агрегированном виде демоэкономическая система представляется в виде соответствующей модели, структурно состоящей из двух основных подсистем – «Население» и «Экономика», а также вспомогательной подсистемы «Взаимодействие». Подсистемы построенной таким образом демоэкономической модели включены в замкнутый контур, и поэтому обозначение прямых и обратных связей в нем зависит от приоритета, который придается подсистеме «Население» по отношению к подсистеме «Экономика».

Стоит отдельно отметить, что, предпринимая меры по повышению уровня макромоделирования, обычно снижается точность прогнозирования, но сохраняется горизонт прогнозирования и его качественные характеристики. Одним из возможных путей устранения указанного недостатка является разработка полимодельных комплексов, интегрирующих в себе разные подходы моделирования. Например, аналитическое моделирование в терминах экономических и демографических макропоказателей можно применить для выявления (расчета) базовых трендов миграционных процессов, а имитационное моделирование – как средство повышения адекватности прогноза на основе коллективных экспертных знаний. Отметим, что приводимый ниже материал направлен на развитие указанной концепции для исследования миграционных процессов.

Так в данной статье приводятся отдельные результаты первого года исследования по проекту «Развитие методов идентификации динамических моделей со случайными параметрами и их применение для прогнозирования миграции в Евразии». В рамках указанного научно-исследовательского проекта авторский коллектив предлагает осуществить междисциплинарный синтез процедур идентификации и прогнозирования, ориентированных на процессы пространственно-временной, многоцелевой миграции населения. Одним из предполагаемых результатов выполняемой работы является информационная технология автоматизированного синтеза рандомизированных комплексных моделей миграции.

Концепция информационной технологии

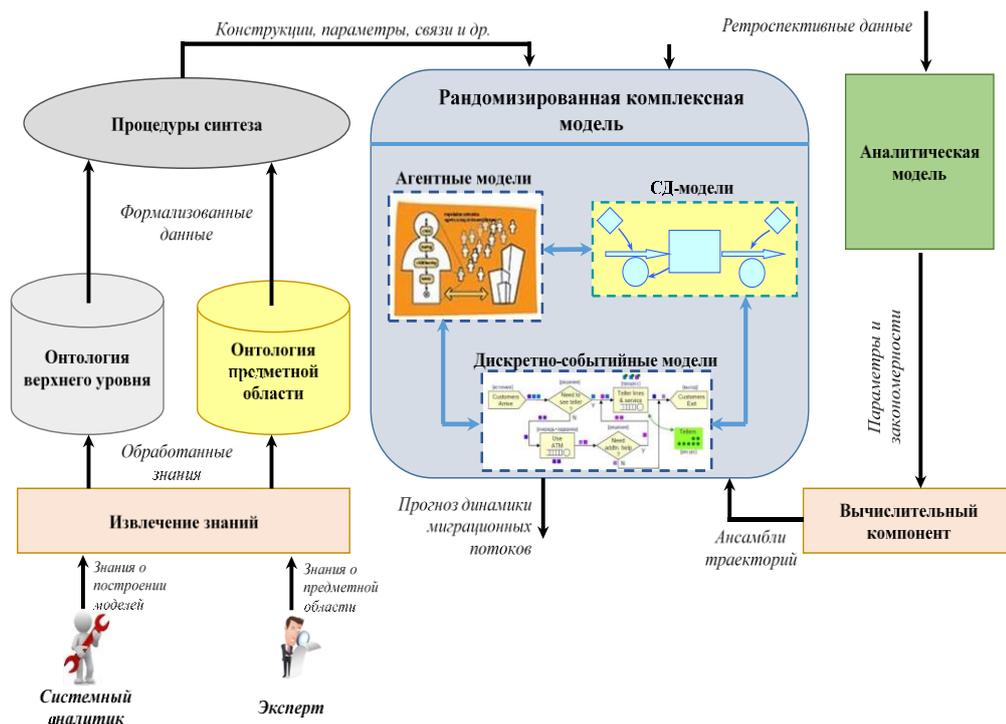
Для повышения качества моделирования миграционных процессов было принято решение в рамках проводимого научно-исследовательского проекта расширить аналитические модели за счет применения методов имитационного моделирования. Одной из поставленных задач является создание целого полимодельного комплекса, включающего в себя комбинации различных видов имитационных моделей, онтологические описания, опирающиеся на оригинальные энтропийные динамические модели миграции. Для создания такого комплекса разрабатывается информационная технология синтеза рандомизированных комплексных моделей миграции. В основу технологии положены развиваемые последние десятилетия авторским коллективом подходы, методы и средства исследования сложных социально-экономических систем.

Данная информационная технология позволит генерировать комплексные модели миграционных процессов в автоматизированном режиме, основываясь как на результатах вычислительного эксперимента описанных выше математических моделей, так и на формализованных экспертных знаниях о макросистеме «население-экономика».

На рис. приводится общая структура разрабатываемой информационной технологии синтеза моделей миграционных процессов. В конечной реализации технология будет представлена программным комплексом, включающим в себя набор взаимодействующих относительно независимых программных компонентов, каждый из которых выполняет определенный набор функций в соответствии с предлагаемой схемой. Из приведенной структуры сознательно опущены процессы, связанные с организацией взаимодействия между конечным пользователем и программным комплексом, т.к. рандомизированные комплексные модели миграции будут являться частью более масштабного средства поддержки принятия решений, с которым непосредственно и будет взаимодействовать пользователь.

Согласно приведенной схеме (рис.) разрабатываемая информационная технология включает в себя следующие компоненты:

- Аналитическая модель. Представляет собой рандомизированную параметрическую модель миграции, настроенную с помощью алгоритма энтропийного рандомизированного машинного обучения. На выходе данного компонента формируются параметры и закономерности между ними в формализованном виде.



Структура информационной технологии синтеза рандомизированных комплексных моделей миграции

- **Вычислительный компонент.** Предназначен для проведения вычислительного эксперимента для разработанных аналитических моделей миграции. Реализуется в виде программного модуля, осуществляющего проведение расчетов математических моделей в численном виде. На выходе формирует ансамбли траекторий динамики миграционных потоков.

- **Компонент извлечения знаний.** Применяется для организации взаимодействия с экспертами с целью формирования и последующего пополнения базы знаний и данных о моделируемых процессах. Выделены две категории пользователей для данного компонента: эксперты и системный аналитик. Эксперт является носителем знаний о явлениях и процессах исследуемой предметной области. Системный аналитик является экспертом в области системного анализа и создания имитационных моделей сложных систем. На выходе компонента формируются экспертные знания, представленные в удобной для занесения в онтологии форме.

- **Онтология предметной области [6].** Выполняет роль базы знаний и данных об исследуемых явлениях и процессах. Реализуется в виде прикладной онтологии в формате OWL [13, 14, 15].

- **Онтология верхнего уровня [12].** Содержит информацию о терминах, отношениях, правилах и механизмах, используемых в области имитационного моделирования. Выступает в роли базы знаний, применяемой для синтеза системно-динамических, агентных и дискретно-событийных моделей и их комбинаций в конкретной среде моделирования.

- Процедуры синтеза. Представляют собой алгоритмы генерации имитационных моделей, сформированные на основе правил, хранящихся в онтологии верхнего уровня. Основное назначение формирование базовой конструкции полимодельного комплекса в результате установления соответствия между понятиями из онтологии предметной области и объектами определенной нотации метода моделирования, между отношениями и связями в имитационной модели. При определении процедур синтеза имитационных моделей используются наработки прошлых лет научного коллектива Института информатики и математического моделирования КНЦ РАН [1, 4, 7, 9, 10].

- Рандомизированная комплексная модель. Представляет собой полимодельный комплекс, состоящий из набора взаимосвязанных по параметрам системно-динамических, агентных и дискретно-событийных моделей, синтезированных на основе информации, представленной в онтологии предметной области и онтологии верхнего уровня, а также о параметрах энтропийной рандомизированной модели миграции. В качестве программной платформы используется среда имитационного моделирования Anylogic 7.

Основное назначение рандомизированной комплексной модели заключается в уточнении траекторий изменения миграционных потоков между территориально-административными образованиями (в частности, странами) за счет включения в имитационные модели факторов, которые не учитывались при построении аналитических моделей, но определяются экспертным сообществом как существенно значимые.

В рамках выполняемого научно-исследовательского проекта предлагается также разработать информационную технологию валидации рандомизированных моделей миграции. Технология базируется на механизмах сравнения результатов вычислительного эксперимента и мнения экспертов, представленного в формализованном виде. Экспертные знания формируются в виде онтологического описания и содержат информацию о свойствах и характеристиках явлений и процессов, наблюдаемых в демоэкономической системе и оказывающих явное или опосредованное влияние на миграцию. В рамках информационной технологии осуществляется количественное и качественное сопоставление математических моделей и эмпирических предположений о поведении исследуемых систем. Процедура качественного сопоставления заключается в выявлении отличий в составе и структуре аналитических моделей от соответствующей семантической организации прикладной онтологии. В качестве промежуточного звена процедуры сравнения строится для математической модели соответствующая вспомогательная онтология, содержащая информацию о ее параметрах и отношениях между ними. В результате задача качественного сопоставления сводится к сравнению двух онтологий (вспомогательной и предметной области), которая решается с помощью существующих методов из области управления знаниями. Процедура количественного сопоставления заключается в построении имитационных моделей на основе онтологий верхнего уровня и предметной области и последующее соотнесение результатов вычисления рандомизированных динамических моделей миграции и вычислительного эксперимента имитационных моделей.

Заключение

В статье предлагается расширить возможности аналитических моделей, разрабатываемых для прогнозирования миграционных процессов в системе «население-экономика», за счет использования имитационного моделирования. Интеграция демоэкономических энтропийных моделей, настроенных с помощью методов рандомизированного машинного обучения, с комплексом имитационных моделей, созданных на основе формализованных экспертных знаний, позволит повысить адекватность результатов прогнозирования. Для этих целей разрабатывается информационная технология автоматизированного синтеза рандомизированных комплексных моделей миграции. Отличительной особенностью данной технологии является совместное использование энтропийных аналитических моделей, полимодельного комплекса, онтологий разных уровней, процедур синтеза моделей.

Полимодельный комплекс представляет собой набор взаимосвязанных системно-динамических и агентных моделей, сгенерированных с помощью процедур автоматизированного синтеза. Генерация моделей производится на основе информации о параметрах и связей между ними, получаемой из «обученной» методами рандомизированного машинного обучения динамической модели миграции и онтологии предметной области. Прикладная онтология содержит экспертные знания о демографических и экономических составляющих, оказывающих влияние на миграционные процессы. Для реализации процедур автоматизированного синтеза строится онтология верхнего уровня, содержащая термины, принципы и правила создания системно-динамических, агентных и дискретно-событийных моделей.

В целом, проводимое исследование является развитием теории общих методов моделирования процессов миграции, а также обладает определенной научной новизной для общих методов анализа данных и прогнозирования на основе компьютерного моделирования.

Литература

1. Быстров, В.В. Информационная технология синтеза динамических моделей сложных систем / В.В. Быстров, А.В. Горохов // Информационные ресурсы России. - М: Российское энергетическое агентство МЭ РФ. -2007. -№2. - С.5-9.
2. Денисенко, М.Б. Математические модели миграции населения / М.Б. Денисенко // В кн.: Современная демография; под ред. А.Я. Кваши, В.А. Ионцева. -М.: Изд-во МГУ. - 1995. - 272 с.
3. Добров, Б.В., Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения: учебное пособие / Б.В. Добров и другие. - М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. - 173 с.
4. Кудинова, О.В. Синтез имитационных моделей на основе онтологий с использованием процедуры соотнесения шаблонов и обратной «допараметризации» онтологии / О.В. Кудинова // Труды КНЦ РАН. - Апатиты: КНЦ РАН, 2010, №3. - С.46-49.
5. Лукина, А.А. Анализ и математическое моделирование международной трудовой миграции / А.А. Лукина, А.В. Прасолов // Управленческое консультирование, 2015. - №10 (82). - С.146–156.

6. Найханова, Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования / Л.В. Найханова // Монография. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. – 244 с.
7. Олейник, А.Г. Инструментальные средства интерактивного формирования имитационных моделей деятельности региональной системы профессионального образования / А.Г. Олейник, А.Н. Лексиков // Труды ИСА РАН. – М.: ИСА РАН. – 2008. –Т.39. – С.267-276.
8. Попков, Ю.С. Математическая демоэкономика: Макросистемный подход / Ю.С. Попков. – М.: ЛЕНАНД, 2013. – 560 с.
9. Путилов, В.А. Синтез имитационных моделей сложных систем на основе экспертных знаний / В.А. Путилов, А.В. Горохов, В.В. Быстров // Информационные технологии и вычислительные системы. –М.: УРСС. – 2008. – №2. – С.27-35
10. Халиуллина, Д.Н. Проблемно-ориентированный программный комплекс поддержки стратегического планирования развития малых инновационных предприятий / Д.Н. Халиуллина //Труды СПИИРАН. –СПб: СПИИРАН, 2016, №3 (46). –С.190-211.
11. Юдина, Т.Н. Прогностические модели миграции в Россию: подходы и анализ / Т.Н. Юдина // In MIGRATION 6. Tbilisi, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Migration Research Center, 2013. –P.25-43.
12. Vargas-Vera, M. MnM: Ontology-Driven Tool for Semantic Markup / Vargas-Vera M. and other // European Conf. on Artificial Intelligence (ECAI 2002). In Proc. of the Workshop Semantic Authoring, Annotation & Knowledge Markup (SAAKM 2002). Lyon France, July 22-23, 2002. –P.19-24.
13. Клинов, П. О формальных основах OWL. – Режим доступа: <http://shcherbak.net/2009/03/o-formalnyx-osnovax-owl/> (дата доступа: 10.11.2017).
14. OWL, язык веб-онтологий. Руководство. Рекомендация W3C. 10 февраля 2004. – Режим доступа: http://sherdim.ru/pts/semantic_web/REC-owl-guide-20040210_ru.html (дата доступа: 10.11.2017).
15. Balani N. The future of the Web is Semantic. – Режим доступа: [http://masters.donntu.org/2012/iii/shelyuk/library/semantic future.htm](http://masters.donntu.org/2012/iii/shelyuk/library/semantic_future.htm) (дата доступа - 10.11.2017).

Сведения об авторах

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: bystrov@iimm.ru
Vitaliy V. Bystrov - PhD (Tech. Sci.), senior researcher

Шишаев Максим Геннадьевич - д.т.н, доцент, главный научный сотрудник,
e-mail: shishaev@iimm.ru
Maxim G. Shishaev - Dr. Sci. (Tech.), associate professor, lead researcher

УДК 004.94

Д.Н. Халиуллина¹, В.В. Быстров¹, С.Н. Малыгина^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПОЛИМОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ЕВРАЗИЙСКОГО КОНТИНЕНТА*

Аннотация

Статья посвящена имитационному моделированию миграционных процессов Евразийского континента. Предлагается в качестве математического аппарата использовать вероятностный демоэкономический подход. Полимодельный комплекс создается в среде AnyLogic с использованием агентных технологий и метода системной динамики. Уделяется внимание составу разрабатываемого прототипа и реализации его отдельных компонентов.

Ключевые слова:

полимодельный комплекс, демоэкономика, имитационное моделирование, системная динамика, агентное моделирование.

D.N. Khaliullina, V.V. Bystrov, S.N. Malygina

DEVELOPMENT OF PROTOTYPE OF MULTI-MODEL COMPLEX FOR MODELING PROCESSES OF THE EURASIAN CONTINENT MIGRATION

Abstract

The article focuses on simulation of migration processes of the Eurasian continent. It is proposed to use a probabilistic demo-economic approach as a mathematical formalism. Multi-model complex is created by simulation tools of AnyLogic using agent technology and method of system dynamics. Attention is paid to the composition of the developed prototype and the realization of its individual components.

Keywords:

multi-model complex, demo-economic approach, simulation, system dynamics, agent-based modeling.

Введение

Социально-экономическое развитие общества во многом зависит от демографических процессов, протекающих в нем. Одним из важных факторов, влияющих на изменение численности населения, является миграция. Под миграцией населения будем понимать любое территориальное перемещение населения, связанное с пересечением как внешних, так и внутренних границ административно-территориальных образований [1].

Существует достаточно много работ, посвященных исследованию миграционных процессов. Можно выделить несколько наиболее распространенных

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-29-12878 (офи_м) «Развитие методов идентификации динамических моделей со случайными параметрами и их применение для прогнозирования миграции в Евразии»).

подходов к изучению данной тематики: синергетический [2 - 6], вероятностный [7 - 10], метод клеточных автоматов [11 - 15].

Принимая во внимание многообразие существующих моделей, описывающих процессы миграции, при разработке прототипа полимодельного комплекса был взят вероятностный демоэкономический подход, более подробно описанный в работе Ю.С. Попкова [10], в котором представлен математический инструментарий, отражающий «принципиальные особенности феноменологии демоэкономической системы».

Основные этапы исследования

Применение концепции вероятностной демоэкономики для исследования миграционных процессов включает в себя несколько этапов:

1. Обработка и организация хранения статистических данных по основным показателям: демографические (рождаемость, смертность, коэффициенты миграции и т. д.), экономические (ценообразование, количество отраслей экономики, их мощности и т. д.), доля влияния секторов экономики внутри каждой зоны друг на друга и др.

2. Формирование множества моделируемых объектов с учетом результатов обработки статистических данных и экспертных знаний. К основным объектам разрабатываемого прототипа были отнесены: зоны, типы людей, отрасли экономики и др. При этом зоны (кластеры) формируются за счет группировки отдельных стран Евразийского континента на основе их характеристик.

В зависимости от объекта исследования определялся тип модели:

а. Системно-динамические, которые позволяют изучать поведение сложных систем во времени, представляя их как сеть взаимодействующих уровней и потоков, характеризующихся наличием причинно-следственных связей, петель обратных связей, задержек реакции, влияния среды и др. Системно-динамическое моделирование использовалось при реализации агентов секторов экономики, так как позволяет проследить накопления в системе определенных параметров.

б. Агентные, отличительной особенностью которых является формирование глобального поведения системы в результате воспроизведения индивидуального поведения отдельных ее частей. В виде агентных моделей были реализованы следующие объекты: человек, зона, сектор экономики.

Для определения отдельных параметров имитационных моделей использовались аналитические модели (уравнения или системы уравнений, записанные в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и иных соотношений и логических условий). Например, для решения оптимизационных задач по определению значений конкретных показателей (параметров) применялось энтропийно-робастное моделирование.

3. Организация взаимодействия перечисленных моделей для получения общего представления о развитии макросистемной модели миграции средствами системной интеграции.

4. Проведение вычислительного эксперимента и верификация комплекса моделей миграции.

Основные объекты полимодельного комплекса

Согласно рассматриваемому подходу макросистемная демоэкономическая модель в общем виде состоит из двух подсистем: «Население», «Экономика», которые связаны между собой прямыми и обратными связями. «Население» моделирует естественное изменение численности населения (рождаемость и смертность) и миграцию (внутреннюю и внешнюю). «Экономика» отражает экономическое состояние каждой зоны и распределение секторов экономики в ней.

На текущем этапе исследования в рассмотрение берется только внутренняя миграция – миграция населения между зонами. Условное разделение Евразийского континента на зоны представлено на рис. 1. Одним из основных критериев отнесения страны к конкретной зоне являются экономическая составляющая и тип деторождения.



Рис. 1. Разделение Евразийского континента на зоны (кластеры)

Каждая зона представляется агентом и включает в себя рассматриваемые подсистемы – «Население» и «Экономика». Зона описывается следующими параметрами: имя зоны; размер зоны; количество секторов экономики; процентное распределение мужчин и женщин различного типа.

Заполнение зоны людьми происходит в соответствии с процентным распределением женщин и мужчин, а также вероятностным распределением типов женщин (западного и восточного). Западный тип характеризуется рождением в среднем 1-2 детей, а восточный – 4-6.

Люди, как объект исследования, также представляются в прототипе агентами, которые определяются соответствующими параметрами: возрастом (p.age), типом миграции (по экономическим причинам или для воссоединения семьи; p.migration), удовлетворенностью зоной проживания (p.satisfaction), вероятностью смерти (p.death), полом (p.Male), количеством детей (p.birth), и др.

Реализация подсистемы «Население»

При создании агента человека (вызов функции `people.add((Person)o)`) любого типа независимо от пола автоматически производится присоединение его к определенной зоне рождения, а также к родителю (матери). При рождении девочки, ей присваивается тип рождаемости матери (западный или восточный).

При смерти человека (вызов функции `people.remove(o)`) любого типа независимо от пола автоматически производится удаление его из зоны проживания.

Программно внутренняя миграция населения организуется за счет перемещения людей из одной зоны в другую. При этом происходит вызов соответствующей функции:

```
if ((zone!=null) && ((zone!=target_zone)))  
{ get_Main().movesCounter[zone.getIndex()][target_zone.getIndex()]++;}
```

Важной составляющей в модели является учет возраста создаваемого агента человека любого типа независимо от пола. Данный параметр позволит нам следующее:

- уничтожать агента в случае предполагаемой смерти данного человека, поскольку задаваемый возраст населения находится в промежутке от 0 до 85 лет;
- переводить агента в разряд взрослого населения для организации миграционных потоков (>20 лет);
- в случае с агентами женщин любого типа данный параметр будет отвечать за репродуктивную функцию. При этом фертильный возраст находится в промежутке [15; 45].

Обновление возраста происходит через год и меняется у всех людей. При рождении женщиной ребенка параметр `birth` (количество детей) данного агента увеличивается на единицу, при этом вероятность рождения мальчика или девочки одинакова и составляет 50%. Это дает возможность отслеживать рождаемость у женщин в соответствии с ограничениями, наложенными на агентов данного типа. При организации миграционных потоков учитывается связь «мать и дитя», которая разрывается при достижении ребенком 20-летнего возраста.

Реализация подсистемы «Экономика»

При инициализации модели в каждой зоне помимо подсистемы «Население» также формируется подсистема «Экономика» - создаются сектора экономики, относящиеся к данной зоне. Каждый сектор экономики представлен агентом, для которого задаются следующие параметры: название сектора экономики (`se.name`); индекс сектора экономики для упрощения обработки данных (`se.sector_index`); зона, к которой принадлежит сектор экономики (`se.zone`); равновесная цена, характерная для этого сектора экономики каждой зоны (`se.p`).

Каждый сектор экономики представляет собой системно-динамическую модель, шаблон которой представлен на рис. 2.

Одним из показателей секторов экономики является «Производственная мощность» (M), представленная в системно-динамической модели уровнем. Его изменение характеризуется входящим потоком обновления (за счет инвестиций - *Investments*) и исходящим потоком амортизации (за счет естественного старения - *Depreciation*):

$$\frac{dM}{dt} = Investment s - Depreciation .$$

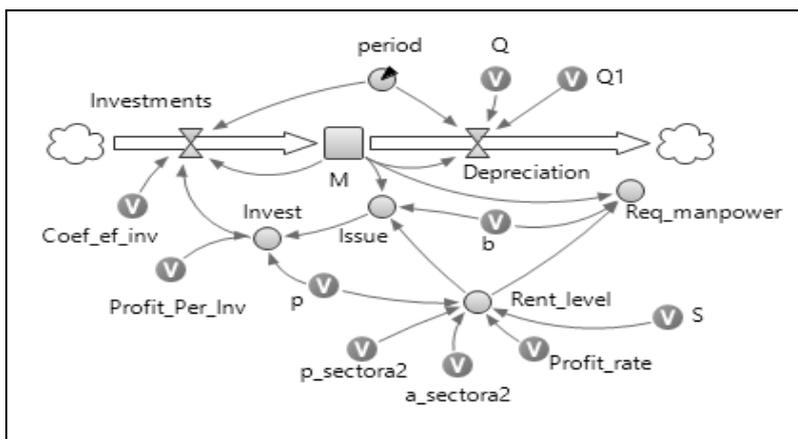


Рис. 2. Шаблон модели сектора экономики

Поток обновления описывается следующим уравнением:

$$Investments = period * M * Coef_ef_inv * Invest ,$$

где $period$ - период релаксации; M - производственная мощность;

$Coef_ef_inv$ - коэффициент эффективности инвестиций;

$Invest$ - инвестиции.

Поток амортизации описывается следующим уравнением:

$$Depreciation = period * M * (Q + Q1 * M) ,$$

где $period$ - период релаксации; M - производственная мощность;

Q , $Q1$ - коэффициенты амортизации.

При этом инвестиции рассчитываются по формуле:

$$Invest = Profit_Per_Inv * p * Issue ,$$

где $Profit_Per_Inv$ - доля прибыли, направляемая на инвестиции;

p - равновесные цены; $Issue$ - выпуск продукции данным сектором экономики.

Порог рентабельности для данного сектора экономики:

$$Rent_level = \frac{1}{S} * [(1 - Profit_rate) * p - process_costs] ,$$

где S - заработная плата; $Profit_rate$ - норма прибыли; p - равновесные цены;

$process_costs$ - производственные затраты, значение которых вычисляется согласно формуле:

$$process_costs = \sum_{j=1, j \neq k}^K a^{k,j}(n,t) * p^j(n,t) ,$$

где $a^{k,j}(n,t)$ - доля продукции j -го сектора в продукции k -го сектора (отраслевые технологические коэффициенты); p^j - равновесные цены j -го сектора экономики.

Значения соответствующих переменных берутся из таблиц, содержащих информацию по распределению влияния. Основные поля таблицы содержат

названия секторов экономики, а на пересечении этих значений указывается доля влияния сектора j на сектор k.

Получение необходимой информации происходит во время вызова соответствующей функции yearlySec():

```
for(int asd=2;asd<(int)get_Main().data.getLastRowNum("Sec_Sec");asd++)
{ double ak=get_Main().data.getCellNumericValue("Sec_Sec",asd, stolbec);
  if ( ak > 0)
  { for (int gh=0; gh<fgh.sectors.size(); gh++)
    { if (asd==fgh.sectors.elementAt(gh).sector_index)
      { summa=summa+ak*fgh.sectors.elementAt(gh).p; } } }
```

Стоит отметить, что взаимодействие между рассматриваемыми подсистемами прототипа осуществляется посредством передачи информации через набор определенных модельных параметров. На выходе подсистемы «Население» формируется пространственное половозрастное распределение населения по зонам. На его основе вычисляется предложение рабочей силы в каждой из зон, которая необходима для производства товаров и услуг. Данная информация поступает в подсистему «Экономика», на выходе которой определяются параметры, влияющие на экономическую привлекательность рассматриваемой зоны для потенциальных мигрантов.

Особенности работы с данными

При разработке полимодельного комплекса внимание было уделено организации получения, обновления и хранения всей необходимой информации по странам Евразийского континента. Требуемые данные брались из статистики по европейским [16] и азиатским государствам [17].

С целью повышения эффективности и оперативности получения доступа к статистической информации, а также увеличения быстродействия ее обработки, было предложено использовать внешние таблицы (в формате MS Excel), содержащие набор определенных характеристик каждой из зон. В качестве параметров используются следующие показатели: перечень зон; перечень стран каждой зоны; перечень экономических отраслей зоны; продукция конкретной отрасли; экспортные связи между отраслями; экспортные связи между зонами; условные расстояния между зонами; равновесные цены; ценообразование на начальном этапе имитации; начальные цены на продукцию.

Обращение к каждой таблице происходит во время вызова соответствующей функции. В качестве примера можно рассмотреть считывание информации в среду AnyLogic из файла, содержащего данные по отраслям экономики конкретной зоны:

```
for (Zone z : zones)
{ for(int j=2; j<data.getLastRowNum("Zon_Sec"); j++)
  { v3=data.getCellStringValue("Zon_Sec", j, 1);
    if(v3.equals(z.name))
    { int l=2; while (l<(v5+1))
      { v4=(int)data.getCellNumericValue("Zon_Sec",j,l);
        if((int)data.getCellNumericValue("Zon_Sec",j,l)==1)
        { SectorEc se=add_sectors();
```

```
se.name=data.getCellStringValue("Zon_Sec", 1, 1);
se.sector_index=l;
se.zone=z;
se.moveSToThisZone(z); } l++; } }
```

Следует отметить, что с увеличением количества, как исходных данных, так и элементов полимодельного комплекса, возрастает сложность организации оперирования данными. Это может служить поводом для поиска альтернативных решений для хранения информации (реляционные базы данных или прикладные онтологии).

Заключение

В статье приводятся промежуточные результаты исследования, посвященного применению вероятностного демоэкономического подхода к моделированию миграционных процессов Евразийского континента. Особое внимание уделено таким вопросам, как состав разрабатываемого полимодельного комплекса и отдельным техническим аспектам реализации в выбранной среде моделирования.

В качестве дальнейших направлений развития исследования авторский коллектив видит в следующем:

- уточнение параметров компонентов модели;
- реализация алгоритмов ценообразования, как с применением макро-, так и микроэкономических подходов;
- задача выбора масштаба агента моделирования, отвечающего за индивидуума (агент – человек или агент – группа людей с определенными характеристиками?);
- учет в модели не только внутренней миграции, но и внешней по отношению к Евразийскому континенту;
- расширение списка внешних источников информации за счет добавления баз данных различных форматов;
- задача распараллеливания имитации при увеличении количества агентов в модели.

Литература

1. Воробьева, О.Д. Миграционные процессы населения: вопросы теории и государственной миграционной политики / О.Д. Воробьева // Проблемы правового регулирования миграционных процессов на территории Российской Федерации. Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. - 2003. - №9 (202). - С.35.
2. Занг, В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / В.Б. Занг // Пер. с англ. - М.: Мир, 1999. - 335 с.
3. Haken, H., Portugali, J. A Synergetic Approach to the Self-organization of Cities/ H. Haken, J. Portugali // Environment and Planning, B: Planning and Design. - 1995. - № 22. - P.35-46.
4. Portugali, J. Self-organizing cities / J. Portugali // Futures. - 1997. - №29(4/5). - P.353-380.
5. Haag, G. Active Stabilization of a Chaotic Urban System / G. Haag, T. Hagel, T. Sigg // Discrete Dynamics in Nature and Society. - 1997. - №1. - P.127-134.

6. Серков, Л.А. Синергетические аспекты моделирования социально-экономических процессов / Л.А. Серков. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН: Изд-во АМБ, 2008. - 214 с.
7. Попков, Ю.С. Макросистемные модели пространственной экономики / Ю.С. Попков // Труды ИСА РАН. - 2008. - Т.39. - С.7-38.
8. Попков, Ю.С. Теория макросистем / Ю.С. Попков. - М: УРСС, 1999. - 320 с.
9. Ресин, В.И. Вероятностные технологии в управлении развитием города / В.И. Ресин, Б.С. Дарховский, Ю.С. Попков. - М: УРСС, 2003. - 352 с.
10. Попков, Ю.С. Математическая демоэкономика: Макросистемный подход / Ю.С. Попков. - М.: ЛЕНАНД, 2013. - 560 с.
11. Cheng, J., Masser, I. Cellular Automata Based Temporal Process Understanding of Urban Growth / J. Cheng, I. Masser // Lecture Notes in Computer Science. - 2002. - №2493. - P.325-336.
12. Прогнозирование межрегиональных миграционных потоков / Ю.Д. Шмидт и др. // Экономика региона. - 2017. - Т.13, вып. 1. - С.126-136.
13. Ward, D.P. Integrating spatial optimization and cellular automata for evaluating urban change / D.P. Ward, A.T. Murray, S.R. Phinn // Regional Science. - 2003. - №37. - P.131-148.
14. Batty, M. Modelling urban dynamics through GIS-based cellular automata / M. Batty, Y. Xie, Z. Sun // Computers, Environment and Urban Systems. - 1999. - P.205-233.
15. Manrubia, S.C., Zanette, D.H. Transient dynamics and scaling phenomena in urban growth / S.C. Manrubia, D.H. Zanette // Fractals. - 1999. - Vol.7. - No.1. - P.1-8.
16. Database – Eurostat. - Режим доступа: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (дата обращения: 21.09.2017).
17. Key Indicators for Asia and the Pacific 2017 / Asian Development Bank. - Режим доступа: <https://www.adb.org/publications/key-indicators-asia-and-pacific-2017> (дата обращения: 21.09.2017).

Сведения об авторах

Халиуллина Дарья Николаевна – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: khaliullina@iimm.ru
Darya N. Khaliullina – PhD (Tech. Sci.), researcher

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: bystrov@iimm.ru
Vitaliy V. Bystrov – PhD (Tech. Sci.), senior researcher

Малыгина Светлана Николаевна – к.т.н., научный сотрудник,
e-mail: malygina@iimm.ru
Svetlana N. Malygina – PhD (Tech. Sci.), researcher

А.В. Вицентий^{1,2}, М.Г. Шишаев^{1,3}, А.А. Ершова⁴, Г.Г. Гогоберидзе^{3,4}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты

³ ФГБОУ ВО «Мурманский арктический государственный университет»

⁴ Российский государственный гидрометеорологический университет, г. С-Петербург

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНЕ КАК ОСНОВА СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МОРСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ*

Аннотация

В работе представлена концептуальная модель морехозяйственной деятельности, учитывающая интересы заинтересованных сторон (стейкхолдеров), разработанная на примере морехозяйственного кластера Мурманской области. Предлагаемая концептуальная модель может использоваться для решения задач интеллектуальной информационной поддержки управления морским (акваториальным) пространственным планированием региональных морехозяйственных комплексов. Дана характеристика проблематики морского пространственного планирования в АЗРФ на примере Мурманской области, представлены состав и структура модели в виде теоретико-множественных отношений.

Ключевые слова:

концептуальная модель предметной области, морское пространственное планирование, Мурманская область, морехозяйственная деятельность.

A.V. Vicentiy, M.G. Shishaev, A.A. Ershova, G.G. Gogoberidze

CONCEPTUAL MODEL OF REGIONAL MARITIME ACTIVITIES AS A BASIS FOR INFORMATION SUPPORT SYSTEMS FOR MARINE SPATIAL PLANNING

Abstract

The paper presents a conceptual model of maritime activities that takes into account the interests of stakeholders and is developed using the example of the Murmansk region maritime cluster. The proposed conceptual model can be used to solve problems of intellectual information support for management of marine (aquatorial) spatial planning of regional marine economic complexes. The problem of marine spatial planning in the Arctic zone of the Russian Federation is discussed using the case of the Murmansk region, and the components and structure of the model in the form of set-theoretic relations are presented.

Keywords:

conceptual model of the subject area, marine spatial planning, Murmansk region, maritime activities.

Введение

В последние годы значение Арктики для социально-экономического развития Российской Федерации продолжает неуклонно возрастать. Но

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Мурманской области в рамках научных проектов № 17-47-510298 p_a, № 17-45-510097 p_a.

дальнейшее развитие и исследование Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) не может осуществляться в отрыве от развития новых информационных технологий и повышения эффективности их использования в различных сферах хозяйственной деятельности. В данной статье представлена часть работ, направленных на создание подходов к решению задач разработки научно-методических основ управления морским пространственным планированием развития морехозяйственных комплексов европейской части Арктической зоны Российской Федерации на основе интеллектуальных информационных технологий (на примере морехозяйственного кластера Мурманской области).

Главные цели, основные задачи, стратегические приоритеты и механизмы реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике, определены в документе «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утвержден президентом РФ в 2008 году). Этим же документом вводится и система мер стратегического планирования социально-экономического развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности России.

Арктическая зона Российской Федерации, кроме прочего, характеризуется значительным экономическим потенциалом, который в настоящее время еще полностью не раскрыт. В российской Арктике сосредоточены крупные разведанные запасы углеводородов, металлов и другого ценного минерального сырья. Также большое значение для экономики страны имеют биологические ресурсы и транспортные коридоры северных морей. Значительная часть военного потенциала страны также располагается в северных и арктических широтах.

В АЗРФ входят территории девяти северных регионов России (рис. 1) [1], а её площадь, с учетом континентального шельфа и морских исключительных экономических зон, составляет не менее тридцати процентов от общей площади страны. В этой связи, учитывая то, что Российская Федерация занимает третье место по протяженности береговой линии в мире, а также чрезвычайную важность морских пространств в пределах исключительной экономической зоны России для обеспечения социально-экономического развития страны, необходимость и актуальность решения задачи систематизации проблематики морского пространственного планирования развития морехозяйственных комплексов, а также разработки подходов к ее решению на базе современных интеллектуальных информационных технологий не вызывают сомнений. Решение этой задачи позволит проводить анализ и прогноз социально-экономического развития европейской части Арктической зоны Российской Федерации в целях обеспечения национальной безопасности региона при решении задач территориального планирования морехозяйственного комплекса с использованием инструментария морского пространственного планирования и интеллектуальных информационных технологий.



Рис. 1. Территориальный состав АЗРФ [1]

Краткая характеристика Мурманской области как объекта приложения морского пространственного планирования

Несмотря на то, что большая часть территории области находится на полуострове, который омывается Белым и Баренцевым морями, имеет несколько незамерзающих портов, базы Северного военно-морского, ледокольного и рыболовных флотов, в настоящее время, в Мурманской области не существует четкого морского пространственного плана, который мог бы лечь в основу выработки новых элементов стратегии социально-экономического развития региона. При этом экономический потенциал морехозяйственной деятельности региона используется недостаточно эффективно (рис. 2) [2].

При отсутствии системного подхода к управлению приморскими, акваториальными и морскими био-социо-экономическими системами высока вероятность увеличения количества конфликтов как между природопользователями различных отраслей, так и среди хозяйствующих субъектов с одинаковыми и схожими видами деятельности. Кроме того, отсутствие системы планирования морехозяйственной деятельности может пагубно сказаться на экологической ситуации и биоразнообразии региона. Для решения этих проблем можно использовать подход на основе морского пространственного планирования (МПП). Морское пространственное планирование - это процесс, позволяющий объединить множество морепользователей из различных сфер деятельности для принятия обоснованных и согласованных решений относительно того, как наилучшим образом использовать морские ресурсы. С его помощью можно учесть кумулятивный эффект, оказываемый на окружающую среду различными морепользователями, предупредить и минимизировать возможные конфликты среди морепользователей, осуществляющих свою деятельность в одном и том же районе. Результатом МПП обычно является более скоординированный и устойчивый подход к использованию

морских ресурсов и услуг с учетом экологических ограничений природопользования и основных принципов экосистемного подхода и устойчивого развития.



Рис. 2. Социально-экономическое развитие Мурманской области [2]

Разработка концептуальной модели предметной области

Большое количество субъектов экономической и иной деятельности в морских акваториях и прибрежных зонах (стейкхолдеров), а также сложность затрагиваемых морехозяйственной деятельностью био-социо-экономических систем делает актуальной задачу системного представления состава и отношений разнородных объектов, так или иначе ассоциированных с рассматриваемой деятельностью. В качестве инструмента подобного представления в работе предлагается использовать сформулированную в терминах теоретико-множественных отношений концептуальную модель предметной области.

При разработке концептуальной модели предметной области (КМПО), учитывающей интересы стейкхолдеров, осуществляющих морехозяйственную и смежные виды деятельности авторы руководствуются основными положениями системного подхода и системного анализа, рассматривая объект управления как систему [3]. Предлагаемая КМПО необходима для обеспечения технологической основы решения задач интеллектуальной информационной поддержки по управлению морским (акваториальным) пространственным планированием развития морехозяйственных комплексов Мурманской области. Существующие сегодня решения в области информационной поддержки по управлению морским пространственным планированием в большинстве своем ориентированы на решение частных задач, носят несистемный или локальный характер и не обеспечивают достижение комплексного эффекта при управлении

территориями, акваториями и морскими пространствами [4 - 6]. Кроме того, многие из них не учитывают специфику АЗРФ, что затрудняет их адаптацию и применение в специфических условиях Арктики. Таким образом, возникает актуальная научная проблема разработки научно-методических основ МПП уровня региона, как сложной социально-экономической системы, существующей в быстро меняющейся внешней среде.

Возможность использования различных видов ресурсов, сосредоточенных на одной территории потенциально ведет к появлению противоречий (конфликтов) стейкхолдеров, что, в свою очередь, пагубно влияет на общее социально-экономическое развитие области.

Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года [7] в качестве приоритетных направлений развития указывает развитие рыбопромышленного и аквакультурного кластеров, технологического кластера обеспечения шельфовой добычи в Арктике, технологического и материального обеспечения морской деятельности, туристического кластера и развитие морского круизного туризма.

В данной ситуации, эффективное решение задач морского (акваториального) пространственного планирования, обеспечивающего планомерное и согласованное развитие кластеров как цельных социально-экономических систем, связано с необходимостью оперативной обработки огромного количества разнородной информации экспертами из различных предметных областей. Эффективность процессов управления сложными социально-экономическими объектами, такими как морехозяйственный кластер Мурманской области, часто связана не только с необходимостью сбора и переработки больших объемов разнородной информации, но и с построением и реализацией прогнозных моделей, обеспечением оперативной и адекватной реакции системы управления на изменения во всех составляющих объекта управления и во внешней среде.

Для обеспечения адекватного решаемым задачам уровня обработки информации необходимо использовать новейшие интеллектуальные информационные системы и технологии. Таким образом, информационное обеспечение управления морской деятельностью, основанное на принципах морского пространственного планирования, является важной практической задачей, требующей научного обоснования и методологического обеспечения.

В данной работе под морехозяйственным кластером Мурманской области понимается совокупность размещенных на ограниченной территории предприятий и организаций, представляющий собой непосредственных участников кластера, и связанных с их деятельностью организаций, которая характеризуется наличием объединяющей их деятельности в одной или нескольких отраслях (видах экономической деятельности), механизма координации этой деятельности и кооперации участников кластера, синергетического эффекта, выражающегося в повышении экономической эффективности и результативности деятельности участников кластера за счет высокой степени их концентрации и кооперации.

В данном контексте непосредственные участники кластера, и связанные с их деятельностью организации можно назвать совокупностью стейкхолдеров кластера. К важным характеристикам кластера относятся географическая концентрация и(или) функциональная взаимосвязанность стейкхолдеров,

конкуренция и кооперация стейкхолдеров, ведение совместной деятельности, встроенность в социально-экономическую систему.

С точки зрения моделирования, морехозяйственный кластер Мурманской области можно воспринимать как большую и сложную систему, в рамках которой осуществляют взаимодействие объекты различной природы. Важно отметить, что ни типы взаимодействия, ни природу объектов, ни их количество в такой системе нельзя установить заранее полно, точно и однозначно. Другими словами, система моделирования и, соответственно, модель, могут меняться в процессе моделирования.

При этом, различные эксперты, участвующие в процессе моделирования такой системы, могут давать несовпадающие или противоречивые данные о системе. Это является следствием того, что каждый эксперт рассматривает систему сквозь призму собственного профессионального опыта и, свойственного только ему, уникального индивидуального информационного бэкграунда. Естественно, что при попытке объединить, интегрировать для целей моделирования данные, полученные от экспертов из разных предметных областей, возникает несогласованность элементов модели и связей между ними.

В этой связи, для осуществления корректного моделирования, важно иметь возможность интеграции разнородных и, возможно даже противоречивых данных, полученных из различных источников. Обеспечить такую возможность могут формальные методы представления информации, ограничивающие возможные интерпретации знаний и данных, полученных от экспертов из разных предметных областей. Одним из широко применяемых методов для создания формализованных спецификаций предметной области является метод концептуального моделирования [8].

Рассмотренные выше проблемы делают разработку и совершенствование методов построения, инструментальных средств и самих концептуальных моделей предметной области крайне важной задачей, решение которой необходимо для последующего создания технологических и научно-методических основ и инструментария решения задач интеллектуальной информационной поддержки по управлению МПП для развития море-хозяйственных комплексов европейской части АЗРФ. Причем, разрабатываемые методы и средства должны обеспечивать широкому кругу пользователей поддержку как при разработке моделей, так и при дальнейшем их использовании и модификации.

Концептуальная модель предметной области (КМПО) задана следующим кортежем множеств:

$$CM = \langle St, Area, Res, Attr, Rel \rangle, \quad (1)$$

где St – множество стейкхолдеров, осуществляющих, или заинтересованных в осуществлении морехозяйственной и другой деятельности в морехозяйственном кластере Мурманской области. Элементы этого множества представляют основных морепользователей и другие заинтересованные стороны (например, региональные и федеральные органы власти, экологические организации и др.).

$Area$ – множество морехозяйственных областей (ограниченных пространств, районов, зон, в которых осуществляется или может осуществляться морехозяйственная деятельность). Элементам этого множества соответствуют некоторые определенные, ограниченные пространства в прибрежной зоне, акваториях и открытом море для ведения хозяйственной или иной деятельности.

Эти пространства характеризуются различными параметрами, основными из которых являются их координаты (границы) и располагающиеся в их пределах ресурсы.

Res – множество ресурсов, располагающихся в пределах рассматриваемых морехозяйственных областей. Под ресурсом понимается любые объекты хозяйственной или иной деятельности на рассматриваемой территории, а также объекты, на которые данная деятельность оказывает прямое или опосредованное воздействие. Прежде всего, это природные ресурсы, определяемые как совокупность объектов и систем живой и неживой природы, компоненты природной среды, используемые в процессе деятельности и их производные. Частным примером таких ресурсов могут служить биологические ресурсы (рыба и прочие гидробионты), газовые и нефтяные месторождения, рекреационные ресурсы и др.).

Attr – множество атрибутов объектов КМПО. Атрибуты позволяют идентифицировать конкретный элемент множества, его тип, пространственное расположение, и другие важные свойства. Множество атрибутов задано для всех элементов множеств St, Area и Res.

Rel – отношения на множествах КМПО. Элементами этого множества являются отношения на множествах концептуальной модели предметной области, имеющие существенное значение в контексте задач морского пространственного планирования:

$Rel = \{SS, SSa, SSR, SA, SAu, SAum, SAut, SAP, SAPm, SAPt, SR, SRu, SRum, SRut, SRp, SRpm, SRt, AA^k, AS, ASu, ASum, ASut, ASr, ASrm, ASrt, AR, RR, RRm, RRt, RS, RSu, RSum, RSut, RSr, RSrm, RSrt, RA, RAu, RAt\}$,

где $SS \subseteq St \times St$ – отношение «конфликт» – показывает наличие прямого или опосредованного конфликта между стейкхолдерами, обусловленного их деятельностью в одной морехозяйственной области. Конфликты могут быть вызваны различными причинами, но два основных класса конфликтов связаны с правом монопольного использования территории или ресурса:

$SSa \subseteq St \times St$ – отношение «конфликт по территории»; показывает наличие конфликта между стейкхолдерами, связанного с правом монопольного использования некоторой территории.

$SSr \subseteq St \times St$ – отношение «конфликт по ресурсу»; показывает наличие конфликта между стейкхолдерами, связанного с правом монопольного использования ресурса.

$SA \subseteq St \times Area$ – отношение «имеет интерес в морехозяйственной области» – показывает связь стейкхолдера с определенной областью морехозяйственной деятельности. Эти связи могут быть различными, но два основных типа такой связи можно описать как «использует» и «претендует». И то и другое может быть «монопольным» и «совместным»:

$Sau \subseteq St \times Area$ – отношение «ведет деятельность в»; показывает, что стейкхолдер использует определенную область морехозяйственной деятельности.

$SAum \subseteq St \times Area$ – отношение «ведет монопольную деятельность в»; показывает, что стейкхолдер использует определенную область морехозяйственной деятельности, причем, эта область может быть использована только в монопольном режиме.

$SAut \subseteq St \times Area$ - отношение «ведет не монопольную деятельность в»; показывает, что стейкхолдер использует определенную область морехозяйственной деятельности, причем, эта область может быть использована совместно.

$Sap \subseteq St \times Area$ - отношение «претендует на деятельность в»; показывает, что стейкхолдер не использует область морехозяйственной деятельности в данный момент, но претендует на её использование.

$SAPm \subseteq St \times Area$ - отношение «претендует на монопольную деятельность в»; показывает, что стейкхолдер претендует на монопольное использование области морехозяйственной деятельности. То есть, стейкхолдера интересует только право монопольного использования области морехозяйственной деятельности в случае удовлетворения его претензий.

$SAPt \subseteq St \times Area$ - отношение «претендует на не монопольную деятельность в»; показывает, что стейкхолдер претендует на совместное использование области морехозяйственной деятельности. То есть, стейкхолдер удовлетворится правом совместного использования области морехозяйственной деятельности в случае удовлетворения его претензий.

$SR \subseteq St \times Res$ – отношение «имеет объектом деятельности» - показывает связь стейкхолдера с определенным ресурсом (безотносительно к территории его расположения). Эти связи могут быть различными, но два основных класса могут быть определены как «использует» и «претендует». И то и другое может быть «монопольным» и «совместным».

$SRu \subseteq St \times Res$ – отношение «использует ресурс», которое включает в себя следующие подвиды отношений:

$SRum \subseteq St \times Res$ – отношение «использует ресурс монопольно».

$SRut \subseteq St \times Res$ – отношение «использует ресурс не монопольно»; показывает, что стейкхолдер использует определенный ресурс (безотносительно к территории его расположения), причем этот ресурс может быть использован совместно.

$SRp \subseteq St \times Res$ – отношение «претендует на ресурс»; показывает, что стейкхолдер не использует определенный ресурс в данный момент, но претендует на его использование. Отношение включает в себя следующие подвиды отношений:

$SRpm \subseteq St \times Res$ – отношение «претендует на ресурс монопольно».

$SRpt \subseteq St \times Res$ – отношение «претендует на ресурс не монопольно». То есть, стейкхолдер удовлетворится правом совместного использования ресурса в случае удовлетворения его претензий.

$AA^k \subseteq Area \times Area$ – семейство отношений k -включения ($k \in \mathbb{R}$); отражает степень включения (k) площади территории одной морехозяйственной области в площадь территории другой. Для двух элементов $a_i, a_j \in Area$, $a_i AA^k a_j$ (« a_i k -включает a_j ») если $a_i \cap a_j / a_j = k$. При $k = 0$, $a_i \cap a_j = \emptyset$, а при $k = 1$, площадь области a_i полностью включает в себя площадь a_j . В данном контексте, под площадью морехозяйственной области понимается множество всех точек этой области, ограниченное в географическом пространстве.

$AS \subseteq Area \times St$ – отношение ««является областью интересов стейкхолдера»»; показывает связь морехозяйственной области с определенным стейкхолдером. Эти связи могут быть различными, но два основных типа такой

связи можно описать как «используется» и «запрашивается». И то и другое может быть «монопольным» и «совместным».

$ASu \subseteq Area \times St$ – отношение «является областью деятельности стейкхолдера».

$ASum \subseteq Area \times St$ – отношение «является областью монопольной деятельности стейкхолдера»; показывает, что морехозяйственная область монопольно используется определенным стейкхолдером. То есть в данной области морехозяйственной деятельности никакой другой стейкхолдер не может осуществлять никакой деятельности.

$ASut \subseteq Area \times St$ – отношение «является областью не монопольной деятельности стейкхолдера»; показывает, что область морехозяйственной деятельности используется определенным стейкхолдером, причем допускается совместное использование данной области морехозяйственной деятельности.

$ASr \subseteq Area \times St$ – отношение «запрашивается для деятельности стейкхолдером»; показывает, что данная область морехозяйственной деятельности запрашивается определенным стейкхолдером для ведения деятельности.

$ASrm \subseteq Area \times St$ – отношение «запрашивается для монопольной деятельности стейкхолдером».

$ASrt \subseteq Area \times St$ – отношение «запрашивается для не монопольной деятельности стейкхолдером».

$RR \subseteq Res \times Res$ – отношение «совместим» - определяет возможность совместного (друг с другом) использования ресурсов. Использование может быть «монопольным» и «совместным».

$RRm \subseteq Res \times Res$ – отношение показывает, что при использовании одного ресурса, использование других ресурсов становится невозможным.

$RRt \subseteq Res \times Res$ – отношение показывает, что использование одного из ресурсов не накладывает ограничений на использование других ресурсов.

$RS \subseteq Res \times St$ - отношение «является объектом интересов»; показывает связь ресурса с определенным стейкхолдером. Эти связи могут быть различными, но два основных типа такой связи можно описать как «используется» и «запрашивается». И то и другое может быть «монопольным» и «совместным»:

$RSu \subseteq Res \times St$ - отношение «используется».

$RSum \subseteq Res \times St$ - отношение «монопольно используется».

$RSut \subseteq Res \times St$ - отношение «не монопольно используется».

$RSr \subseteq Res \times St$ - отношение «запрашивается для использования».

$RSrm \subseteq Res \times St$ – отношение «запрашивается для монопольного использования».

$RSrt \subseteq Res \times St$ - отношение «запрашивается для не монопольного использования».

$AR \subseteq Area \times Res$ - отношение «имеет ресурс»; указывает, что на территории данной морехозяйственной области имеется соответствующий ресурс.

$RA \subseteq Res \times Area$ – отношение «доступен для использования в», обратное предыдущему; указывает на возможность использования ресурса на территории заданной морехозяйственной области. Использование ресурса при этом может быть «исключительным» и «неисключительным». В первом случае при использовании ресурса в некоторой морехозяйственной области использование

других ресурсов в данной области исключается. Во втором случае подобного ограничения нет.

$Ram \subseteq Res \times Area$ - отношение «доступен для исключительного использования в».

$Rat \subseteq Res \times Area$ – отношение «доступен для неисклЮчительного использования в».

В соответствии с приведенными определениями, отношения образуют иерархию с корневым объектом в виде множества Rel , в пределах которой справедливы следующие соотношения:

$SS \subseteq Rel, SA \subseteq Rel, SR \subseteq Rel, AA^k \subseteq Rel, AS \subseteq Rel, AR \subseteq Rel, RR \subseteq Rel,$
 $RS \subseteq Rel, RA \subseteq Rel, SSa \subseteq SS, SSr \subseteq SS, SAu \subseteq SA, SAum \subseteq SAu, SAut \subseteq SAu,$
 $SAP \subseteq SA, SAPm \subseteq SAP, SAPt \subseteq SAP, SRu \subseteq SR, SRum \subseteq SRu, SRut \subseteq SRu,$
 $SRp \subseteq SR, SRpm \subseteq SRp, SRpt \subseteq SRp, ASu \subseteq AS, ASum \subseteq ASu, ASut \subseteq ASu, ASr \subseteq AS,$
 $ASrm \subseteq ASr, ASrt \subseteq ASr, RRm \subseteq RR, RRt \subseteq RR, RSu \subseteq RS, RSum \subseteq RSu,$
 $RSut \subseteq RSu, RSr \subseteq RS, RSrm \subseteq RSr, RSrt \subseteq RSr, RA_m \subseteq RA, RA_t \subseteq RA.$

Таким образом, полученная КМПО представляет собой логическую систему, обеспечивающую возможность вывода заключений на основе имеющихся фактов. В табл. представлены свойства определенных в КМПО отношений, потенциально значимые в контексте процедур логического вывода.

Свойства отношений

№	Отношение	Транзитивность	Симметричность	Рефлексивность	№	Отношение	Транзитивность	Симметричность	Рефлексивность
1	SS	-	-	-	21	ASum	-	-	-
2	SSa	+	-	-	22	ASut	-	-	-
3	SSr	+	-	-	23	ASr	-	-	-
4	SA	-	-	-	24	ASrm	-	-	-
5	SAu	-	-	-	25	ASrt	-	-	-
6	SAum	-	-	-	26	AR	-	-	-
7	SAut	-	-	-	27	RR	-	-	+
8	Sap	-	-	-	28	RRm	-	-	-
9	SAPm	-	-	-	29	RRt	-	-	+
10	SAPT	-	-	-	30	RS	-	+	-
11	SR	-	-	-	31	RSu	-	-	-
12	SRu	-	-	-	32	RSum	-	-	-
13	SRum	-	-	-	33	RSut	-	-	-
14	SRut	-	-	-	34	RSr	-	-	-
15	SRp	-	-	-	35	RSrm	-	-	-
16	SRpm	-	-	-	36	RSrt	-	-	-
17	SRt	-	-	-	37	RA	-	-	-
18	AA ^k	-	-	+	38	RA _m	-	-	-
19	AS	-	-	-	39	RA _t	-	-	+
20	ASu	-	-	-					

В концептуальной модели описаны состав и структура субъектов и объектов морехозяйственной деятельности в регионе, что обеспечивает возможность ее использования в качестве формальной основы решения задач интеллектуальной информационной поддержки управления морским (акваториальным) пространственным планированием развития морехозяйственных комплексов.

Формализация КМПО обеспечивает возможность автоматизации работы с моделью - от реализации процедур анализа полноты и непротиворечивости коллективных знаний, представленных экспертами, до проектирования и формирования исполнительской программной среды моделирования. Декларативный характер КМПО позволяет использовать для обработки этих знаний различные методы моделирования: аналитические, статистические, логические и имитационные. В системы моделирования могут быть интегрированы как уже существующие и хорошо зарекомендовавшие себя, так и относительно новые решения. Выбор конкретного метода и средств моделирования зависит от глубины, полноты и природы представленных в концептуальной модели знаний [9].

Заключение

В ходе проведенных работ были получены следующие основные результаты:

1. Рассмотрена задача разработки научно-методических основ управления МПП для интеллектуальной информационной поддержки развития морехозяйственных комплексов европейской части АЗРФ (на примере морехозяйственного кластера Мурманской области).

2. Обоснована необходимость создания концептуальной модели предметной области для обеспечения технологической основы решения задач интеллектуальной информационной поддержки по управлению морским (акваториальным) пространственным планированием развития морехозяйственных комплексов Мурманской области.

3. Разработана концептуальная модель предметной области, учитывающая интересы заинтересованных сторон (стейкхолдеров), осуществляющих морехозяйственную и иные виды деятельности в морехозяйственном кластере Мурманской области. Модель представляет собой формализованное описание качественного состава субъектов и объектов морехозяйственной деятельности региона и отношений между ними. Концептуальная модель предметной области может быть использована для прогнозирования и моделирования процессов управления социально-экономического развития био-социо-экономических систем морехозяйственного кластера Мурманской области с целью синтеза приемлемых для всех заинтересованных сторон пространственных планов морепользования и обеспечения оперативной и адекватной реакции системы управления на изменения составляющих объекта управления и внешней среды.

Литература

1. Лукин, Ю. Ф. Концептуальные подходы к определению внутренних границ и развитию Российской Арктики в изменяющемся мире / Ю.Ф. Лукин // *АиС*. - 2012. - №6. - С.94-109.
2. Паспорта регионов Арктической зоны РФ. – Режим доступа: <http://arctic.labourmarket.ru/region-passport>.
3. Вицентий, А.В. Разработка модели единого информационного пространства для оценки надежности его функционирования / А.В. Вицентий // *Труды Кольского научного центра. Информационные технологии*. – Вып.3. -4/2011(7). –Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. –С.65-70.
4. Технологии структурного комплексирования средств мониторинга для арктического пространственного планирования /Н.С. Зимин и др. // *Электронный научный журнал. Инженерный вестник Дона*. -2015. -№4-2. -С.36. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3486>
5. Воробьев, В. Н. Пути реализации принципов морского пространственного планирования в технологической платформе «Освоение океана» / В.Н. Воробьев, В.Б. Митько // *Известия ЮФУ. Технические науки*. -2013. -№9 (146). -С.9-14.
6. Волкогон, В.А. Возвращение России в мировой океан и проблемы рыболовства / В.А. Волкогон, Н.А. Кострикова, А.Я. Яфасов // *Управленческое консультирование*. -2013. -№3 (51). - С.36-42.
7. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года, утвержденной постановлением Правительства Мурманской области от 25 декабря 2013 г. N 768-ПП/20.
8. Олейник, А.Г. Технология представления знаний для информационной поддержки управления региональными системами /А.Г. Олейник // *Известия вузов. Приборостроение*. -Ч.1. -2005.- Т.48. - № 10. - С.3-6.
9. Фридман, А.Я. Модели и методы координации решений по управлению региональным промышленно-природным комплексом / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // *Вестник КНЦ*. – Апатиты: КНЦ РАН, 2012. - Вып.2. - С.65-78.

Сведения об авторах

Вицентий Александр Владимирович - к.т.н., старший научный сотрудник, доцент,
e-mail: alx_2003@mail.ru

Vicentiy Alexander - PhD (Tech. Sci.), senior researcher, associate professor

Шишаев Максим Геннадьевич - д.т.н, доцент, профессор РАН, главный научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН, проректор по стратегическому развитию ФГБОУ ВО МАГУ,
e-mail: shishaev@iimm.ru

Maxim G. Shishaev - Dr. Sci. (Tech.), lead researcher of IIMM KSC RAS,
vice-rector for strategic development of MAGU

Ершова Александра Александровна - к.г.н., доцент,
e-mail: amberx19@gmail.com

Ershova Alexandra - PhD, associate professor

Гогоберидзе Георгий Гививич - д.э.н., доцент,
e-mail: ggg@rshu.ru

Gogoberidze Georgii - Dr. of Sci., associate professor

УДК 004.9

Д.Н. Халиуллина¹, С.Н. Малыгина^{1,2}, В.В. Быстров¹

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СФЕРЕ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА МОНОГОРОДОВ АЗ РФ*

Аннотация

В статье рассматриваются специфические особенности и вытекающие из них проблемы моногородов АЗ РФ. Дается краткий обзор программных средств в области управления проектами. Приводится список требований к программному обеспечению, которое позволит решать задачи управления проектами с целью развития инновационного потенциала моногородов АЗ РФ.

Ключевые слова:

моногород, Арктическая зона РФ, управление проектами, системы управления проектами, инновации.

D.N. Khaliullina, S.N. Malygina, V.V. Bystrov

PROJECT ACTIVITIES IN THE FIELD OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE POTENTIAL OF SINGLE-INDUSTRY TOWNS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Abstract

The article discusses the specific features and the resulting problems of single-industry towns in the Arctic zone of the Russian Federation. A brief overview of software tools in the field of project management is given. The list of software requirements is observed. Such software can solve tasks of project management to develop innovative potential of single-industry towns in the Arctic zone of the Russian Federation.

Keywords:

single-industry town, the Arctic zone of the Russian Federation, project management, system project management, innovation.

Введение

Одной из специфических особенностей развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) является функционирование на этой территории моногородов – населенных пунктов, отраслевая структура экономики которых определяется, в большей мере, доминирующей (чаще всего сырьевой) отраслью, в которой работает одно или несколько градообразующих предприятий.

По состоянию на 2015 год из 319 моногородов РФ 14 – находятся в Арктической зоне (рис.1) [1].

* Работа выполнена по программе ОНИТ 1 РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

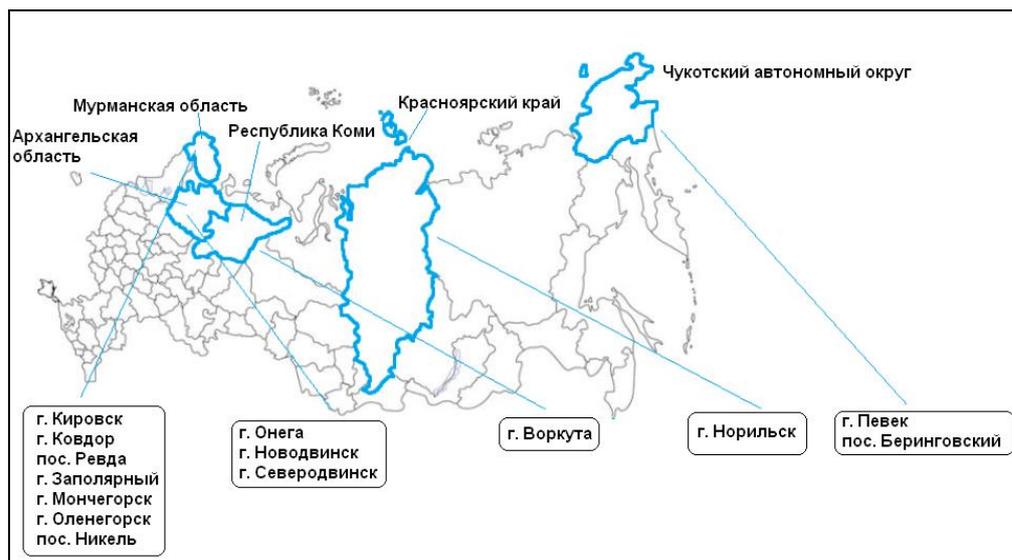


Рис. 1. Моногорода Арктической зоны РФ

Для монопрофильных городов (моногородов) АЗ РФ можно выделить ряд характерных особенностей:

- природно-климатические условия Арктической зоны (продолжительность светового дня, неплодородность почв, экстремальные климатические условия и др.);
- доминирование одного вида экономической деятельности, связанного с добычей, переработкой сырья и промышленным производством;
- профессиональная ориентация населения на конкретный вид экономической деятельности;
- сильная изношенность жилищно-коммунальной и транспортной инфраструктуры;
- отрицательные показатели по основным демографическим характеристикам за последние 10 лет (снижение численности населения, миграционный отток и др.);
- территориальная удаленность большинства моногородов от основных экономических центров.

Из перечисленных особенностей непосредственно вытекают комплексные проблемы, оказывающие существенное влияние на развитие Арктической зоны РФ:

- кадровый голод, связанный со старением населения, оттоком кадров и однонаправленностью миграционных потоков и т.д.;
- сильные диспропорции в структуре занятости;
- снижение мощностей градообразующих предприятий;
- дефицит муниципального бюджета;
- ухудшение социально-экономических факторов проживания населения (старение жилищного фонда, неудовлетворенность условиями проживания, оптимизация системы здравоохранения, снижение уровня финансирования массовых спортивно-культурных мероприятий и т.д.).

Рассмотренные проблемы могут быть отнесены к классу обще-региональных, поскольку затрагивают разнообразные аспекты развития целого региона. Понятие развития региона непосредственно связано с термином региональной безопасности, под которым обычно понимают защищенность субъекта РФ от внутренних и внешних угроз [2].

Одним из возможных решений выше озвученных проблем может явиться разработка средств информационной поддержки обеспечения региональной безопасности, которые позволят не только отслеживать негативные явления в развитии монопрофильных образований АЗ РФ, предлагать меры по их устранению, а также участвовать в развитии дополнительных инновационных перспектив и возможностей моногородов. В основу разработки подобного класса информационно-аналитических систем могут быть положены технологии проектного менеджмента. Такой подход хорошо соотносится с развитием инновационного потенциала моногородов, поскольку данный процесс осуществляется за счет реализации отдельных инвестиционных проектов.

Программные решения в области управления проектами

Проектный менеджмент широко применяется для управления хозяйственной деятельностью отдельных предприятий. Авторами статьи предлагается использовать принципы данного подхода для решения задач обеспечения региональной безопасности. Такая позиция обоснована тем, что изменения, происходящие в монопрофильных образованиях АЗ РФ, могут быть представлены в виде отдельных программ проектов. При этом проект будет рассматриваться как мероприятие, оказывающее влияние на состояние региональной безопасности.

В настоящее время для автоматизации процессов управления проектами разработаны различные программные средства, которые можно разделить на отдельные категории в зависимости от решаемых задач. В качестве таких задач можно выделить:

1. Календарное планирование проекта (определение полного перечня работ, дат начала и окончания для каждой работы проекта, определение последовательности работ и т.п.).
2. Финансовое планирование проекта (определение стоимости каждой работы, с учетом назначенных ресурсов и их расценок, распределение стоимости проекта по времени и статьям затрат, определение объемов финансирования проекта и т. п.).
3. Управление ресурсами проекта (ведение перечня ресурсов (сотрудников, производственных мощностей, материалов и т. д.), календарей ресурсов, назначение ресурсов на работы и т.д.).
4. Управление рисками проекта.
5. Ведение документации по проекту.
6. Обеспечение необходимых коммуникаций между участниками проекта.

Рассмотрим наиболее часто используемые программные средства управления проектами с учетом выделенных задач.

Программный комплекс Project Expert

Программный комплекс Project Expert [3, 15] является разработкой российской компании "Про-Инвест Консалтинг" и предназначен для финансового анализа проектов. Комплекс позволяет описать окружение проекта и его возможное изменение в процессе реализации проекта; разработать инвестиционный план проекта; описать прямые и общие издержки проекта; определить потребности в финансировании и разработать схему финансирования проекта; определить чувствительность показателей эффективности инвестиций на изменение различных факторов проекта. Программное средство предоставляет возможность проводить анализ группы проектов (ограничение - суммарная длительность проектов не должна превышать 100 лет).

К основным недостаткам системы можно отнести ее «закрытость», что проявляется в необходимости постоянного обновления при меняющихся условиях реализации проектов. При анализе рисков отсутствует возможность количественной оценки показателей рисков.

Достоинствами Project Expert являются: возможность оценки эффективности проекта всеми участниками; выявление возможных угроз и принятие решений для минимизации их негативных последствий; поддержка сценарного подхода.

Программный комплекс "Бизнес-аналитик"

Программный комплекс "Бизнес-аналитик" [4] разработан отечественной компанией ИНЭК и предназначен для финансового анализа проектов в сфере производства и оказания услуг. Позволяет разработать бизнес-план инвестиционного проекта, провести анализ эффективности инвестиционного проекта, анализ чувствительности бизнес-плана к колебаниям конъюнктуры рынка и изменениям макроэкономических условий деятельности, провести план-фактный контроль.

Основным недостатком системы является строгая ориентация на инвестиционный тип проектов. В то же время предоставляемые инструменты для работы являются достаточно гибкими, что может быть отмечено, как достоинство данного продукта.

Программный комплекс Альт-Инвест

Программный комплекс Альт-Инвест [5] разработан российской компанией ООО «Альт-Инвест» и предназначен для финансового анализа проекта. Позволяет разработать бизнес-план, провести анализ инвестиционного проекта, сравнить разные сценарии развития инвестиционного проекта, есть возможность создания портфеля проектов.

В качестве достоинств комплекса можно отметить возможность создания внутренними средствами собственных инструментов анализа, дополняющих стандартный набор.

По совокупности реализуемых функций данный продукт в большей степени относится к средствам проведения финансового анализа деятельности предприятия, а не к управлению проектами.

Программный комплекс Spider Project

Программный комплекс Spider Project [6] разработан Spider Technologies Group (Россия) и предназначен для управления проектами на всем жизненном цикле. Spider Project позволяет разработать календарный план проекта, провести распределения ресурсов и материалов, формировать бюджет проекта. В пакете предусмотрена возможность моделировать риски двумя способами: метод трех сценариев и метод Монте-Карло. Имеется возможность разграничения прав доступа при групповой работе, создания мультипроектов (группа проектов, которые используют одни и те же ресурсы), программы проектов (долгосрочное предприятие, которое включает в себя два или более проектов, требующих тесной координации) и портфеля проектов (группа проектов, направленных на достижение общих стратегических целей, имеющих общее финансирование). Также система позволяет составить расписание проекта с учетом поставок и финансирования, ограничений по поставкам и финансированию, провести расчет экономической эффективности проекта.

Достоинствами программного продукта являются: возможность расчета критических параметров реализации проекта и его отдельных фаз; определение степени свободы для каждой характеристики проекта в ограниченных условиях. Также при оценке эффективности проекта применяется вероятностная аналитическая модель.

Главными недостатками являются: отсутствие возможности территориально разнесенного управления корпоративными проектами, невозможность расширения системы собственными функциями и отсутствие интерфейсов для интеграции со сторонними программными продуктами.

Программный комплекс ELMA Проекты+

Производителем пакета ELMA Проекты+ [7] является отечественная фирма ООО «ELMA». Система предназначена для планирования и контроля выполнения проектов, управления имеющимися ресурсами (временными, финансовыми, человеческими) и организации взаимодействия между участниками проектов. Данный продукт дает возможность составить календарный план проекта, управлять бюджетом проекта, распределением ресурсов, составить список рисков проектов и возможностей их устранения.

В качестве достоинства системы можно отметить набор инструментов для управления бизнес-процессами, а также гибкую настройку пользовательского интерфейса.

Программный комплекс Адванта

Программный комплекс Адванта [8] – это Web-базированная платформа, позволяющая управлять проектами и портфелями проектов. Разработана отечественной компанией ООО «Адванта Консалтинг». В системе предусмотрено: разработка календарного плана проекта, управление стоимостью, управление ресурсами, учет рабочего времени, управление рисками, формирование портфеля проектов. Система предоставляет возможность работать по следующим направлениям: управление проектами (Project Management), управление портфелями проектов (Project Portfolio Management), совместная работа и электронный документооборот (Collaboration).

Основным достоинством продукта является наличие мощного инструментария визуализации, с помощью которого могут быть разработаны аналитические функции системы без применения программирования.

В качестве недостатка системы можно отметить отсутствие контроля целостности проекта в случаях использования межпроектных связей.

Программный комплекс Project Kaiser

Программный комплекс Project Kaiser [9] – веб-ориентированная система управления проектами производства российской компании ООО «Тринифорс». Работа с программой осуществляется с помощью браузера с любого компьютера. Дает возможность разработки календарного плана, контроль выполнения проекта, обмен информацией между сотрудниками.

Недостатком системы является ее ориентация на организацию эффективной коммуникации между исполнителями проекта в ущерб остальным задачам управления проектами. Наличие пробелов в реализации бизнес-логики программного комплекса снижает оперативность процессов управления проектом.

Положительным моментом при работе с данным продуктом является отсутствие громоздкого пользовательского интерфейса, характерного для многих систем такого класса.

Программный комплекс Wrike

Программный комплекс Wrike [10] – это проприетарная система компании Wrike (США) для управления проектами и совместной работы. Сервис представляет собой онлайн-среду для рабочего взаимодействия как в локальной, так и распределенной команде. Возможности Wrike включают планирование и управление бизнес-процессами, обмен информацией между сотрудниками, анализ данных и формирование отчетов, устанавливать приоритет задачам, а также отслеживать график их выполнения.

К основным достоинствам системы можно отнести: возможность мониторинга и анализа деятельности каждого исполнителя проекта; простой и понятный пользовательский интерфейс; кроссплатформенная архитектура.

Наиболее явным недостатком продукта является отсутствие инструментов учета и анализа финансовой деятельности проекта.

Программный комплекс Open Plan

Open Plan [11] разработан компанией Welcom Corp (США). Дает возможность разработки календарного плана проекта, управления ресурсами внутри и между отдельными проектами. В Open Plan могут быть использованы трудовые, материальные ресурсы или прямые затраты, связанные с работами проекта. При этом прямые затраты могут вводиться в различных валютах с учетом инфляции.

В системе есть возможность провести расчет средних отклонений для ранних, поздних дат, резервов времени; ввода вероятностных характеристик выполнения отдельных работ; рассчитать оптимистические, пессимистические и ожидаемые длительности работ.

Достоинствами программы являются: интеграция неограниченного числа независимых проектов в один мультипроект, а также наличие встроенных механизмов защиты информации.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость программного продукта и сложность его освоения.

Программный комплекс Oracle Primavera

Программные продукты Primavera [12] компании Primavera Systems, Inc (США) позволяют вести учет и управление всеми массивами данных по проектам и финансовым возможностям организации. Программное обеспечение ориентировано на руководителей проектов, осуществляющих свою деятельность в различных отраслях промышленности. Комплекс дает возможность разработки календарного плана проекта, управление ресурсами, провести оценку существующих рисков, прогнозирование и анализ рыночных трендов; анализ групп проектов и распределение бюджета между ними.

К основным недостаткам программного решения можно отнести относительно высокую стоимость продукта и его технической поддержки, а также узкую ориентацию на применение в машиностроении и строительстве.

Наличие мощной аналитической подсистемы, которая обеспечивает возможность глубокого анализа производительности портфеля проектов, является несомненным преимуществом данного программного продукта.

Программный комплекс Microsoft Project2016

Microsoft Project [13, 15] производства фирмы Microsoft Corp (США) позволяет управлять проектом на различных этапах его реализации. Пакет дает возможность выполнить структуризацию проекта путем разделения его на этапы, задачи и подзадачи, выявить задачи критического пути, получить график реализации проекта, осуществить назначение ресурсов задачам проекта, эффективно контролировать загрузку ресурсов, также позволяет провести оценку состояния проекта и провести распределение ресурсов между подпроектами.

В качестве преимуществ системы можно отнести глубокую интеграцию с офисными приложениями компании Microsoft, а также наличие широкого инструментария для конфигурирования системы под решаемые задачи.

Несмотря на представленные достоинства продукта, в ходе работы пользователь может столкнуться с проблемами при поддержке отраслевых проектов с динамичной структурой задач и высоким уровнем многофакторности.

Программный комплекс RiskyProject

Программный комплекс RiskyProject [14] разработан в Intaver Institute Inc (США, Канада) и предназначен для управления рисками проектов. Дает возможность разработать календарное планирование проекта, провести количественный анализ риска на основе метода Монте-Карло, измерение степени исполнения проекта. RiskyProject позволяет определить наиболее важные риски и важнейшие задачи, вероятность успеха проекта.

Достоинство рассматриваемой системы заключается в наличии богатого набора инструментов для анализа разнообразных рисков. Из указанного преимущества вытекает и главный недостаток – скудность функционала для решения других типовых задач проектного менеджмента.

На рынке программного обеспечения представлен большой спектр продуктов (как отечественных, так и зарубежных), позиционирующих себя как полноценная система управления проектами. Несмотря на это, стоит отметить,

что лишь незначительная часть из них позволяет в полной мере выполнять все основные задачи проектного менеджмента. Подавляющее большинство программных продуктов нацелены на реализацию отдельных аспектов управления проектами.

Требования к системе управления проектами в сфере региональной безопасности

По мнению авторов, реализация разнообразных проектов, в частности, осуществляющихся в моногородах АЗ РФ, является, неотъемлемой частью управления региональной безопасностью. Для организации информационной поддержки обеспечения региональной безопасности необходимо использовать соответствующие информационные средства и технологии управления проектами. Учитывая специфику поставленной задачи, такой класс программного обеспечения должен удовлетворять следующим требованиям:

- наличие функций по управлению разнообразными параметрами проекта на всех фазах жизненного цикла проекта;
- возможность оперировать программами проектов – совокупностью проектов, сгруппированных по определенным критериям;
- выявление противоречий и конфликтов между проектами;
- наличие системы разграничения прав доступа и механизмов защиты информации;
- возможность гибкой настройки пользовательского интерфейса, в особенности, представления результатов анализа реализации проектов;
- наличие инструментов выявления потенциальных угроз и управления рисками;
- возможность организации распределенной работы и наличие средств электронной коммуникации между участниками;
- интеграция с различными офисными приложениями.

Среди рассмотренных в статье систем управления проектами лишь малая часть удовлетворяет большинству заявленных требований. По мнению авторов, к таким системам можно отнести: Spider Project, Open Plan, Microsoft Project.

Заключение

В настоящее время, несмотря на сложившуюся традиционную экономическую инфраструктуру моногородов, актуальной задачей является развитие их инновационного потенциала. Одним из эффективных решений в данном вопросе может стать разработка и внедрение средств управления на основе современных информационных технологий. Авторы предлагают использовать для этих целей существующие подходы, в частности, проектный менеджмент и имитационное моделирование.

На сегодняшний день задачи управления проектами решаются на уровне отдельных предприятий, что не позволяет провести анализ всей проектной деятельности в масштабах целого региона. Этот факт говорит о том, что невозможно оценить общее влияние всех реализуемых проектов на состояние региональной безопасности.

По мнению авторов, одним из возможных решений данной проблемы является разработка системы информационной поддержки обеспечения региональной безопасности, в состав которой будет входить адаптированная версия программной системы управления проектами, удовлетворяющая сформулированным в статье требованиям.

Литература

1. Аналитический доклад «Моногорода Арктической зоны РФ: проблемы и возможности развития» - М.: ИППИ, 2016. – 46 с.
2. Общая теория национальной безопасности: учебник / под общ. ред. А.А. Прохожева. - 2-е изд. – М.: Изд-во РАГС, 2005. – 344 с.
3. Программный комплекс Project Expert. – Режим доступа: <https://www.expert-systems.com/financial>.
4. Программный комплекс "Бизнес-аналитик". – Режим доступа: <http://inec.ru/it/automated-analysis/ba/>.
5. Программный комплекс Альт-Инвест. – Режим доступа: <http://www.alt-invest.ru/index.php/ru/programmy/opisaniya/alt-invest>.
6. Программный комплекс Spider Project – Режим доступа: <http://www.spiderproject.com/ru/index.php/sp-prof>.
7. Программный комплекс ELMA Проекты+. – Режим доступа: <https://www.elma-bpm.ru/product/projects/>.
8. Программный комплекс Адванта. – Режим доступа: <https://wiki.a2nta.ru/pages/viewpage.action?pageId=688130>.
9. Программный комплекс Project Kaiser. – Режим доступа: <https://www.projectkaiser.com/ru/>.
10. Программный комплекс Wrike. – Режим доступа: <https://www.wrike.com/ru/>.
11. Программный комплекс Open Plan. – Режим доступа: https://pmi.ru/infosystem/open_plan.php.
12. Программный комплекс Oracle Primavera. – Режим доступа: <https://gantbpm.ru/oracle-primavera-programma/>.
13. Программный комплекс Microsoft Project. – Режим доступа: <https://products.office.com/ru-RU/project?tab=tabs-1>.
14. Программный комплекс RiskyProject. – Режим доступа: <http://intaver.com/products/> (дата обращения - 10.11.2017).
15. Культин, Н.Б. Инструменты управления проектами: Project Expert и Microsoft® Project / Н.Б. Культин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2009. - 160 с.

Сведения об авторах

Халиуллина Дарья Николаевна – к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: khaliullina@iimm.ru

Darya N. Khaliullina - PhD (Tech. Sci.), researcher

Малыгина Светлана Николаевна – к.т.н., научный сотрудник,

e-mail: malygina@iimm.ru

Svetlana N. Malygina – PhD (Tech. Sci.), researcher

Быстров Виталий Викторович – к.т.н., старший научный сотрудник,

e-mail: bystrov@iimm.ru

Vitaliy V. Bystrov – PhD (Tech. Sci.), senior researcher

УДК 004.832

А.А. Зуенко

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОГРАНИЧЕНИЯХ*

Аннотация

В работе предлагается подход, позволяющий моделировать физические системы в рамках парадигмы программирования в ограничениях с использованием специализированных матрицеподобных структур (С-систем). Описывается оригинальный авторский метод распространения ограничений, реализующий вывод на С-системах. Подобное представление позволяет одну и ту же модель использовать для получения ответов на различные вопросы прогностического, диагностического и управленческого типов, причем сам механизм вывода остается без изменений.

Ключевые слова:

программирование в ограничениях, физическая система, качественная модель, распространение ограничений, матричное представление ограничений.

A.A. Zuenko

MODELLING OF PHYSICAL SYSTEMS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE PARADIGM OF CONSTRAINT PROGRAMMING

Abstract

In this paper, we propose an approach that allows modeling physical systems within the framework of constraint programming paradigm, using specialized matrix-like structures (C-systems). An original author's method of constraint propagation, realizing inference on C-systems, is described. Such a representation allows one and the same model to be used to obtain answers to various questions of prognostic, diagnostic and management types, and the mechanism of inference remains unchanged.

Keywords:

constraint programming, physical system, qualitative model, constraint propagation, matrix-like representation of constraints.

Введение

В работе предлагается подход, позволяющий моделировать физические системы в рамках парадигмы программирования в ограничениях с использованием специализированных матрицеподобных структур (С-систем). Подобное представление позволяет одну и ту же модель использовать для получения ответов на различные вопросы прогностического, диагностического и управленческого типов, причем сам механизм вывода остается без изменений.

Другими словами, перечисленные выше задачи предлагается решать в виде задач удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem – CSP) [1 - 3]. В отличие от предыдущих работ цикла в настоящей статье для

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00562-а, 16-07-00377-а, 16-07-00313-а, 16-07-00273-а, 15-07-02757-а).

формализации ограничений используются не D -системы (матрицы дизъюнктов), а C -системы (матрицы конъюнктов), а также разработан оригинальный метод распространения ограничений для этого случая.

Задача удовлетворения ограничений (CSP) – это тройка (V, D, C) , где (1) $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – множество переменных;

(2) $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ – множество доменов; каждый домен D_i – конечное множество, содержащее возможные значения, соответствующей переменной;

(3) $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ – множество ограничений.

Ограничение C – отношение, определённое на подмножестве значений всех переменных, т.е. $C_i \subseteq D_1 \times \dots \times D_n$.

Заданная (частичная или полная) подстановка значений переменных удовлетворяет ограничению C_i , если каждая переменная получила такое значение, что соответствующий кортеж значений принадлежит C_i . Множество всевозможных подстановок для всех переменных является пространством, содержащим решение CSP-задачи.

Решением CSP-задачи является такая подстановка для всех переменных, при которой все ограничения удовлетворены. Если для некоторой задачи имеется, по крайней мере, одно решение, то задача является *разрешимой*, иначе – *неразрешимой* (противоречивой, переограниченной).

По сути, в виде задачи CSP предлагается представлять качественные абстракции физических законов, например, закон Кирхгоффа, закон Ома. Для использования качественных моделей требуются определенные методы проведения качественных рассуждений, изложению которых и посвящена настоящая статья. Сам характер вывода в рамках парадигмы программирования в ограничениях заключается в упрощении задачи CSP, то есть в приведении ее к задаче, содержащей меньшее количество ограничений, меньшее количество значений в доменах переменных и т.п.

С помощью C -систем удобно моделировать дизъюнктивные нормальные формы (ДНФ) конечных предикатов. Продемонстрируем это на примере:

$$\varphi(x, y, z) = (x = a, b) \wedge (y = a, c) \vee (z = d).$$

Для простоты все переменные определены на одном и том же множестве $\{a, b, c, d\}$. Здесь и далее будем использовать запись вида $(x = a, b)$ для обозначения выражения $(x = a) \vee (x = b)$. Учитывая, что область истинности одноместного предиката $(x = a, b)$ есть $\{a, b\}$, то область истинности предиката $\varphi(x, y, z)$ может быть представлена в виде следующей C -системы:

$$R [XYZ] = \begin{bmatrix} \{a, b\} & \{a, c\} & * \\ * & * & \{d\} \end{bmatrix}.$$

Атрибуты X, Y, Z C -системы $R [XYZ]$ соответствуют переменным x, y, z формулы $\varphi(x, y, z)$. Заметим, что “*” – сокращенное обозначение всего диапазона возможных значений (домена) атрибута.

В том случае, если CSP представлена в виде совокупности C -систем, целью преобразований является приведение системы ограничений к более простому виду, где содержится меньшее количество C -систем, строк C -систем, столбцов (атрибутов) C -систем, значений в доменах атрибутов и т. п [4 - 9].

Перечислим утверждения, позволяющие реализовывать подобный вывод для случая, когда ограничения представлены в виде набора C -систем.

Утверждение 1 (У1). Если все строки (кортежи) C -системы пусты, то есть содержат хотя бы по одной пустой компоненте каждая, то C -система пуста (соответствующая задача CSP несовместна).

Утверждение 2 (У2). Если все компоненты некоторого атрибута (столбца C -системы) являются полными, то данный атрибут можно удалить из C -системы (удаляются все компоненты, стоящие в соответствующем столбце), а пара “удаляемый атрибут – его домен” сохраняется в векторе частичного решения.

Утверждение 3 (У3). Если домен некоторого атрибута C -системы содержит значения, не встречающиеся в соответствующем столбце, то эти значения удаляются из данного домена.

Утверждение 4 (У4). Если строка C -системы содержит хотя бы одну пустую компоненту (строка пуста), то строка удаляется.

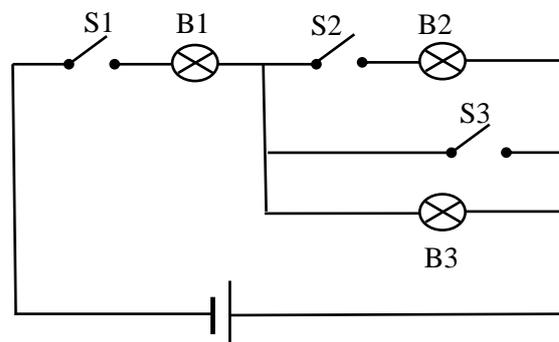
Утверждение 5 (У5). Если компонента некоторого атрибута содержит значение, не принадлежащее соответствующему домену, то это значение удаляется из компоненты.

Утверждение 6 (У6). Если одна строка C -системы полностью доминирует (покомпонентно содержит) другую строку, то доминирующая строка удаляется из C -системы.

Представление качественных абстракций физических законов в виде совокупности C -систем

Рассмотрим простую электрическую схему, состоящую из выключателей, ламп и источников питания (рис.), описанную в [10]. В настоящей работе строится качественная модель электрической схемы в терминах матриц ограничений (в виде набора C -систем), а возникающие задачи моделирования предлагается рассматривать как задачи удовлетворения ограничений. Данная предметная область не относится к слабо формализованным, для нее сформулированы количественные законы, например, закон Ома. Однако, при решении ряда задач либо точные числовые данные не требуются, либо измерение всех необходимых числовых параметров осложнено. В этих случаях, даже если известна строгая аналитическая модель исследуемого объекта, предпочтение отдается качественным моделям.

Компоненты исследуемой электрической схемы делятся на два типа: выключатели и лампы. Выключатели могут быть разомкнутыми или замкнутыми, а лампы могут быть светящимися или темными, сгоревшими или исправными.



Пример электрической схемы

Создание модели схемы сводится к заданию следующих ограничений:

1. Законы функционирования лампы.
2. Законы функционирования выключателя.
3. Закон Кирхгофа (в качественной формулировке): напряжение на выключателе + напряжение на лампе = напряжение источника питания.

Также неявно посредством общих переменных учитываются физические соединения между компонентами. В рассматриваемой модели электрические токи и напряжения имеют лишь качественные значения "pos" (положительный), "zero" (нулевой) и "neg" (отрицательный).

Качественное поведение компонентов описывается с помощью типовых отношений. Для выключателя – это *C*-система *SWITCH* [*SP*, *V*, *C*]:

$$\begin{array}{ccc}
 SP & V & C \\
 \{on, off\} & \{neg, zero, pos\} & \{neg, zero, pos\} \\
 1 \left[\begin{array}{ccc} \{on\} & \{zero\} & * \\ \{off\} & * & \{zero\} \end{array} \right] & & .
 \end{array}$$

Атрибуты *SP*, *V*, *C* – это положение выключателя, напряжение и ток, соответственно. Здесь и далее в верхних двух строках *C*-систем записываются имена атрибутов (переменных) и множества допустимых значений этих атрибутов (домены атрибутов).

Например, из строки 2 следует, что на разомкнутом (*off*) выключателе ток является нулевым (*zero*), а напряжение может иметь любое значение.

Закон функционирования лампы может быть выражен в виде отношения *BULB* [*B*, *L*, *V*, *C*]:

$$\begin{array}{cccc}
 B & L & V & C \\
 \{ok, blown\} & \{dark, light\} & \{neg, zero, pos\} & \{neg, zero, pos\} \\
 1 \left[\begin{array}{cccc} \{blown\} & \{dark\} & * & \{zero\} \\ \{ok\} & \{light\} & \{pos\} & \{pos\} \\ \{ok\} & \{light\} & \{neg\} & \{neg\} \\ * & \{dark\} & \{zero\} & \{zero\} \end{array} \right] & & .
 \end{array}$$

Атрибуты *B*, *L*, *V*, *C* – это признак исправности лампы, наличие/отсутствие свечения, напряжение на лампе и ток, соответственно.

Согласно строке 1, сгоревшая (*blown*) лампа остается темной (*dark*), через нее не проходит ток, а напряжение может иметь любое значение. Исправная (*ok*) лампа светится постоянно, за исключением того случая, когда и напряжение, и ток в лампе равны нулю. Предполагается, что любой ненулевой ток является достаточно большим для того, чтобы заставить лампу светиться.

Напряжение и ток могут одновременно либо равняться нулю, либо быть положительными, либо быть отрицательными. По сути, это качественная абстракция закона Ома, который формулируется следующим образом:

$$\text{Напряжение} = \text{Сопротивление} * \text{Сила тока.}$$

Поскольку сопротивление лампы является положительным, то напряжение (V) и ток (C) должны иметь одинаковый знак и поэтому одно и тоже качественное значение.

В числовых моделях электрических схем, помимо закона Ома, используются некоторые фундаментальные законы, такие как законы Кирхгофа. Законы Кирхгофа гласят: во-первых, сумма всех напряжений вдоль любого замкнутого контура в схеме равна 0, во-вторых, сумма всех токов в любом соединении в схеме равна 0. Чтобы применить эти законы в качественной модели, необходимо предусмотреть качественную версию операции арифметического суммирования. В настоящей работе вместо обычного арифметического суммирования $X + V = Z$ применяется сокращенный вариант в виде операции качественного суммирования, которая реализована в форме следующего отношения $QSUM [X, Y, Z]$:

X	Y	Z
$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{zero\}$	$\{zero\}$	$\{zero\}$
2 $\{pos\}$	*	$\{pos\}$
3 $\{pos\}$	$\{neg\}$	*
4 *	$\{pos\}$	$\{pos\}$
5 *	$\{neg\}$	$\{neg\}$
6 $\{neg\}$	$\{pos\}$	*
7 $\{neg\}$	*	$\{neg\}$

Данное отношение (как и два других, описанных выше) можно рассматривать как типовое отношение, на основе которого в процессе подстановки вместо X, Y, Z конкретных атрибутов получается конкретное отношение.

Строки этой матрицы представляют собой некоторые факты. Например, в строке 3 утверждается, что сумма положительной и отрицательной величин может представлять собой любое значение из множества $\{neg, zero, pos\}$. Такая операция суммирования является недетерминированной (неопределенной), что типично для качественных рассуждений.

Конкретная схема задается в виде совокупности отношений, записанных в виде C -систем. Например, для электрической схемы, приведенной на рис. нужно рассмотреть следующие отношения:

№ 1. Выключатель “S1” – $SWITCH [Sw1, VSw1, C1]$:

$Sw1$	$VSw1$	$C1$
$\{on, off\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{on\}$	$\{zero\}$	*
2 $\{off\}$	*	$\{zero\}$

№ 2. Лампа “B1” – *BULB* [B1, L1, VB1, C1]:

	B1	L1	VB1	C1
	<i>{ok,blown}</i>	<i>{dark,light}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>
1	<i>{blown}</i>	<i>{dark}</i>	*	<i>{zero}</i>
2	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
3	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
4	*	<i>{dark}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>

№ 3. Выключатель “S2” – *SWITCH* [Sw2, VSw2, C2]:

	Sw2	VSw2	C2
	<i>{on,off}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>
1	<i>{on}</i>	<i>{zero}</i>	*
2	<i>{off}</i>	*	<i>{zero}</i>

№ 4. Лампа “B2” – *BULB* [B2, L2, VB2, C2]:

	B2	L2	VB2	C2
	<i>{ok,blown}</i>	<i>{dark,light}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>
1	<i>{blown}</i>	<i>{dark}</i>	*	<i>{zero}</i>
2	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
3	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
4	*	<i>{dark}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>

№ 5. Выключатель “S3” – *SWITCH* [Sw3, V3, CSw3]:

	Sw3	V3	CSw3
	<i>{on,off}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>
1	<i>{on}</i>	<i>{zero}</i>	*
2	<i>{off}</i>	*	<i>{zero}</i>

№ 6. Лампа “B3” – *BULB* [B3, L3, V3, CB3]:

	B3	L3	V3	CB3
	<i>{ok,blown}</i>	<i>{dark,light}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>	<i>{neg,zero,pos}</i>
1	<i>{blown}</i>	<i>{dark}</i>	*	<i>{zero}</i>
2	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
3	<i>{ok}</i>	<i>{light}</i>	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
4	*	<i>{dark}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>

№ 7. Закон “Напряжения на выключателе *S1* и лампе *B1* складываются”:

	<i>V_{Sw1}</i>	<i>V_{B1}</i>	<i>V₁</i>
	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>
1	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>
2	<i>{pos}</i>	*	<i>{pos}</i>
3	<i>{pos}</i>	<i>{neg}</i>	*
4	*	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
5	*	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
6	<i>{neg}</i>	<i>{pos}</i>	*
7	<i>{neg}</i>	*	<i>{neg}</i>

№ 8. Закон “Напряжения на выключателе *S2* и лампе *B2* складываются”:

	<i>V_{Sw2}</i>	<i>V_{B2}</i>	<i>V₃</i>
	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>
1	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>
2	<i>{pos}</i>	*	<i>{pos}</i>
3	<i>{pos}</i>	<i>{neg}</i>	*
4	*	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
5	*	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
6	<i>{neg}</i>	<i>{pos}</i>	*
7	<i>{neg}</i>	*	<i>{neg}</i>

№ 9. Закон “Напряжение в сети положительно”:

	<i>V₁</i>	<i>V₃</i>
	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>
1	<i>{pos}</i>	*
2	<i>{zero, neg}</i>	<i>{pos}</i>

№ 10. Закон “Токи на выключателе *S3* и лампе *B3* суммируются”:

	<i>C_{Sw3}</i>	<i>C_{B3}</i>	<i>C₃</i>
	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>
1	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>
2	<i>{pos}</i>	*	<i>{pos}</i>
3	<i>{pos}</i>	<i>{neg}</i>	*
4	*	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
5	*	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
6	<i>{neg}</i>	<i>{pos}</i>	*
7	<i>{neg}</i>	*	<i>{neg}</i>

№ 11. Закон 5 “Сила тока всей электрической цепи”:

	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C1</i>
	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>	<i>{neg, zero, pos}</i>
1	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>	<i>{zero}</i>
2	<i>{pos}</i>	*	<i>{pos}</i>
3	<i>{pos}</i>	<i>{neg}</i>	*
4	*	<i>{pos}</i>	<i>{pos}</i>
5	*	<i>{neg}</i>	<i>{neg}</i>
6	<i>{neg}</i>	<i>{pos}</i>	*
7	<i>{neg}</i>	*	<i>{neg}</i>

Процесс моделирования электрической схемы завершен.

Задачи, решаемые на качественной модели

Теперь рассмотрим примеры задач, которые в работе предлагается ставить и решать в форме задач удовлетворения ограничений:

1. *Вопросы прогностического типа.* Какими будут наблюдаемые результаты некоторого "входного воздействия" на систему (изменения положений выключателей), если дано некоторое функциональное состояние системы (лампы – исправные или сгоревшие). Например, что произойдет, если будут включены (*on*) все выключатели, притом, что все лампы исправны (*ok*)?

2. *Вопросы диагностического типа.* Если известны входные воздействия на систему и некоторые результаты наблюдений, то каково состояние функционирования системы (исправна она или неисправна, и в чем состоит неисправность?). Например, если лампа 1 светится, лампа 3 остается темной, а выключатель 3 выключен, то каковы состояния ламп?

3. *Вопросы управленческого типа.* Каким должно быть управляющее воздействие, позволяющее достичь желаемого результата?

Например, какими должны быть положения выключателей, чтобы заставить светиться лампу 3, при условии, что все лампы исправны?

Продемонстрируем поиск ответа на вопрос прогностического типа, который приводился ранее. Из условия задачи известно: *Sw1 – {on}*, *Sw2 – {on}*, *Sw3 – {on}*, *B1 – {ok}*, *B2 – {ok}*, *B3 – {ok}* (информация представлена в формате: “переменная – область ее определения”). Требуется определить значения для *L1*, *L2*, *L3*.

Процесс получения решения отображен в табл. Рассмотрим строку 1, которая соответствует первому шагу. В список на обработку поступают *C*-системы (ограничения) с номерами 1 - 6, которые имеют в своих схемах атрибуты, чьи значения заданы в условии. В качестве текущего, то есть рассматриваемого на данном шаге, берется ограничение 1:

	Sw1	VSw1	C1
	{on}	{neg, zero, pos}	{neg, zero, pos}
1	{on}	{zero}	*
2	{off}	*	{zero}

Домен атрибута Sw1 конкретизирован с учетом условий задачи. К данной C-системе применяется сначала утверждение Y5' и в строке 2 появляется пустая компонента, соответствующая атрибуту Sw1. Затем, используя Y4', элиминируем вторую строку:

	Sw1	VSw1	C1
	{on}	{neg, zero, pos}	{neg, zero, pos}
1	*	{zero}	*

Теперь, согласно, Y3' конкретизируем домен атрибута VSw1: VSw1 – {zero}. Затем строка 1 удаляется из C-системы, так как по Y2' элиминируются все ее атрибуты. Поскольку рассматриваемое ограничение 1 не содержит больше строк, то исключаем его из списка ограничений и добавляем ограничение 7, содержащее конкретизированный атрибут VSw1 (табл., строка 2.) На данном шаге имеем следующее *частичное решение* задачи CSP:

Sw1 – {on}, Sw2 – {on}, Sw3 – {on}, B1 – {ok}, B2 – {ok}, B3 – {ok},
VSw1 – {zero}.

В последнем столбце таблицы, жирным цветом показаны атрибуты, чьи значения удалось конкретизировать на текущем шаге, а без выделения приводятся атрибуты, значения которых были уже известны до выполнения шага.

Остальные шаги выполняются по аналогии. На каждом шаге происходит усечение доменов одних атрибутов на основе известных доменов других атрибутов. Процесс распространения ограничений оканчивается вычеркиванием всех C-систем без образования пустых C-систем, что является признаком получения окончательного решения рассматриваемой задачи CSP.

Ответ: L1 – {light}, L2 – {dark}, L3 – {dark}. Другими словами, если будут включены (on) все выключатели, при том, что все лампы исправны (ok), то светиться будет только первая лампа.

Заметим, что решение данной конкретной задачи CSP получено только на основе авторских методов распространения ограничений без организации ветвления и привлечения стратегий возврата из тупиковых вершин. Решение представлено в виде списка пар: “атрибут – усеченный домен атрибута”. В полученном решении все домены представляют собой одноэлементные множества, но, в общем случае, мощность множеств может быть больше единицы.

Распространение ограничений

Шаг	Текущее ограничение	Список ограничений	Домены
1	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	$Sw1 - \{on\}$, $VSw1 - \{zero\}$
2	3	2, 3, 4, 5, 6, 7	$Sw2 - \{on\}$, $VSw2 - \{zero\}$
3	5	2, 4, 5, 6, 7, 8	$Sw3 - \{on\}$, $V3 - \{zero\}$
4	9	2, 4, 6, 7, 8, 9	$V1 - \{pos\}$, $V3 - \{zero\}$
5	6	2, 4, 6, 7, 8	$B3 - \{ok\}$, $L3 - \{dark\}$, $V3 - \{zero\}$, $CB3 - \{zero\}$
6	7	2, 4, 7, 8, 10	$VSw1 - \{zero\}$, $VB1 - \{pos\}$, $V1 - \{pos\}$
7	2	2, 4, 8, 10	$B1 - \{ok\}$, $L1 - \{light\}$, $VB1 - \{pos\}$, $C1 - \{pos\}$
8	8	4, 8, 10, 11	$VSw2 - \{zero\}$, $VB2 - \{zero\}$, $V3 - \{zero\}$
9	4	4, 10, 11	$B2 - \{ok\}$, $L2 - \{dark\}$, $VB2 - \{zero\}$, $C2 - \{zero\}$
10	11	10, 11	$C2 - \{zero\}$, $C3 - \{pos\}$, $C1 - \{pos\}$
11	10	10	$Csw3 - \{pos\}$, $CB3 - \{zero\}$, $C3 - \{pos\}$

Заключение

В работе предложен оригинальный подход к организации вывода на качественных моделях физических систем, позволяющий унифицировано ставить и решать различные задачи поиска значений неизвестных параметров по известным значениям других параметров. Параметры качественной модели физической системы можно разделить на следующие виды: входные воздействия на систему, управляющие воздействия, состояние функционирования системы.

Дальнейший фокус исследований планируется сосредоточить на разработке специализированных эвристик для определения порядка рассмотрения *C*-систем в ходе вывода.

Литература

1. Russel, S., & Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Pearson Education. -2010. -1152 p.
2. Rossi, F., van Beek, P. & Walsh, T. Constraint Programming. In F. van Harmelen, V. Lifschitz, B. Porter (Eds.), Foundations of Artificial Intelligence. Handbook of Knowledge Representation. -2008, vol.3. - P.181-211.
3. Ruttkay, Zs. Constraint satisfaction a survey, CWI Quarterly. -1998, vol.11. - P.163-214.

4. Зуенко, А.А. Матрицеподобные вычисления при обработке недоопределенных знаний в продукционных системах (на примере задачи выбора технологии обогащения минерального сырья) / А.А. Зуенко, О.В. Фридман // Труды ИСА РАН. – Т. 65, 2015. – С.44-56.
5. Зуенко, А.А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов / А.А. Зуенко // Искусственный интеллект и принятие решений, 2014. - № 3. – С.21-31.
6. Зуенко, А.А. Эвристический метод удовлетворения ограничений на основе их матричного представления / А.А. Зуенко, А.А. Очинская / Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015): материалы IV Международной научн.-техн. конф., г. Минск, 19-21 февраля 2015 г. – Минск: БГУИР, 2015. – С.297-301.
7. Зуенко, А.А. Совместное применение алгоритмов фильтрации и распространения ограничений на основе матриц ограничений / А.А. Зуенко // Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2015): труды Шестой Международной конф., Калининградская обл., г. Светлогорск, 15-20 июня 2015 г. - в 2-х т. – Т.1. -М.: ИСА РАН, 2015. – С.56-66.
8. Зуенко, А.А. Качественное моделирование технических систем на основе методов распространения ограничений / А.А. Зуенко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI Международной научно-техн. конф., г. Минск, 18 - 20 февраля 2016 г. – Минск: БГУИР, 2016. – С.573-578.
9. Зуенко, А.А. Применение методов распространения ограничений в слабо формализованных предметных областях / А.А. Зуенко // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ- 2016: труды конференции, г. Смоленск, 3 - 7 октября 2016 г. – Смоленск: Универсум, 2016. -Т3. -С.22-30.
10. Братко, И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG. / И. Братко // пер. с англ. -3-е изд. –М.:Изд. дом «Вильямс», 2004. - 640 с.

Сведения об авторе

Зуенко Александр Анатольевич - к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: zuenko@iimm.ru
Alexander A. Zouenko - PhD. (Tech. Sci.), senior researcher

УДК 004.5

В.В. Диковицкий

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕКСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА МОРФОЛОГИИ И СИНТАКСИСА*

Аннотация

В статье представлен сервис семантического анализа текста на естественном языке с учетом морфологии и синтаксиса, реализующий автоматическое формирование семантической модели предметной области на основе коллекции документов. Применение подхода к анализу синтаксиса и морфологии без предзаданных словарей позволяет автоматизировать процесс обработки анализатором новых слов, например, неологизмов.

Ключевые слова:

семантический анализ, нейросетевой анализ морфологии и синтаксиса.

V.V. Dikovitskiy

IMPROVING QUALITY OF VISUALIZATION BY CHANGING THE CONVERGENCE ANGLE

Abstract

The article presents the service of semantic analysis of text in natural language, taking into account morphology and syntax, realizing the automatic formation of a semantic model of the domain based on a collection of documents. Application of the approach to the analysis of syntax and morphology without pre-specified dictionaries allows to automate the process of processing new words, for example, neologisms.

Keywords:

semantic analysis, morphology and syntax analysis by neural network.

Введение

Современные информационные системы (ИС) отличаются большим объемом хранимой информации. По оценкам экспертов, совокупный объем данных, хранимый в сети Интернет, удваивается каждые два года. Рост объемов информации ИС, расширение их функциональных возможностей привели к широкому распространению крупных информационных систем, ориентированных на различные категории пользователей [1]. Развитие ИС требует создания эффективных методов обработки и представления информации. Совершенствуются методы и средства обработки текстов на естественном языке, системы автоматизированного анализа и поиска информации, на смену статистическим алгоритмам приходят алгоритмы семантического индексирования.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям), конкурс Умник 15-10, договор 8042ГУ/2015.

Семантический анализ понимается разными исследователями по-разному. В сферу семантического анализа входит: построение семантической интерпретации слов и конструкций; установление "содержательных" семантических отношений между элементами текста, которые уже принципиально не ограничены размером одного слова (могут быть больше или меньше одного слова). Результирующее представление, в котором решены эти две задачи, является наиболее глубоким и законченным из тех, которые можно достичь только лингвистическими средствами, не прибегая к внешним экстенциональным источникам, и этим объясняется актуальность семантического анализа [2].

Разработки в области семантического анализа текста связаны с областью искусственного интеллекта, делающей акцент на смысловом понимании текста. Несмотря на значимость данного направления, существует множество нерешенных проблем в области семантического анализа. В настоящее время успехи в этом направлении достаточно ограничены. Разработанные семантические анализаторы обладают высокой вычислительной сложностью и неоднозначностью выдаваемых результатов [3].

В данной работе представлен сервис семантического анализа текста на естественном языке, реализующий автоматическое формирование семантической модели предметной области на основе коллекции документов. Областью применения семантического анализа являются задачи информационного поиска, автоматического перевода, контент-анализа, поиска противоречий, реферирования, анализа интересов пользователя ИС, авторства текстов, и т.д.

Сервис семантического анализа текста

Анализ текста включает несколько этапов: графематический, морфологический, синтаксический и семантический анализ. Результаты работы каждого уровня используются следующим уровнем анализа в качестве входных данных (рис. 1).

Графематический анализ выделяет элементы структуры текста: параграфов, абзацев, предложений, отдельных слов и т.д. Целью морфологического анализа является определение морфологических характеристик слова и его основной словоформы. Целью синтаксического анализа является определение синтаксической зависимости слов в предложении. В связи с присутствием в русском языке большого количества синтаксически омонимичных конструкций, наличием тесной связи между семантикой и синтаксисом, процедура автоматизированного синтаксического анализа текста является трудоемкой. Сложность алгоритма увеличивается экспоненциально при увеличении количества слов в предложении и числа используемых правил. Семантический этап использует формальное представление смысла составляющих входной текст слов и конструкций.

Одной из актуальных проблем существующих систем автоматического получения формализованных знаний является определение ассоциированных объектов из текста. На учет и хранение контекстов предметной области, учет различных форм передачи синтаксиса, а также на решение проблемы равнозначности направлено формирование семантической модели предметной области (СМПО) в виде структуры взвешенных семантических отношений на основе коллекции документов. СМПО позволяет реализовать процедуры извле-

чения и хранения множественного контекста употребленных в документах понятий, решая проблему совместимости новой информации с уже накопленными знаниями, а также выявить противоречия в семантических образах документов, в случае, если новая информация противоречит накопленной.

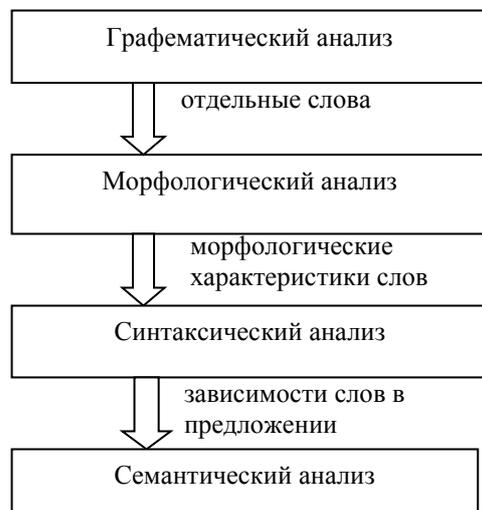


Рис. 1. Уровни лингвистического анализа

Для синтаксического анализа и определения морфологических характеристик слов применяются грамматический словарь русского языка А.А. Зализняка [4], русскоязычный тезаурус WordNet 3.0 [5] и основанная на TensorFlow [6] библиотека определения синтаксических связей, использующая для функционирования нейронную сеть SyntaxNet. Особенностью такого подхода является возможность производить анализ морфологии и синтаксиса без словарей. TensorFlow представляет собой библиотеку для машинного обучения и глубокого исследования нейронных сетей в рамках научно-исследовательской организации Machine Intelligence. Система масштабируема может быть использована на множестве устройств. Основу библиотеки составляют графы потоков данных, библиотека функционирует на уровне задания архитектуры нейронной сети и ее параметров. Данные в TensorFlow представлены в виде многомерных массивов данных с переменным размером – тензоров. Вычисления представляются в виде направленного графа, пути, по которым эти данные перемещаются – это ребра графа. Тензоры переходят от узла к узлу по ребрам графа [7]. Множество морфологических признаков, определяемых SyntaxNet (374), грамматических категорий (49), и типов зависимостей (37) заданы в нотации Universal Dependencies [8]. Пример синтаксического разбора предложения приведен на рис. 2.

Нейросетевой подход к определению лексической роли и морфологических атрибутов слов позволяет решить проблему наличия в тексте слов, отсутствующих в словарях и в СМПО, например, неологизмов. Для построения семантической модели предметной области проводится графематический, морфологический, синтаксический и статистический анализ документов коллекции.

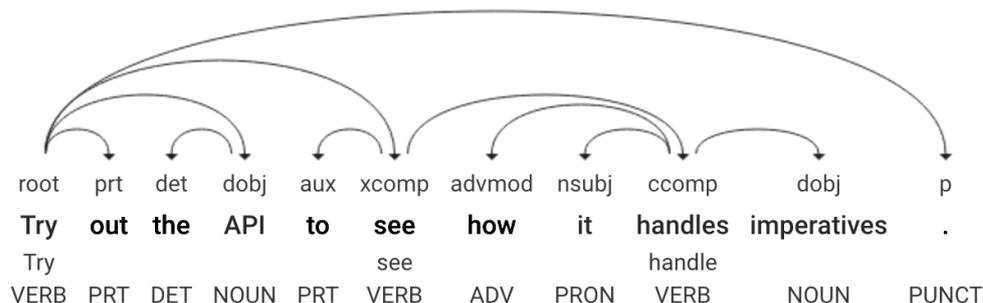


Рис. 2. Пример синтаксического разбора предложения

СМПО формируется как результат интеграции семантических образов документов коллекции. Семантический образ документа – семантическая сеть, множество вершин которой составляют понятия СМПО, присутствующие в документе, множество ребер – множество двухместных отношений над понятиями. Для определения превалярующего контекста для пользователя ИС применяется модель предпочтений, построенная на основе анализа запросов. Запрос – множество понятий предметной области, представленных множеством ключевых слов. Модель предпочтений пользователя – семантическая сеть, множество вершин которой составляют понятия СМПО, которыми оперирует пользователь, множество ребер – множество взвешенных двухместных отношений над понятиями, вес которых характеризует значимость семантического отношения между понятиями для пользователя, определенную на основе статистики его взаимодействия с системой.

СМПО может быть представлена неоднородной n -арной семантической сетью:

$$KB = \{C, L, Tp\}. \tag{1}$$

$$L = \{l\}, l = \langle c_i, c_j, tp, \bar{w} \rangle, c_i, c_j \in C, tp \in Tp,$$

$$\bar{w} = \langle w_1, \dots, w_k, \dots, w_r \rangle \tag{2}$$

где C - множество концептов, L - множество отношений над концептами, \bar{w} - вектор весовых коэффициентов, Tp - множество типов отношений (синонимии, гипонимии, ассоциации, субтрактивных отношений), r - количество категорий пользователей.

Процесс формирования семантической модели предметной области на основе коллекции документов информационной системы и расширяемого тезауруса состоит из следующих этапов:

1. Формирование семантического образа документа. Семантический образ задан семантической сетью, полученной статистическими и лексико-грамматическими методами обработки текста:

$$D = \{C^D, L^D\}, C^D \subset C, L^D \subset L, \tag{3}$$

где C^D - множество концептов, выделенных в документе, L^D - множество отношений вида (2), выделенных в документе.

Для анализа синтаксической роли и морфологических характеристик слов используется нейронная сеть, реализованная библиотекой машинного обучения Tensorflow. На вход нейронной сети подаются предложения, слова которого преобразованы в векторную форму библиотекой Word2Vec¹. На этапе предварительного обучения в качестве входных данных Word2Vec принимает текстовый корпус и выдает словарные векторы в качестве вывода. В Word2Vec реализованы два основных алгоритма обучения: Continuous Bag of Words (CBOW) [10] и skip-gram[11]. CBOW определяет вероятность присутствия слова при данном контексте, а skip-gram определяет вероятность контекста при заданном слове. Оба алгоритма определяют вероятность совместного употребления слова и его контекста и реализованы на основе модели нейронной сети прямого распространения. Получаемые на выходе координатные представления векторов-слов позволяют вычислять семантическую близость между словами. Так как алгоритмы Word2Vec основаны на обучении нейронной сети, чтобы добиться эффективной работы, необходимо использовать большие корпуса для обучения. Доступны предварительно подготовленные векторы, полученные на части набора данных Google News² (около 100 миллиардов слов). Модель содержит 300-мерные векторы для 3 миллионов слов и фраз. Фразы были получены с использованием подхода skip-gram, описанного в [11].

Далее предложения в векторном формате подаются на входной слой шестислойной нейросети, реализованной в TensorFlow и обученной на корпусе текстов Universal Dependencies. Русские корпуса в проекте представлены конвергированными СинТагРус³ и Google Russian Treebank⁴. Результатом является дерево зависимостей между словами предложения и морфологические характеристики слов.

2. Интеграция семантических образов в СМПО на основе модифицированной семантической метрики осуществляется следующим образом:

а) вычисление оценки сходства концептов документа и СМПО на основе функции оценки сходства имен концептов и множества грамматических признаков слова;

б) вычисление оценки сходства контекста и структурного положения концептов документа с контекстом СМПО как количества общих связанных концептов различных типов;

с) добавление концептов на основании результатов вычисления пороговой функции от среднего оценок.

Уточнение СМПО осуществляется заданием взвешенных ассоциативных отношений между понятиями. Данный процесс инициируется при совместном употреблении двух понятий в одном предложении. Предложенный подход предлагается использовать для автоматизированного формирования и обеспечения актуального состояния семантической модели предметной области динамичной коллекции документов, условиях динамики предметной области.

¹ <https://code.google.com/archive/p/word2vec/>

² <https://drive.google.com/file/d/0B7XkCwpI5KDYNNUTt1SS21pQmM/edit?usp=sharing>

³ <http://www.ruscorpora.ru/search-syntax.html>

⁴ <https://old.datahub.io/dataset/universal-dependencies-treebank-russian>

Структура сервиса семантического индексирования для формирования СМПО представлена на рис. 3.

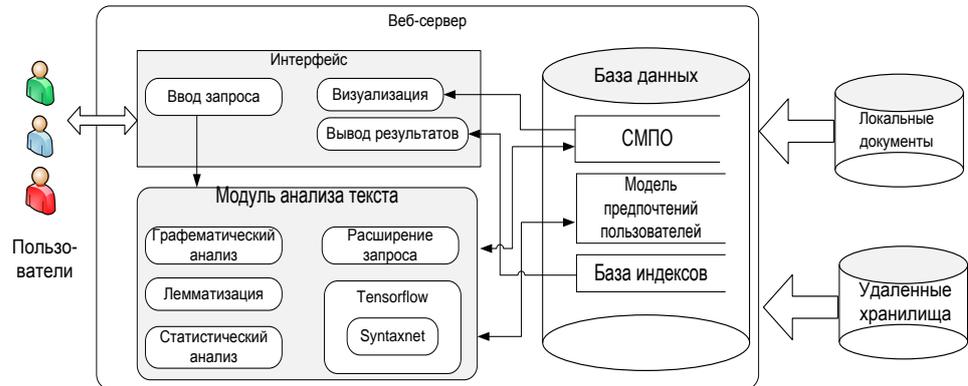


Рис. 3. Веб-сервис семантического индексирования

Схема данных для хранения семантической модели предметной области представлена на рис. 4.

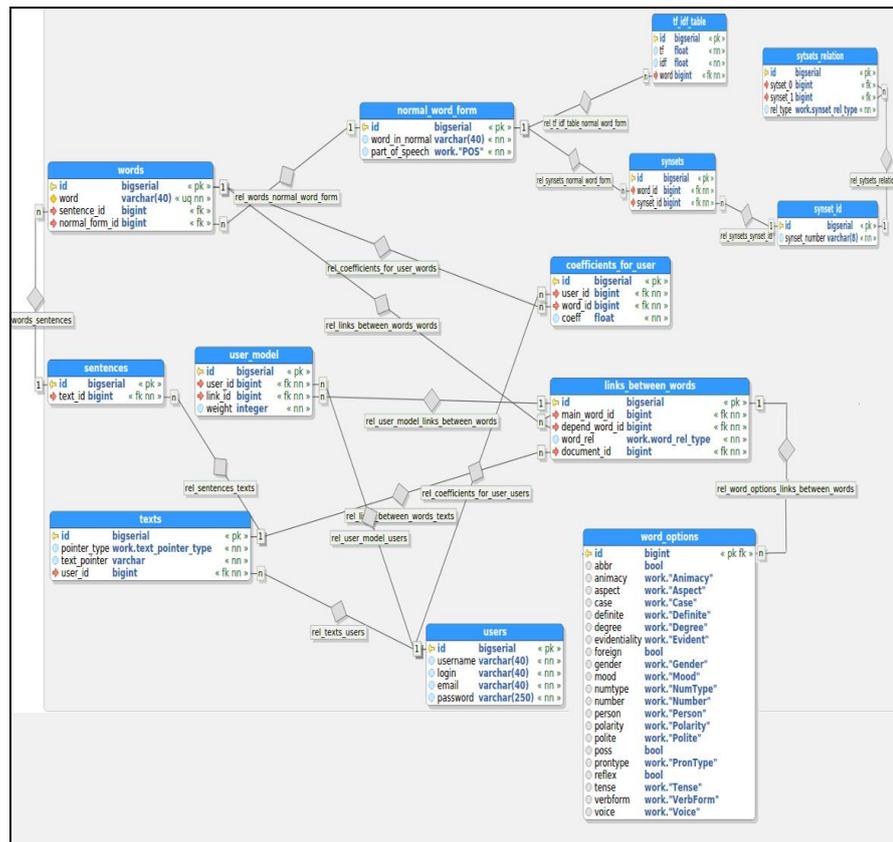


Рис. 4. Схема данных для хранения семантической модели предметной области

Заключение

В статье представлен сервис семантического анализа текста на естественном языке, реализующий автоматическое формирование семантической модели предметной области на основе коллекции документов, реализующий нейросетевой подход к анализу синтаксиса и морфологии. На основе разрабатываемого веб-сервиса планируются решение задач систематизации информации, кластеризации документов, задач информационного поиска, поиска противоречий.

Литература

1. Шишаев, М.Г. Технология синтеза адаптивных пользовательских интерфейсов для мультимедийных информационных систем / М.Г. Шишаев, В.В. Диковицкий // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 5. - 5/2014(24). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - С.101-108.
2. А. В. Сокирко. Семантические словари в автоматической обработке текста (по материалам системы ДИАЛИНГ): дис. канд. техн. наук: 2001г. /Сикорко А.В. - Режим доступа: <http://aot.ru/docs/sokirko/sokirko-candid-1.html>
3. Калиниченко, А.В. Сущность проблемы анализа текста в полнотекстовых поисковых системах. Подходы и пути решения. – Режим доступа: <http://www.jurnal.org/articles/2010/inf12.html>
4. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка. – Режим доступа: <http://odict.ru/>
5. Тезаурус русского языка WordNet. -Режим доступа: <http://wordnet.ru/>
6. Библиотека программного обеспечения с открытым исходным кодом Machine Intelligence TensorFlow. -Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/>
7. Ueltschi, T.W. Third-Order Tensor Decompositions and Their Application in Quantum Chemistry. -Режим доступа: <http://buzzard.ups.edu/courses/2014spring/420projects/math420-UPS-spring-2014-ueltschi-tensors-in-chemistry.pdf>
8. Фреймворк для кросс-лингвистически последовательной грамматической аннотации на 60 языках. - Режим доступа: <http://universaldependencies.org>.
9. Lyashevskaya, O. Universal Dependencies for Russian: A New Syntactic Dependencies Tagset / O. Lyashevskaya, K. Drohanova, D. Zeman, M. Alexeeva, T. Gavrilova, N. Mustafina, E. Shakurova//Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP 44/LNG/2016. Available at SSRN. – Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=2859998>
10. Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. In Proceedings of Workshop at ICLR, 2013.
11. Tomas Mikolov, Ilya Sutskever, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. In Proceedings of NIPS, 2013.

Сведения об авторе

Диковицкий Владимир Витальевич – к.т.н, старший научный сотрудник,

e-mail: dikovitsky@gmail.com

Vladimir V. Dikovitsky - PhD (Tech. Sci.), senior researcher

УДК 004.057.7:004.94

А.А. Павлов, И.О. Датъев

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ТЕСТИРОВАНИЯ МНОГОШАГОВЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ*

Аннотация

В статье представлен аналитический обзор средств тестирования многошаговых беспроводных сетей: тестовых стендов, средств моделирования и эмулярования, которые в настоящее время используются для оценки различных параметров производительности многошаговых беспроводных сетей. Кроме того, сформулированы основные проблемы, с которыми сталкиваются исследователи многошаговых беспроводных сетей при работе с этими инструментами и приводятся рекомендации, которые помогут повысить точность и качество проводимых исследований многошаговых беспроводных сетей.

Ключевые слова:

многошаговые беспроводные сети, имитационное моделирование, протоколы маршрутизации.

A.A. Pavlov, I.O. Datyev

PROBLEMS OF USING TOOLS FOR TESTING MULTIHOP WIRELESS NETWORKS

Abstract

This article provides an analytical overview of multihop wireless network test tools: testbeds, modeling and emulation tools, which are currently used to evaluate various performance parameters of multihop wireless networks. In addition, the main problems faced by researchers of wireless multihop networks when working with these tools are formulated and recommendations are provided that will help increase the accuracy and quality of conducted studies of wireless multihop networks

Keywords:

wireless multihop networks, simulation, routing protocols.

Введение

По исследованиям компании Cisco количество мобильных устройств, которые используют технологии Bluetooth и Wi-Fi, к 2018 году достигнет 10 млрд [1]. Поэтому, все более актуальными становятся многошаговые беспроводные сети (МБС), которые позволяют объединять мобильные устройства в сети для передачи данных.

* Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация» по проекту «Развитие технологий информационных систем для информационно-аналитической поддержки задач развития хозяйственной деятельности в Арктической зоне РФ».

Многошаговые беспроводные сети являются развитием одношаговых самоорганизующихся (или ad-hoc) сетей, где каждый узел находился в зоне непосредственной радиовидимости любого другого узла сети. В многошаговых сетях должна обеспечиваться передача данных между движущимися узлами, и не только в пределах радиовидимости одного узла, (т.е., напрямую за один шаг (hop)), но и через промежуточные узлы – ретрансляторы (т.е. за несколько шагов), что существенно расширяет зону покрытия сети. Соединения между узлами МБС (рис.) претерпевают постоянные изменения.



Соединения между узлами беспроводной многошаговой сети

В настоящее время многошаговые беспроводные сети активно развиваются. Для анализа производительности МБС могут применяться следующие подходы: создание испытательных стендов, использование сетевых эмуляторов, симуляторов, а также натурные эксперименты.

Испытательные или тестовые стенды (testbed) включают в себя программное обеспечение, физическое оборудование и сетевые компоненты. Тестовые стенды могут предоставлять более точные, по сравнению с сетевыми симуляторами и эмуляторами, результаты. Но существует несколько факторов, осложняющих применение тестовых стендов: необходимость в приобретении аппаратного обеспечения, ограниченные возможности мониторинга и отладки, а также большое количество времени и усилий, необходимых для создания и настройки стенда. Кроме того, тестовые стенды могут применяться только для МБС с небольшим количеством узлов. Поэтому такой подход к тестированию МБС применяется крайне редко и, как правило, на финальных этапах разработки.

Эмулятор представляет собой гибридную модель, которая объединяет аппаратное и программное обеспечение, где некоторые компоненты реализованы на реальном оборудовании, а некоторые моделируются (эмулируются).

Моделирование МБС с помощью сетевых симуляторов более экономично и гибко по сравнению с предыдущими подходами: для проведения экспериментов, как правило, достаточно одной рабочей станции и модели МБС, созданной с использованием сетевого симулятора.

Сетевой симулятор – это программа, имитирующая работу компьютерной сети. Симуляторы, как правило, поддерживают самые популярные сетевые протоколы, используемых в настоящее время.

Цель данной работы заключается в формулировке проблем использования средств тестирования МБС и выработке предложений для решения этих проблем. Кроме того, статья может быть полезна начинающим исследователям МБС при выборе средств тестирования многошаговых беспроводных сетей.

Обзор средств тестирования МБС

С целью комплексного исследования той или иной технологии многошаговой беспроводной сети, согласно мнению большинства разработчиков [23] необходимо осуществить следующие этапы тестирования МБС:

1. Имитационное моделирование с помощью сетевого симулятора.
2. Имитационное моделирование с помощью эмуляции или тестового стенда.
3. Проведение натуральных экспериментов (в реальных условиях).

Однако, в настоящее время основная экспериментальная часть исследовательской работы выполняется только с помощью сетевых симуляторов по причине низкой стоимости. При этом, авторы большинства работ используют для тестирования МБС только один симулятор.

Выбор подходящего симулятора - трудное решение. Каждый симулятор выполняет определенные функции, которые будут полезны при определенных обстоятельствах. Выбор симулятора зависит в основном от цели, преследуемой исследователями. Например, некоторые симуляторы предоставляют возможность отслеживать уровень заряда источника питания узла сети, а в некоторых - такая возможность отсутствует.

Проблемы в многошаговых беспроводных сетях присутствуют не только на самых низких уровнях сетевого стека. На сегодняшний день, все больше людей уделяют внимание верхним уровням при разработке новых концепций и приложений для многошаговых беспроводных сетей (разные сервисы, приложения для клиентов, игры и т. д.). Например, Хеллбрюк и Фишер разработали ANSim [2] - интерактивный симулятор, чтобы проанализировать структурные свойства беспроводных многошаговых сетей. Гёрген и др. [3] работают над ad-hoc играми, используя симулятор Jane [4, 5]. Работа над протоколами вещания и приложениями для обмена сообщениями, Ногие и др. написали Madhoc [6], потому что ни один из доступных симуляторов не предоставлял возможность отладки протоколов вещания в интерактивном режиме при моделировании сетей с большим количеством узлов. Таким образом, универсального инструмента для моделирования МБС, обладающего большим набором функций, способного полностью отразить все внутренние процессы устройств и влияние факторов внешней среды на передачу данных, на сегодняшний день не существует. Более подробно основные особенности наиболее распространенных сетевых симуляторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные особенности различных сетевых симуляторов

Название симулятора	Язык программирования/ GUI	Специализация симулятора/ Open Source	Особенности	Ограничения
OPNET/ Riverbed Modeler [7]	C/C++ / Есть	Общий/ Коммерческий	Использует иерархическую модель для определения каждой характеристики системы. Способен записывать большое количество результатов моделирования	Проблемы масштабируемости
NS-3 [8]	C++ / Нет	Общий/ Открытый	Поддерживает моделирование и эмуляцию. Поддерживает моделирование в реальном времени. Возможность поддержки нескольких радиointерфейсов и нескольких каналов	Ограниченные настройки. Малое количество моделей приложений. Плохо масштабируется для WSN
Qualnet [9]	C/C++ / Есть	Общий/ Коммерческий	Полный набор расширенных модулей беспроводных сетей и удобные инструменты	Дорогая лицензия.
Dingo [10]	Python / Есть	Специально разработан для беспроводных сенсорных сетей/ Открытый	Может использоваться полная функциональность языка программирования	Не поддерживает напрямую сети на физическом уровне. Поддержка разработчиками прекращена.
J-Sim [11]	Java / Есть	Специально разработан для беспроводных сенсорных сетей / Открытый	Поддержка применения кода моделирования к реальному оборудованию	Сравнительно сложное использование

Одной из основных проблем для моделирования МБС с использованием сетевых симуляторов является создание модели перемещения узлов, воспроизводящей реальное поведение узлов, подвергающихся влиянию множества внешних факторов. Результаты экспериментов разных симуляторов так же могут отличаться друг от друга, даже при применении одной и той же модели МБС, по причинам, рассмотренным ниже по тексту.

Поэтому, результаты экспериментов с применением только одного сетевого симулятора могут не соответствовать поведению исследуемой технологии МБС в реальных условиях эксплуатации.

Важным шагом после проведения в сетевом симуляторе имитационных экспериментов следует создание и апробация результатов с помощью эмуляторов. Одной из главных проблем является высокая стоимость оборудования, поэтому часто исследователи не имеют возможности провести эксперименты с эмуляторами. Основные особенности наиболее распространенных сетевых эмуляторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Краткие характеристики сетевых эмуляторов

Название	GUI	Устройства	Гибкость	Размеры	Начальный бюджет	Масштабируемость / Open Source
Castadiva [12]	да	Маршрутизаторы, КПК и компьютеры	да	Помещается на рабочем месте	< 1000€	Да / да
MobiEmu [13]	нет	ПК	да	Помещается в комнате	> 3000€	Да / да
mLab [14]	нет	Нет (это почти симулятор)	да	Помещается на рабочем месте	< 1000€	Да / да
Carnegie Mellon University Wireless Emulator [15]	да	ПК	да	Помещается на рабочем месте	> 3000€	Да / да
ORBIT [16]	нет	ПК	Мобильность только в сетке	Большие, нужен склад	> 10000€	Да, но дорого / нет

Эмуляторы являются промежуточным звеном между симуляторами и беспроводными тестовыми стендами, позволяя проводить масштабируемые и повторяемые эксперименты и, при этом, использовать реальные устройства. Другими словами, имитационные эксперименты с помощью эмуляторов позволяют частично моделировать алгоритмы в программном обеспечении и, частично, в реальном аппаратном обеспечении МБС. Некоторые сетевые симуляторы, такие как NS-3 и Dingo, поддерживают возможность проведения имитационных экспериментов с подключением реального аппаратного обеспечения МБС. Это позволяет исследователям сравнивать результаты выполнения одного и того же алгоритма как в симуляции, так и с помощью физических модулей передачи данных. Кроме того, взаимодействие моделирования и тестовых стендов остается сложной задачей, которую необходимо решить. Например, авторы Dingo описывают в работе [17] новую библиотеку на Python, которая реализует синхронный параллелизм при передаче сообщений для улучшения координации между многими хостами.

Еще более точный способ тестирования беспроводных многошаговых сетей – тестовые стенды (табл. 3).

В последние годы были разработаны и развернуты широкомасштабные беспроводные тестовые стенды с целью изучения беспроводных сетей в более реалистичных условиях. Поскольку процессы установки и эксплуатации такого испытательного стенда являются дорогостоящими и долгими по времени, возникает ключевой вопрос: оправданы ли эти усилия полученными научными результатами?

Таблица 3

Обзор различных испытательных стендов

Название	Количество узлов	Связь устройств	Стоимость / протокол	Особенности
JEMU [18]	12 физических узлов	проводная	Низкая / DSR	Был разработан Исследовательской группой по сетям и телекоммуникациям для имитации радиокомпонентов своего конкретного пакета связи
ORBIT[19]	400 физических узлов	Bluetooth и IEEE 802.11	Высокая / AODV/ OLSR	Состоит из 400 радиоустройств, которые являются фиксированными. Используют интерфейсы 802.11
Mobi Net [20]	200 виртуальных узлов	IEEE 802.11 / проводная	Высокая / DSR	Сложная настройка. Использован протокол маршрутизации (DSR) и специально эмулированный уровень MAC
MobiEmu [21]	50 физических узлов	IEEE 802.11 / проводная	Высокая / Проактивные протоколы	Позволяет запускать несколько виртуальных узлов на одной физической машине. Состоит из нескольких подчиненных узлов и одного главного узла
Gray[22]	33 физических узла	IEEE 802.11	Высокая / AODV	Основа на ноутбуках, оснащенных интерфейсами 802.11

Хотя результаты испытаний подтверждают более высокую степень точности, требуемые усилия значительно выше, например, чем для экспериментов с применением сетевых симуляторов. Прежде всего, требуется реальное оборудование и программное обеспечение. Кроме того, после первоначального развертывания тестовый стенд должен активно поддерживаться и обновляться.

Заключение

Каждый из перечисленных способов тестирования многошаговых беспроводных сетей обладает своими достоинствами и недостатками. Имитационное моделирование с помощью сетевых симуляторов является самым быстрым и недорогим способом тестирования МБС, обеспечивающим возможность проводить эксперименты с большим количеством устройств. Однако, точность результатов экспериментов зависит как от качества самой модели МБС, так и от особенностей программной реализации сетевого симулятора. Тестовый стенд и эмуляция являются более точными способами тестирования МБС, но требуют большего количества (по сравнению с сетевыми симуляторами) различных ресурсов - денег, времени и рабочей силы.

Проведение натуральных экспериментов обеспечивает наибольшую точность, однако требует наибольших финансовых и временных затрат. Например, для эксперимента с большим количеством узлов, потребуется соответствующее количество реальных экспериментальных образцов этих узлов. Поэтому, сетевые симуляторы остаются наиболее популярным средством тестирования технологий МБС.

Существует множество сетевых симуляторов, обладающих различными функциональными возможностями и особенностями программной реализации. В итоге, результаты моделирования могут быть нереалистичными по причинам неполноты (отсутствие элементов и связей, необходимых для эксплуатации модели) и неточности имитационных моделей. Поэтому, использование только одного сетевого симулятора недостаточно для тестирования и оценки алгоритмов МБС. Таким образом, совместное использование нескольких сетевых симуляторов позволит повысить качество результатов моделирования.

Литература

1. Cisco прогнозирует почти 11-кратный рост мирового трафика мобильной передачи данных с 2013 по 2018 гг. / Cisco Systems, Inc.
2. – Режим доступа: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2014/02/020714c.html> (дата обращения: 20.11.2017).
3. Hellbruck H. and Fischer S. Towards analysis and simulation of ad-hoc networks / ICWN02: Proceedings of the International Conference on Wireless Networks. - Las Vegas, Nevada, USA, June 2002. - P.69–75.
4. Gorgen D., Frey H., and Hutter C. Information dissemination based on the en-passant communication pattern / KiVS: Fachtagung Kommunikation in Verteilten Systemen, 2005. –P. 129-141
5. Frey H., Gorgen D., Johannes K. Lehnert, Sturm P. A java-based uniform workbench for simulating and executing distributed mobile applications / Scientific Engineering of Distributed Java Applications, November 2003. –P.116-127
6. Johannes K. Lehnert, Gorgen D., Frey H., Sturm P. A scalable workbench for implementing and evaluating distributed applications in mobile ad hoc networks/WMC'04: Western Simulation MultiConference, 2004. –P.154–161.
7. Hogue L. The Madhoc Simulator / Technical report, Le Havre University, 2005.
8. SteelCentral Riverbed Modeler | Riverbed. – Режим доступа: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>. (дата обращения: 20.11.2017).
9. What is ns-3. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/> (Дата обращения: 20.11.2017).
10. Qualnet – Packet Tracer. – Режим доступа: <http://web.scalable-networks.com/qualnet-network-simulator> (Дата обращения 20.11.2017).
11. Mount S. SenSor: an Algorithmic Simulator for Wireless Sensor Networks // Proceedings of the EuroSensors XX, vol. II, 2006. -P.400-411.
12. Sobeih A. J-Sim: A Simulation Environment for Wireless Sensor Networks / Proceedings of the 38th Annual Symposium on Simulation (ANSS '05). - 2005. –P.175-187.
13. Hortelano J., Juan-Carlos C., Calafate Carlos T, Pietro M. Testing applications in manet environments through emulation / EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009 (2010).

14. Zhang Y, Li W. An integrated environment for testing mobile ad hoc networks. -Режим доступа: <http://www.wins.hrl.com/projects/adhoc> (Дата обращения 20.11.2017).
15. Karygiannis A, Antonakakis E. MLab: an ad hoc network test bed / Proceedings of the 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC '06). Las Vegas, Nev, USA. Vol.2. National Institute of Standards and Technology, January 2006. –P.1312-1313.
16. Judd G, Steenkiste P. Design and implementation of an RF front end for physical layer wireless network emulation / Proceedings of the 65th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '07), Dublin, Ireland, April 2007. –P.974-979.
17. Raychaudhuri D, Seskar I, Ott M, Ganu S, Ramachandran K. Overview of the orbit radio grid testbed for evaluation of next-generation wireless network protocols / Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '05). New Orleans, La, USA 3, March 2005. -P.1664-1669:
18. Hammoudeh M. Modelling Clustering of Sensor Networks with Synchronised Hyperedge Replacement / Proceedings of the 4th international Conference on Graph Transformations (ICGT '08), 2008. -P.490-492.
19. Flynn J., Hitesh Tewari, Donal O'Mahony. JEmu: A real time emulation system for mobile ad hoc networks / Proceedings of the First Joint IEE/IEE Symposium on Telecommunications Systems Research. -2001.
20. Raychaudhuri, Dipankar, Seskar I., Ott M., Ganu S., Ramachandran K., Kremo H., Siracusa R., Liu H., Singh M. Overview of the ORBIT radio grid testbed for evaluation of next-generation wireless network protocols / Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE, vol. 3, IEEE, 2005. -P.1664-1669.
21. Mahadevan, Priya, Rodriguez A., Becker D., Vahdat A. MobiNet: a scalable emulation infrastructure for ad hoc and wireless networks / ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review 10, no. 2. - 2006. –P.26-37.
22. Zhang, Yongguang, and Wei Li. An integrated environment for testing mobile ad-hoc networks / In Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, ACM, 2002. -P.104-111.
23. Kotz, David, Calvin Newport, Robert S. Gray, Jason Liu, Yougu Yuan, and Chip Elliott. Experimental evaluation of wireless simulation assumptions / Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems. ACM, 2004. -P.78-82.
24. H. Lundgren. Implements and Real-world Evaluation of Routing Protocols for Wireless Ad hoc Networks / IT Licentiate theses, 2002. – 74 p.

Сведения об авторах

Павлов Алексей Андреевич - инженер-исследователь

e-mail: pavlov@iimm.ru

Aleksey A. Pavlov - research engineer

Датьев Игорь Олегович – к.т.н., старший научный сотрудник,

e-mail: datyev@iimm.ru

Igor O. Datyev - PhD. (Tech. Sci.), senior researcher

В.В. Бирюков¹, В.Ф. Скороходов¹, Р.М. Никитин¹, А.Г. Олейник²

¹ Горный институт КНЦ РАН

² Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА*

Аннотация

Необходимость вовлечения в переработку редкоземельного минерального сырья с низким содержанием полезных компонентов требует совершенствования технологий его переработки. Задача оценки эффективности технологических схем переработки является многокритериальной и сложной. При ее решении необходимо комплексно учитывать технологические, экономические и экологические критерии эффективности. В результате применения методов системного анализа установлено, что модель, адекватную многокритериальной задаче определения эффективной технологической схемы целесообразно строить на основе структурных блоков, соответствующих этапам и режимам функционирования системы.

Ключевые слова:

технологическая схема, системный анализ, критерий оптимальности, уровень декомпозиции модели, эмерджентность, структурная и параметрическая оптимизация, стадии обогащения полезных ископаемых.

V.V. Birukov, V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.G. Oleynik

CREATION OF THE FLOW CHART MODELS FOR RARE-METAL MINERAL RAW MATERIAL PROCESSING USING SYSTEM ANALYSIS METHODS

Abstract

The need to involve rare-metal mineral raw materials with a low content of useful components in processing requires the improvement of processing technologies. The task to assess the efficiency of a technological processing flow charts is multi-criteria and complex. It is necessary to consider comprehensively the technological, economic and environmental criteria of efficiency when solving the task. The system analysis methods application has made it possible to establish that it is reasonable to build a model adequate to the multi-criteria task of determining the efficient flow chart on the basis of structural blocks corresponding to the stages and modes of the system functioning.

Keywords:

technological flowchart, system analysis, criterion of optimality, level of model decomposition, structural and parametric optimization, mineral processing stages.

Россия располагает уникальной ресурсной базой для создания современных производств в сфере добычи, переработки и последующего применения редкоземельных элементов. Эффективное использование этой базы позволит наилучшим образом сочетать природно-ресурсный потенциал страны и

* Работа выполнена в рамках Соглашения с Российским научным фондом № 14-17-00761.

настоятельную потребность в модернизации экономики и переводе ее на инновационный путь развития.

Характерной особенностью как эксплуатируемых в настоящее время, так и новых месторождений титанового и редкоземельного сырья в России является его сложный многокомпонентный состав. Это предопределяет необходимость его комплексной переработки с получением ниобия, тантала, ванадия, титана, редкоземельных элементов (РЗЭ) и их соединений. В современных условиях эффективность использования природных ресурсов в России в целом уступает зарубежному опыту, где удельный расход природных ресурсов на единицу валового внутреннего продукта ниже российского в 2-3 раза. С другой стороны, очевидно, что существенные различия в составе традиционного и нового сырья с меньшими концентрациями полезных компонентов в последнем делают использование мирового опыта для переработки нетрадиционного сырья в России малоэффективным. Такая ситуация обостряется ввиду сложившихся политических и экономических взаимоотношений стран – лидеров производства редкоземельных и редкометалльных элементов, которые являются основой современной металлургии и наукоемких отраслей промышленности. Таким образом определяется стратегическая необходимость поддержки и дальнейшего развития предприятий горнодобывающей отрасли России, специализирующихся на производстве редкоземельных и редкометалльных элементов.

Значимым игроком внутреннего рынка редкоземельных и редкометалльных элементов является ООО Ловозерский ГОК. Утвержденные запасы лопаритовых руд Ловозерского месторождения согласно ГКЗ – 17 млн. тонн; годовая добыча – 0,5 млн. тонн; обеспеченность балансовыми запасами – не менее 30 лет. Технология их гравитационного обогащения традиционно основана на последовательном сокращении крупности. Существующая контрастность в значениях плотности и магнитной восприимчивости минеральных компонентов лопаритовых руд предопределяет возможность использования в технологической схеме переработки комбинированных процессов разделения, включающих в себя гравитационные, магнитные, электрические и флотационные методы обогащения, которые реализуются соответственно в потоках малой толщины и при использовании полей высокой напряженности. Результатом переработки лопаритовых руд является лопаритовый концентрат, удовлетворяющий ТУ 1763-001-71899056-2005.

При этом производство концентрата по существующей технологии в значительной мере зависит от особенностей рудного сырья, которое характеризуется невысоким содержанием полезных компонентов - 180 г/т Ta_2O_5 , 2,4 кг/т Nb_2O_5 и ~10 кг/т TR_2O_3 , среди которых преобладают цериевые лантаноиды и лишь 2,3% - иттриевые. Также обращает на себя внимание, что в хвостах Ловозерского ГОК содержится недоизвлеченный (до 50÷70%) лопарит, включающий Ta, Nb, TR, Ti. С учетом приведенных показателей, в сравнении с мировыми производителями, уровень конкурентоспособности Ловозерского ГОКа на сегодняшний день весьма низок, что определяет задачу оптимизации его существующей технологической цепи.

Для решения этой задачи авторы предлагают использовать положения и методы системного анализа с целью моделирования топологий технологических схем переработки редкоземельного минерального сырья, позволяющего выявлять критерии их оптимальности. Эффективным инструментом названного подхода являются автоматизированные системы информационной поддержки синтеза оптимальных (с точки зрения заданного критерия) схем и циклов процессов обогащения. Тем самым данная работа является логическим продолжением и развитием представлений о проблеме оптимизации горнорудных производств, представленных в работах российских и зарубежных авторов [1, 2, 3].

Обобщенная структура разделения минерального сырья представляется в виде процесса преобразования исходного сырья в продукты разделения с потреблением определенных технологических ресурсов и отражается в концептуальной модели процессов обогащения. Каждый из объектов обогатительного процесса обладает набором качественных и количественных характеристик, которые могут быть представлены в концептуальной модели как атрибуты соответствующих информационных объектов. Использование концептуальной модели обосновано возможностью реализации в ней достаточно глубокой декомпозиции, вплоть до концептуального описания конкретных процессов и ресурсов. Описание характеристик в этой модели носит декларативный характер, а их конкретные значения заносятся в соответствующие базы данных.

Сегодня существуют обширные базы данных обогатительного оборудования, разработанного как в России, так и за рубежом, содержащие исчерпывающую информацию о используемых в оборудовании методах разделения, типах, возможностях и эксплуатационных характеристиках оборудования. Системный подход к формированию оптимальной технологической цепи переработки рудного сырья основывается на выборе необходимого обогатительного оборудования, представленного в названных базах данных, и на разработке топологии технологической схемы.

При системном подходе объект исследования рассматривается как система, которую можно определить комплексом элементов, объединенных связями и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться ее функция. Представление сложного технологического объекта, такого как горно-перерабатывающее производство, как системы, предполагает использование ряда категорий, среди которых основными являются структурное представление, связанное с выделением элементов системы и связей между ними, и функциональное представление системы с выделением совокупности ее функций и ее компонентов. С учетом того, что реальный объект обладает бесконечным набором свойств различной природы, система как образ объекта задается на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств, присущих образующим ее структуре компонентам. Под структурой системы понимается устойчивое множество отношений, которое сохраняется длительное время неизменным, по крайней мере, в течение интервала наблюдения. Структура системы определяет заданный уровень сложности по составу отношений на множестве элементов системы или, что эквивалентно, уровень разнообразия проявлений объекта.

Методы разделения минерального сырья основаны на контрастности физических и физико-химических свойств минералов. Технологические схемы переработки представляют ряд последовательных и циклических подготовительных, основных и вспомогательных операций, набор которых зависит от состава руд, вторичного сырья и содержания в них полезных компонентов. Однако, активная добыча полезных ископаемых приводит к изменению качества руд и повышению затрат на их добычу и переработку, что влечет снижение технологических показателей обогащения. Таким образом для всех без исключения предприятий горнопромышленного комплекса неизбежно приходит время модернизации и реконструкции с целью обеспечения своей конкурентоспособности.

Разработка технологических схем переработки полезных ископаемых требует научно обоснованного методического подхода. Основным источником получения необходимой для его развития и применения информации традиционно является физическое моделирование последовательных технологических операций, со значительными ограничениями возможностей учета переходных процессов работы и взаимосвязей оборудования, а также изменения вещественного состава минерального сырья. Исследования по разработке технологий переработки минерального сырья на основе физического моделирования являются трудоемким, затратным и долговременным процессом, что обуславливает их низкую эффективность. В этой связи актуализируется возможность использования в исследовательских целях методов математического моделирования, что приводит к необходимости внедрения информационных технологий в процессы решения инженеринговых задач проектирования обогатительного оборудования и разработки технологических схем переработки полезных ископаемых.

Применение информационных технологий при решении инженеринговых задач оптимизации процессов переработки полезных ископаемых подразумевает проведение исследований по нескольким направлениям, таким как:

- аккумуляция в специализированных базах данных накопленной в ходе многолетних исследований информации о геолого-минералогическом составе рудного сырья, а также физических, химических и физико-химических свойствах минералов, входящих в его состав;

- создание специализированных баз знаний, содержащих информацию о методах переработки минерального сырья с известными физическими, химическими и физико-химическими свойствами;

- совершенствование технологического оборудования и разработка разделительных аппаратов с использованием CAD-CAM-CAE комплексов, позволяющих в рамках единой программной среды совместить средства автоматизированного проектирования со средствами компьютерного моделирования физических процессов;

- разработка моделей и создание автоматизированных систем управления технологическими аппаратами и технологическими цепями переработки минерального сырья;

– имитационное моделирование технологических цепей обогащительных производств с целью определения наиболее эффективных режимов реализации производственных процессов.

Базовыми целями инжиниринга являются разработка, улучшение и реализация технологических, организационных и финансово-экономических моделей технических систем и объектов, что достигается посредством, в том числе, системного анализа при изучении различных явления абстрагировано от их природы, на основе формальных взаимосвязей между различными составляющими их факторами и характера их изменения под влиянием внешних условий. Интенсификация процессов (Process Intensification), как составляющая инжиниринга, подразумевает использование нового оборудования и методик, благодаря которым можно создавать экологически безопасные и энергетически эффективные производства, а также обеспечить рост производительности труда, снижение энергозатрат, потерь и количества побочных продуктов производства. Вопросы применения инжиниринговых подходов в теории обогащения полезных ископаемых достаточно широко освещены в работах представителей российской и американской науки [4, 5, 6, 7].

Осуществление параметрической оптимизации системы, заключающейся в расчете оптимальных технологических параметров исследуемого объекта (выходы, содержания, извлечения полезных компонентов руд) позволяет обосновать использование технологических критериев эффективности функционирования единиц оборудования технологических цепей как элементов структурной схемы (рис. 1), по которым производится оценка соответствия функционирования желаемому результату (цели).

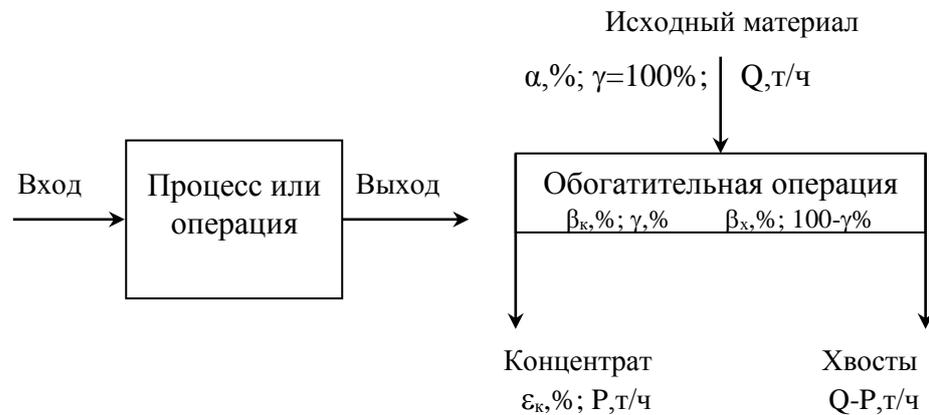


Рис. 1. Входные и выходные параметры разделительного процесса α - содержание полезного компонента в питании; β_k - содержание полезного компонента в концентрате; β_x - содержание компонента в хвостах; ε_k - извлечение полезного компонента в концентрат

К показателям эффективности функционирования единиц обогащательного оборудования (которые всегда следует рассматривать комплексно ввиду их неуниверсальности и объективной необходимости в их взаимодополнении) в теории обогащательных процессов относятся: кривые обогатимости, сепарационные характеристики, кривые селективности.

В качестве критериев эффективности используются различные эмпирические зависимости, каждая из которых по своей сути является характеристикой влияния качества на эффективность:

$$E = \frac{\gamma(\beta - \alpha)}{\alpha(1 - \alpha)} - \text{критерий Ханкока};$$

$$E = \frac{\gamma\beta^2}{\alpha(1 - \alpha)} - \text{критерий Хепкера, Маджумдара, Баюла, Волоскова};$$

$$E = \frac{\gamma\beta(\beta - \alpha)}{\alpha^2} - \text{критерий Стивенса, Коллинза};$$

$$E = 1 - \frac{\lg \varepsilon}{\lg \gamma}; \quad E = \gamma(a\beta^2 + b\beta + c) - \text{критерии Барского}$$

Очевидно, что выбор технологических критериев разделения определяется экономическими соображениями - сопоставлением ценности извлекаемого компонента с себестоимостью процесса обогащения или ростом ценности концентрата с улучшением его качества.

Из определения «системы» следует, что главным ее свойством является целостность, единство, достигаемое посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий ее элементов и проявляющееся в возникновении новых свойств, которыми в отдельности они не обладают. Это свойство эмерджентности - степени несводимости свойств системы к свойствам элементов, из которых она состоит.

Технологическая цепь представляет собой последовательный набор обогащательных аппаратов, в которых осуществляются два типа процессов - сокращение крупности исходной руды и разделение минерального сырья на основе контрастности тех или иных физических и физико-химических свойств. Под структурой системы (технологической цепи) понимаются устойчивые отношения (связи), которые сохраняются внутренне неизменными при ее функционировании.

Связь - одно из фундаментальных понятий в системном подходе. Система существует именно благодаря наличию прямых и обратных связей между ее элементами, которые выражают правила функционирования системы.

В контексте рассмотрения технологической цепи как системы прямые связи определяют передачу массы вещества и энергии от одного элемента к другому в направлении основного процесса. Обратные связи отражают изменение состояния системы в результате управляющего воздействия на нее.

Схемы обогащения минерального сырья классифицируются на основе признаков, к которым можно отнести:

1. Число используемых методов обогащения (монометодные и полиметодные схемы).
2. Число используемых в каждом методе процессов.
3. Количество и виды циклов, в которых выделяются минералы одного состава, либо минералы с близкими по значению разделительными признаками.
4. Число используемых в каждом процессе операций (основной, контрольной, перечистной). В основных операциях производится выделение основной массы ценных минералов в обогащенный продукт с получением черного концентрата или хвостов. Для окончательного вывода ценных минералов из хвостов основной операции применяют операции контрольного обогащения, а для повышения качества обогащенного продукта - перечистки черного концентрата.

Многостадийные схемы применяют при обогащении тонковкрапленной руды и руд неравномерной вкрапленности. Число используемых стадий изменения крупности полезного ископаемого зависит от крупности минералов и размера вкрапленности ценных минералов в пустой породе. Каждая стадия содержит набор аппаратов для сокращения крупности и классификации по крупности, и сепарации. Окончательный выбор схемы переработки полезного ископаемого основывается на знании вещественного состава, определении методов (метода) процессов, операций обогащения, определении стадийности и числа циклов в технологической схеме, знании производительности проектируемой фабрики, технико-экономических условий региона, и ценности добываемого компонента.

Таким образом структурная оптимизация исследуемой системы - выбор оптимальной структуры проектируемого объекта и технологического процесса. Структура играет основную роль в формировании новых свойств системы, отличных от свойств ее элементов, в поддержании целостности и устойчивости ее свойств по отношению к изменению ее элементов в некоторых пределах. Однако, структурная схема, это еще не модель структуры, поскольку она практически не поддается формализации и является скорее инструментом перехода от содержательного к математическому описанию системы, чем инструментом анализа и синтеза структуры.

Поэтому изучение любой системы предполагает прежде создание ее модели, позволяющей произвести анализ и прогнозировать ее поведение в определенном диапазоне условий, решать задачи анализа и синтеза реальной системы. Важно, что степень адекватности модели определяется уровнем ее абстракции в том смысле, что модель, это описание системы, отражающее лишь определенную группу ее свойств, существенных в рамках, решаемых с помощью данной модели задач. При моделировании технологических схем определение существенных свойств базируется на трех отправных точках зрения: функциональной, морфологической и информационной. Особое место при выборе способа моделирования занимает построение математической модели - процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта. Для исследования характеристик любой системы математическими методами, включая машинные, ее формализация обязательна. Для технологического процесса математическая модель, как правило, формируется в виде совокупности выявленных эмпирических закономерностей и фундаментальных законов, описываемых дифференциальными уравнениями. Вид

математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования, требуемой достоверности и точности решения задачи.

Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект с некоторой степенью приближения. Формирование структуры модели является частью решения общей задачи формального описания системы. Структура характеризует общую конфигурацию системы, а не определяет систему в целом. Если изобразить систему как совокупность блоков, осуществляющих некоторые функциональные преобразования, и связей между ними, то получим структурную схему, в обобщенном виде описывающую структуру системы.

Применение принципа блочного строения облегчает разработку моделей структурно сложных систем из блоков с минимальными связями между ними. Выделение таких блоков производится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы. Членение на блоки, - декомпозиция, может осуществляться исходя из требуемой степени детализации описания структуры, наглядности отображения в ней особенностей процессов функционирования.

Системные исследования при решении проблемы разработки оптимальной топологии технологической схемы переработки комплексных руд сводится к созданию математической модели, имитирующей технологическую цепь аппаратов, и позволяющей оптимизировать ее на основании априорно выбранных экономических, физических, технологических и экологических критериев.

Выбор критериев оптимальности определяет необходимую глубину декомпозиции схемы. Так, к примеру, выбирая в качестве структурного элемента технологический аппарат, возможно использование только термодинамических, кинетических и статистических критериев разделения полезного компонента и породы. При этом использование экономических и экологических критериев невозможно исходя из принципа эмерджентности.

Переработка любого минерального сырья сводится к операциям сокращения его крупности, при котором происходит раскрытие минеральных зерен полезных компонентов, и операциям разделения по физическому или физико-химическому свойству.

Экономические критерии оптимальности построены по принципу максимизации прибыли, или минимизации себестоимости единицы готовой продукции. Таким образом, принимая в качестве основного критерия функционирования системы при статической постановке задачи минимум приведенных затрат на производство определенного количества готовой товарной продукции его использование становится невозможным для конкретных аппаратов технологической цепи.

Проводя анализ существующих технологических цепей предприятий обогащения полезных ископаемых можно выделить два основных способа их построения: цикличность и стадийность. Технологическая цепь переработки минерального сырья может быть сведена к набору последовательно функционирующих стадий обогащения. Переход от одной стадии к другой сопровождается сокращением крупности перерабатываемого материала, классификацией по крупности и разделением по физическому или физико-химическому признаку. Использование циклов и стадий в качестве элементов

декомпозиции позволяет одновременно применять как технологические, так и экономические критерии оптимальности функционирования и осуществлять функциональную (по функциям), компонентную (по виду элементов) и структурную (по виду отношений между элементами) декомпозицию системы.

Глубина декомпозиции технологической цепи до стадий сокращения крупности позволяет достичь требуемого уровня детализации описания системы и использовать накопленные базы данных традиционных схем переработки минерального сырья, режимов обогащения и количества перечистных операций.

Последовательная декомпозиция системы в глубину привела к такой иерархии подсистем, нижним уровнем которой является структурный элемент – стадия сокращения крупности руды. Структурный элемент имеет один вход и три выхода (рис. 2).

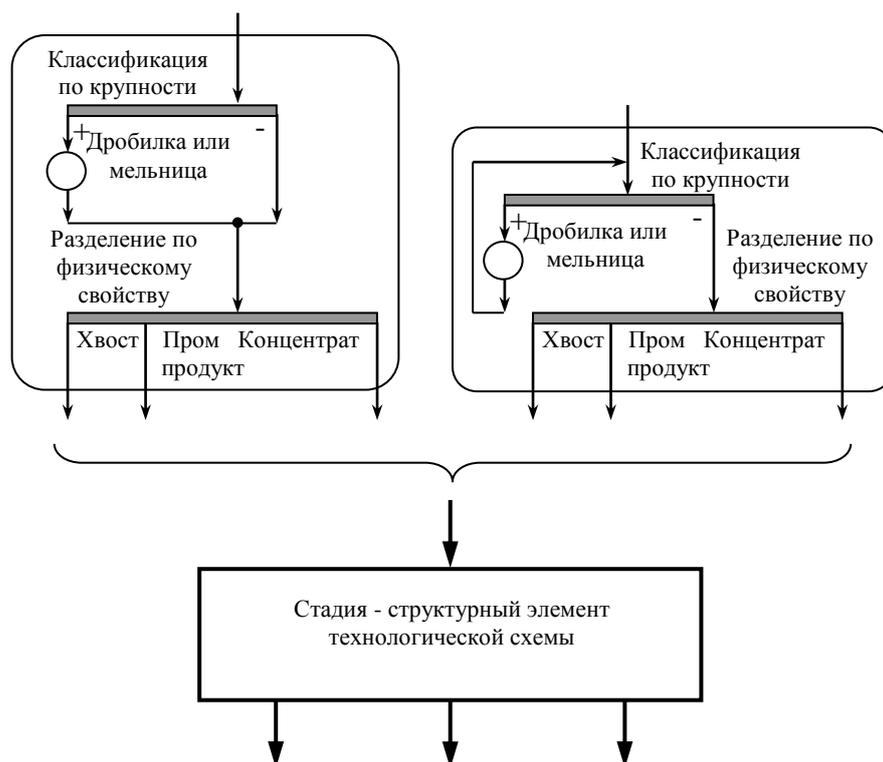


Рис. 2. Структурный элемент декомпозиции технологической схемы

Входы и выходы структурных элементов в технологической схеме соединены материальными потоками. Подобное построение технологической схемы в виде последовательно и параллельно соединенных стадий позволяет выработать единые для всех элементов качественные и количественные технические, технологические и экономические характеристики. На основе определенного закона функционирования могут быть получены выходные характеристики с учетом различных факторов. Так, например, используя в качестве одного из критериев эффективности – энергоэффективность, технологическая схема переработки железистых кварцитов может быть построена в

виде последовательных стадий сокращения крупности руды с выводом в каждой стадии как отвальных хвостов, так и, по мере возможности, товарного концентрата, что приводит к уменьшению циркуляционных нагрузок на мельницы и повышению эффективности раскрытия сростковых фракций руды (рис. 3).

Кроме того, подобное построение технологической схемы позволяет оптимизировать на основании критериев эффективности отдельных операций, внутреннее аппаратное оформление структурного элемента – стадии сокращения крупности.

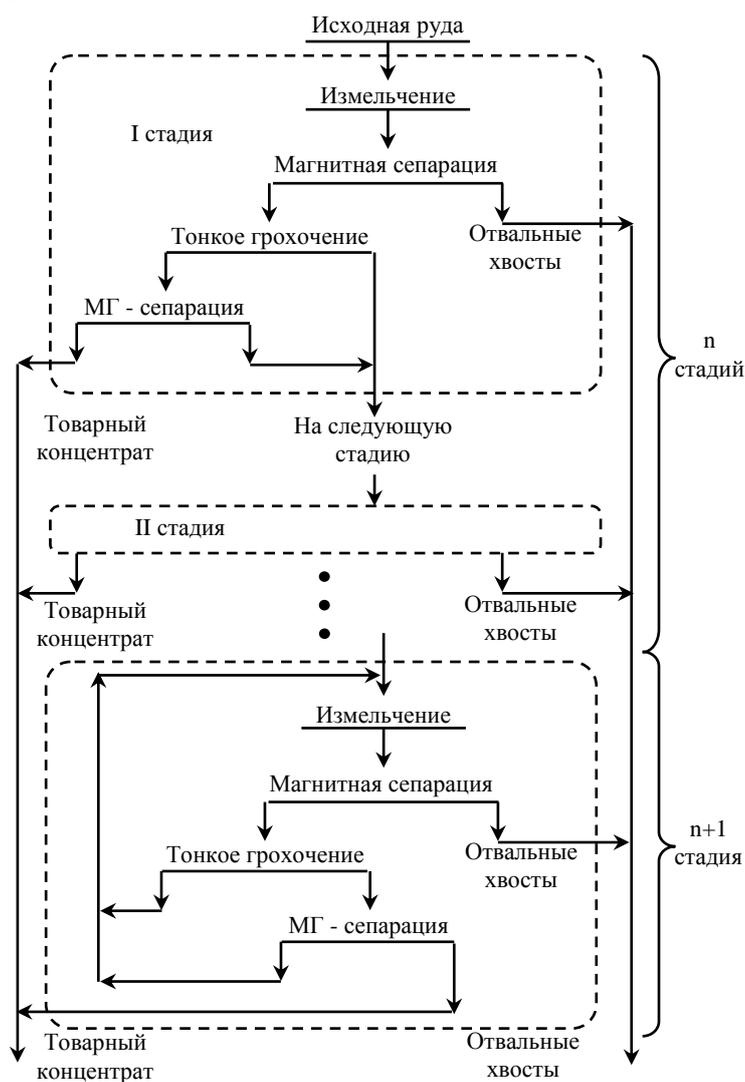


Рис. 3. Перспективная технологическая схема переработки железистых кварцитов

Литература

1. Гершенкоп, А.Ш., Олейник А.Г., Скороходов В.Ф. и др. Автоматизированная система синтеза оптимальных схем и циклов процессов обогащения /А.Ш. Гершенкоп, А.Г. Олейник, В.Ф. Скороходов и др. // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития. -Апатиты: КНЦ РАН, 1999. – С.101-107.
2. Гейн, К., Сарсон, Т. Структурный системный анализ: средства и методы /К. Гейн, Т. Сарсон. - М.: Эйтекс, 1992. -274 с.
3. Гершенкоп, А.Ш., Олейник, А.Г., Фридман, А.Я. 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.
4. Козин, В.З. Исследование руд на обогатимость: учебное пособие / В.З. Козин // Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург, УГГУ, 2008. – 306 с.
5. Барский, Л.А. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых /Л.А. Барский. - М.: Недра, 1978. - 476 с.
6. Барский, Л.А., Плаксин, И.Н. Критерии оптимизации разделительных процессов / Л.А. Барский, И.Н. Плаксин. – Наука: Москва, 1967. -116 с.
7. King, С. A model for the quantitative estimation of mineral liberation from mineralogical texture / С. King // Inter. Journ. of Miner. Process. -1979, №6. -P.207-208.
8. Опалев, А.С., Щербаков, А.В. Разработка и внедрение инновационной энергосберегающей технологии обогащения железистых кварцитов на АО «ОЛКОН» А.С. Опалев, А.В. Щербаков // Инновационные технологии обогащения минерального сырья: материалы научно - техн. конф. г. Екатеринбург, 2 -4 декабря, 2015. -С.20-27.

Сведения об авторах

Бирюков Валерий Валентинович – научный сотрудник,
e-mail: birukovval@rambler.ru
Valeri V. Birukov – researcher

Скороходов Владимир Федорович – д.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: skorohodov@goi.kolasc.net.ru
Vladimir F. Skorokhodov - Dr. Sci. (Tech.), a senior researcher

Никитин Роман Михайлович – научный сотрудник,
e-mail: remnik@yandex.ru
Roman M. Nikitin – researcher

Олейник Андрей Григорьевич – д.т.н., врио директора института,
e-mail: oleynik@iimm.ru
Andrey G. Oleynik – Dr. Sci. (Tech.), acting director

УДК 004.94

И.Н. Морозов^{1,2}, И.Е. Кириллов^{1,2}

¹ Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

² Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДРОБЛЕНИЯ РУДЫ РАЗЛИЧНОЙ КРЕПОСТИ ДРОБИЛКОЙ КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ ККД 1500/180

Аннотация

В статье рассмотрена возможность применения теории нечетких множеств при создании автоматизированной системы регулирования процесса дробления горно-обогатительных предприятий. Детально описана система регулирования, а также описана процедура разработки нечеткого регулятора. Предлагаемая система регулирования промоделирована в среде Matlab.

Ключевые слова:

имитационное моделирование, теория нечетких множеств, система автоматического регулирования.

I.N. Morozov, I.E. Kirillov

APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS FOR CREATING A SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION OF ORE CRUSHING VARIOUS FORTRESS BY CRUSHING CRUSHED CRUSHING ККД 1500/180

Abstract

The article considers the possibility of applying the theory of fuzzy sets when creating an automated system for regulating the process of crushing ore-dressing enterprises. The control system is described in detail, and the procedure for developing a fuzzy controller is also described. The proposed control system is modeled in the Matlab environment.

Keywords:

simulation, the theory of fuzzy sets, automatic control system.

Структурная схема объекта управления

Объектом управления является конусная дробилка крупного дробления ККД 1500/180. Конусная дробилка – это объект, работу которого характеризует производительность питателя, ширина разгрузочной щели, крупность и прочность исходного материала, а также мощность, потребляемая в процессе дробления, и гранулометрический состав дробленого продукта, характеризуемый среднезвешенным диаметром кусков.

Возможные отклонения ширины разгрузочной щели от заданного значения, как правило, своевременно устраняются обслуживающим персоналом при профилактических осмотрах. Кроме того, изменение ширины разгрузочной щели в процессе эксплуатации настолько мало, что его влиянием можно пренебречь.

Динамические свойства процесса дробления соответствуют инерционному звену первого порядка с запаздыванием [1]:

$$W_{dp}(p) = \frac{k_{dp} \cdot e^{-p r_{dp}}}{T_{dp} \cdot p + 1}, \quad (1)$$

где $k_{dp} = \frac{\Delta P \cdot Q_{\text{баз}}}{\Delta Q \cdot P_{\text{баз}}}$ - коэффициент усиления дробилки;

$T_{dp} = \frac{V_{NP} \cdot 3600}{q}$ - постоянная времени дробилки;

$r_{dp} = \frac{1}{v}$ - транспортное запаздывание;

q - производительность дробилки по дробленому продукту, т/ч;

P - мощность, потребляемая приводом дробилки;

Q - количество материала (руды) в дробилке.

Далее были определены значения передаточных функций асинхронного двигателя, преобразователя частоты, и произведена настройка внутреннего контура регулирования скорости двигателя [2].

Структурная схема системы регулирования производительности конусной дробилки представлена на рис. 1.

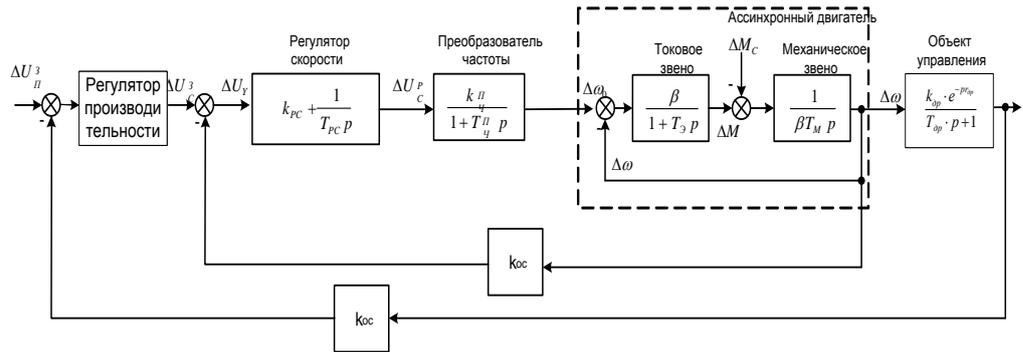


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования производительности конусной дробилки

На рис. 1 обозначено:

ПЧ – преобразователь частоты;

АД – асинхронный электродвигатель;

ОУ – объект управления;

ДП – датчик производительности;

$U_{\text{зад}}^Q(p)$ – напряжение задания по производительности;

$U_{\text{зад}}^\omega(p)$ – напряжение задания по скорости;

$U_{\text{ос}}^Q(p)$ – напряжение обратной связи по производительности.

Для определения возможности применения методов нечеткой логики в системе автоматического регулирования производительностью дробилки построим математические модели системы регулирования с разными типами регуляторов (ПИ- и нечеткий регуляторы).

Настройку пропорционально-интегрального регулятора производим по критерию технического оптимума [2].

Настройка нечеткого регулятора производится в несколько этапов.

1. Определение и формализация нечетких переменных

На вход нечеткого регулятора будем подавать два параметра – сигнал рассогласования производительности дробилки среднего дробления ε и скорость изменения этого сигнала (его производную) $\frac{d\varepsilon}{dt}$. На выходе будем иметь сигнал напряжения задания по скорости $U_{зад}(p)$.

Введем нечеткие переменные, определим их терм-множества и зададим функции принадлежности каждому терм-множеству нечеткой переменной [3].

Итак, имеем три нечеткие переменные:

- «рассогласование производительности»;
- «скорость изменения рассогласования»;
- «напряжение задания по скорости».

Формализация данных нечетких переменных представлена в табл. 1.

Таблица 1

Формализация нечетких переменных

Наименование нечеткой переменной	Область определения	Терм-множества	Область определения терм-множества
Рассогласование производительности, отн. ед.	[-1, 1]	ОБ = «Отрицательное большое»	[-1; -0,3]
		Н = «Нормальное»	[-0,6; 0,6]
		ПБ = «Положительное большое»	[0,3; 1]
Скорость изменения рассогласования, %	[0, 100]	Н = «Низкая»	[0; 40]
		С = «Средняя»	[30; 70]
		В = «Высокая»	[60; 100]
Напряжение задания по скорости, В	[0, 12]	U₁	[0; 4]
		U₂	[4; 8]
		U₃	[8; 12]

2. Задание вида функций принадлежности терм-множеств

Функции принадлежности терм-множеств входных нечетких переменных имеют вид:

для $l = 1$,

$$\mu_l(x) = \frac{1}{1 + \exp(c_l(x - d_{ll}))}, \quad (2)$$

для $l = 2, 3, 4$,

$$\mu_l(x) = \frac{1}{1 + \exp(c_l(x - d_{ll}))}, \quad \text{при } x \geq a_l \quad (3)$$

$$\mu_l(x) = \frac{1}{1 + \exp(-c_l(x - d_{ll}))}, \quad \text{при } x \leq a_l \quad (4)$$

где a_l – мода нечеткого числа ($\mu_l(a_l) = 1$);

c_l и d_{ll} – параметры функции принадлежности;

l – индекс терм-множества.

Параметры функций принадлежности входных нечётких переменных представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры функций принадлежности терм-множествам входных нечётких переменных

Нечёткая переменная	Терм-множество	l	Параметры функции принадлежности		
			a_l	c_l	d_{ll}
Рассогласование производительности, отн. ед.	ОБ	1	–	2	-2
	Н	2	-0,5	2	1
	ПБ	3	2,5	2	4
Скорость изменения рассогласования, %	Н	1	–	2	39
	С	2	44,5	2	50
	В	3	55,5	2	61

Функция принадлежности терм-множествам выходной нечёткой переменной имеет вид:

$$\mu_l(x) = \frac{1}{1 + \exp(c_l(x - d_{ll}))}, \quad (5)$$

где l – индекс терм-множества.

Начальные параметры функций принадлежности выходной лингвистической переменной представлены в табл. 3.

Таблица 3

Начальные параметры функций принадлежности терм-множествам выходной нечёткой переменной

Нечёткая переменная	Терм-множество	j	Параметры функции принадлежности	
			c_j	d_j
Напряжение задания по скорости, В	U_j	1	10	2
		2	10	6
		3	10	10

Пример графического представления функции принадлежности терм-множествам нечётких переменных показан на рис. 2 - 3.

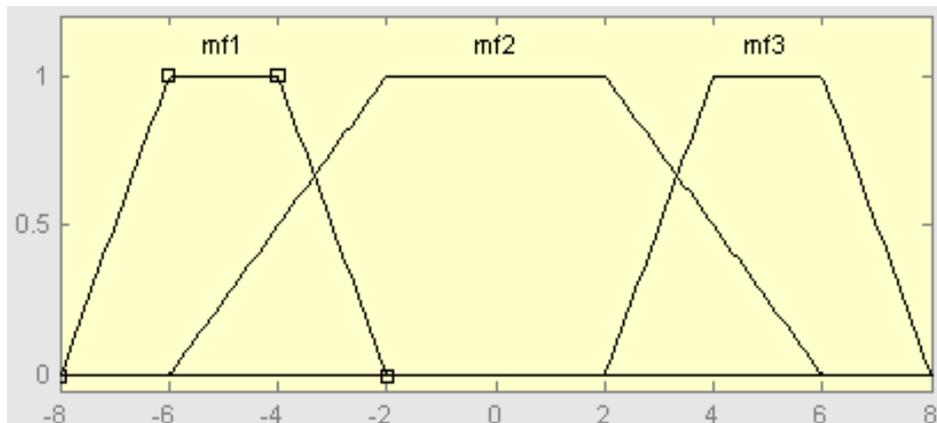


Рис. 2. Терм-множество входного параметра «Рассогласование производительности»

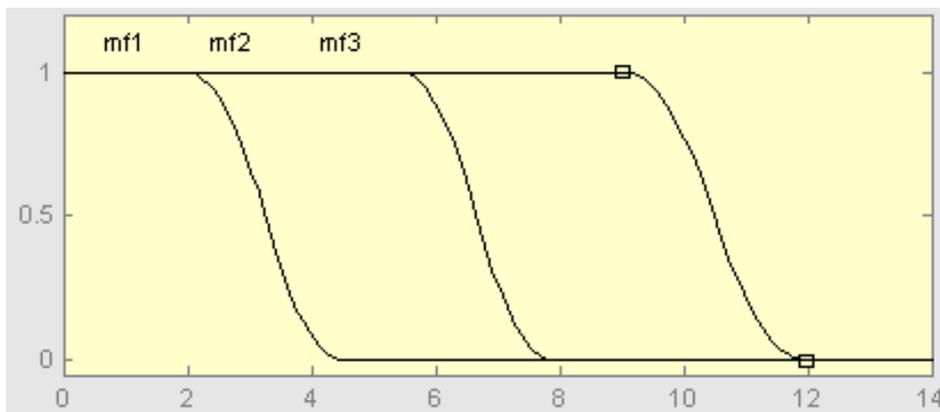


Рис. 3. Терм-множество выходного параметра «Напряжение задания по скорости»

3. Задание правил нечеткого логического вывода

Определение нечеткого значения коэффициента u_{ij} строится на основании набора правил R_{ij} логического вывода, хранящегося в базе знаний системы. Эти правила выбираются в соответствии с экспертной оценкой и имеют вид:

$$П_1: \text{ЕСЛИ } \varepsilon \text{ есть «ОБ» И } \frac{d\varepsilon}{dt} \text{ есть «Н» ТОГДА } u \text{ есть } U_1.$$

Все наборы правил логического вывода могут быть представлены в виде решающей таблицы (табл. 4.)

Решающая таблица нечеткого логического вывода

	Н	С	В
ОБ	U_1	U_2	U_3
Н	U_1	U_1	U_2
ПБ	U_3	U_2	U_3

Одновременно с определением правил происходил выбор минимума функций принадлежности α для каждого из восьми наборов. При выборе правил определялось некоторое число Chi , после чего оно в блоке дефазификации преобразовывалось вместе с α в уже конкретное число u_{1-9} , т.е. происходил процесс дефазифицирования.

Дефазифицирование осуществляется по методу центра тяжести по упрощенной формуле:

$$\Delta P = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i b_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (6)$$

где b – абсцисса среднего значения выходного термина;

α – степень принадлежности выходного термина;

i – количество действующих выходных термов.

Для фаззиидентификации были привлечены эксперты. В качестве экспертов привлекались, в первую очередь, опытные специалисты, все, кто непосредственно работает на пульте управления, контролирует технологический процесс. Экспертными методами определялись терм-множества и функции принадлежности всех лингвистических переменных, а также составлялись алгоритмы фаззи-управляющих устройств (экспертной базы знаний).

Компьютерное моделирование системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки в среде Matlab

Моделирование системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки проведем в среде Mat Lab 7.9.0 с использованием приложения Simulink. Моделировался режим пуска системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки.

Рассмотрим две модели с регуляторами производительности разных типов.

Математическая модель системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки с применением ПИ-регулятора представлена на рис. 4.

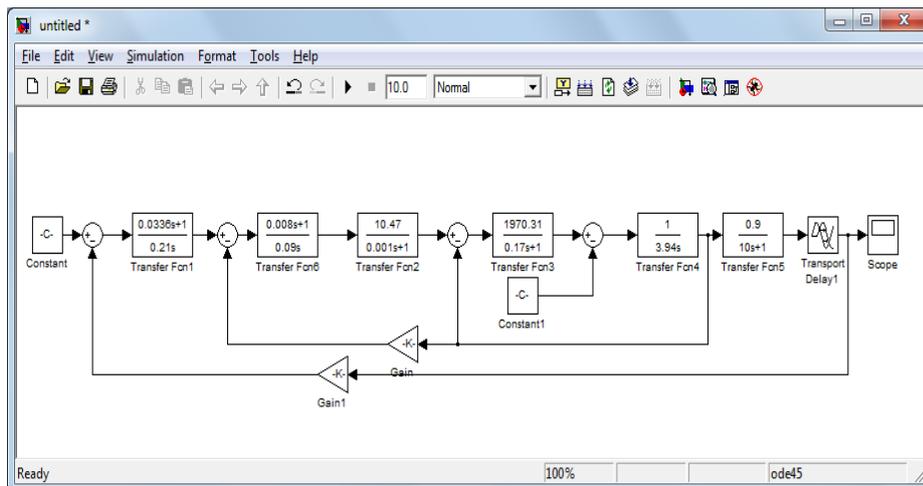


Рис. 4. Математическая модель системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки (ПИИ-регулятор)

Результаты моделирования (в относительных единицах) представлены на рис. 5.

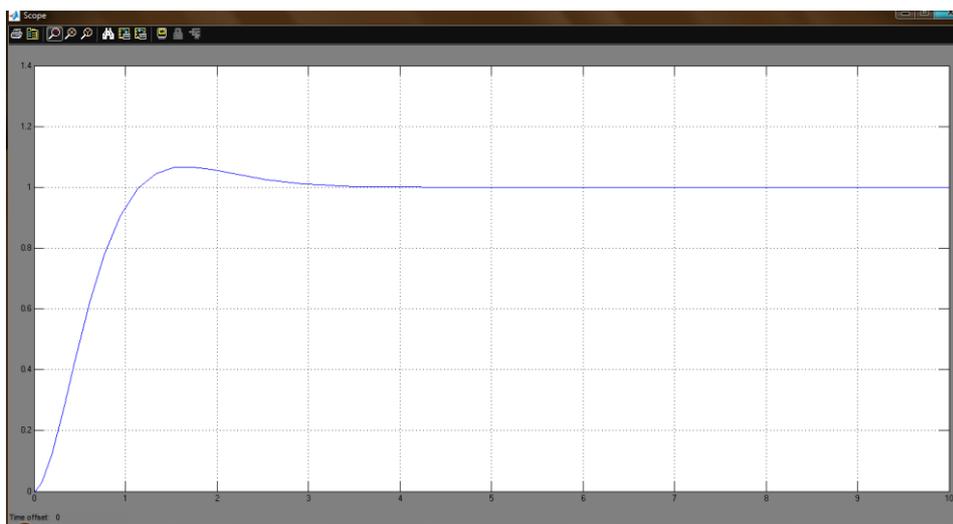


Рис. 5. График изменения производительности конусной дробилки при пуске (ПИИ-регулятор)

По полученным графикам определяем качественные показатели системы регулирования производительности конусной дробилки:

- перерегулирование при пуске:

$$\gamma_n^{III} = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,08 - 1}{1} \cdot 100\% = 8\% ;$$

- время переходного процесса при пуске: $t_n^{III} = 3.2 \text{ сек.}$

Статическая ошибка отсутствует.

Математическая модель системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки с применением нечёткого регулятора представлена на рис. 6

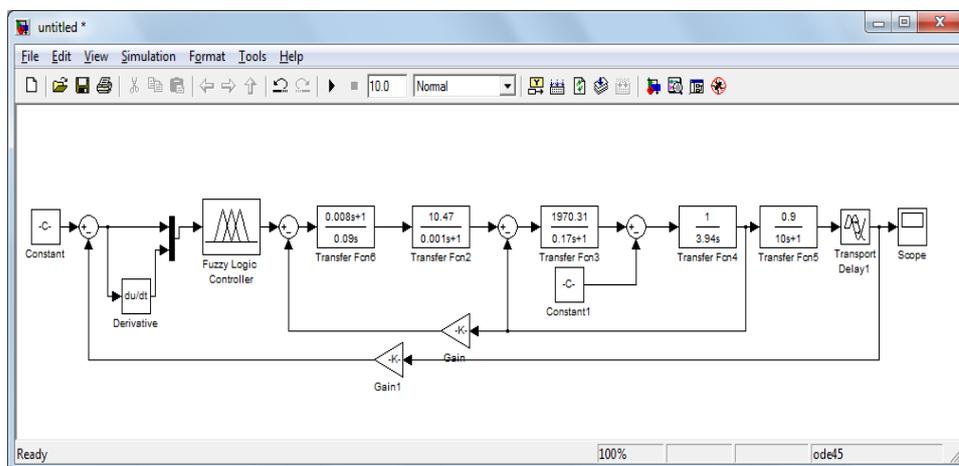


Рис. 6. Математическая модель системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки (нечёткий регулятор)

Результаты моделирования (в относительных единицах) представлены на рис. 7.

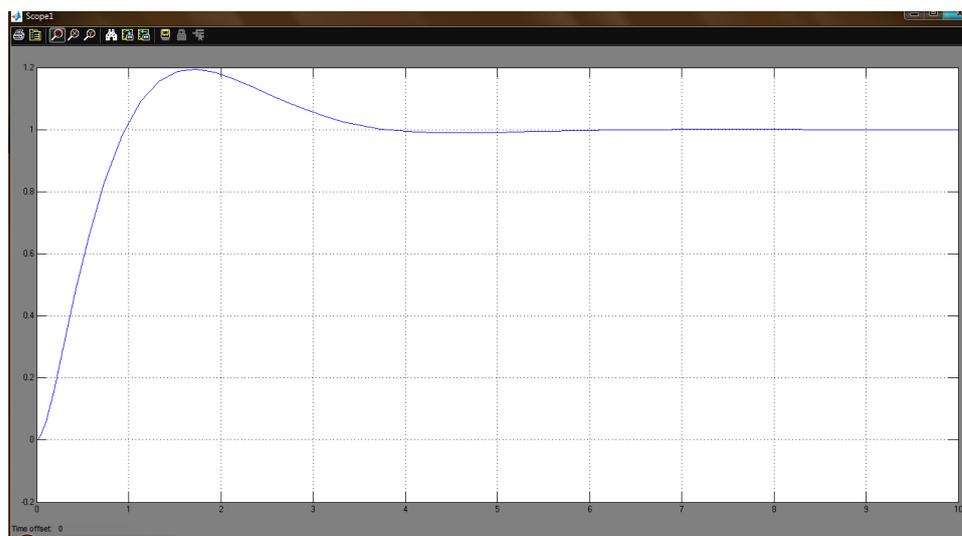


Рис. 7. График изменения производительности конусной дробилки при пуске (нечёткий регулятор)

По полученным графикам определяем качественные показатели системы регулирования производительности конусной дробилки:

- перерегулирование при пуске:

$$\gamma_n^{неч} = \frac{h_{\max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1,2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\% ;$$

- время переходного процесса при пуске: $t_n^{неч} = 3,8 \text{ сек} .$

Статическая ошибка отсутствует.

Заключение

В работе был предложен подход к созданию системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки с применением методов нечеткой логики. В ходе исследования были определены и рассчитаны передаточные функции всех звеньев системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки, а также произведена настройка нечёткого регулятора производительности.

Также было произведено компьютерное моделирование системы автоматического регулирования производительности конусной дробилки на ЭВМ в программной среде Matlab (приложении Simulink) и проанализированы полученные графики. При использовании нечёткого регулятора система работает дольше и перерегулирование больше, чем при использовании ПИ-регулятора. Такие результаты можно объяснить малым числом экспертных оценок при настройке нечеткого регулятора.

Литература

1. Олейников, В.А. Автоматическое управление технологическими процессами в обогатительной промышленности / В.А. Олейников, С.И. Тихонов. - М.: Недра, 1966. - 356 с.
2. Чиликин М.Г. Основы автоматизированного электропривода: учебное пособие для вузов / Чиликин М.Г. и др. -М.: «Энергия», 1974. -356 с.
3. Морозов, И.Н. Использование теории нечётких множеств при построении автоматизированной системы регулирования процесса измельчения горно-обогатительных предприятий / И.Н. Морозов, И.Е. Кириллов // Труды Кольского научного центра. Информационные технологии. -Вып. 7. -6/2016(40). -Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2016. - С.141-147.

Сведения об авторах

Морозов Иван Николаевич - к.т.н, младший научный сотрудник,

e-mail: moroz.84@mail.ru

Ivan N. Morozov - Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher

Кириллов Иван Евгеньевич - к.т.н, младший научный сотрудник,

e-mail: kirillovi@rambler.ru

Ivan E. Kirillov - Ph.D. (Tech. Sci.), junior researcher

УДК 004.832

Е.В. Балбукова¹, А.Г. Олейник²

¹ Апатитская теплоэлектроцентраль

² Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрены существующие подходы к решению задач мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса трубопроводного оборудования. Для решения подобных задач авторами предлагается формальная модель паропровода, которая будет основой для реализации алгоритмов автоматизированной системы мониторинга теплоэнергетического оборудования, планирования экономически эффективных графиков планового обслуживания и ремонта данного оборудования. Модель рассматривается на примере паропроводов Апатитской теплоэлектроцентрали. Приведено предлагаемое формальное описание структурной модели паропровода. Представлена структурная схема автоматизированной системы мониторинга паропроводов и перечень решаемых с ее помощью задач.

Ключевые слова:

теплоэнергетическое оборудование, паропровод, мониторинг, прогнозирование остаточного ресурса, автоматизированная система, формальная модель, поддержка принятия решения, структурная модель.

E.V. Balbukova, A.G. Oleynik

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM FOR AUTOMATED MONITORING AND FORECASTING OF RESIDUAL RESOURCE OF HEAT-POWER ENGINEERING EQUIPMENT

Abstract

The existing approaches to solving the problems of monitoring and forecasting the residual life of pipeline equipment are considered in the article. The formal model of the steam pipeline is proposed by the authors for solving similar problems. The model will be the basis for algorithms of an automated monitoring system for heat-power equipment and planning cost-effective schedules of scheduled maintenance and repair of this equipment. The model is considered on the example of the steam pipelines of the Apatitsk thermoelectric power station. A formal description for the structural model of the steam pipeline is given. The structural diagram of the automated monitoring system of steam pipelines and the list of problems solved with its help are presented.

Keywords:

heat-power equipment, steam pipeline, monitoring, forecasting of residual resource, automated system, formal model, decision support, structural model.

Введение

Около 50% всех российских тепловых электростанций созданы во второй половине XX века. Поэтому в настоящее время остро стоит проблема увеличения срока эксплуатации их оборудования. Выход из строя теплоэнергетического оборудования, как правило, приводит к значительным

экономическим потерям. Остановка производственных блоков из-за аварии может оказать существенное негативное влияние не только на работу предприятий, но и на жизнь большого количества людей – оставить население без отопления, горячего и холодного водоснабжения, электричества.

Старение парка технологического оборудования, происходящее в настоящее время, приводит к неминуемому увеличению частоты, продолжительности и объемов ремонтов. В результате управление ремонтами значительно осложняется выполнением операций анализа и прогнозирования технического состояния теплоэнергетического оборудования.

Сложность решения задач мониторинга состояния оборудования и планирования ремонтных работ состоит в том, что для реальных технологических объектов число контролируемых элементов оборудования, влияющих на возникновение и развитие аварийных ситуаций, весьма велико. На некоторых предприятиях оно составляет десятки тысяч единиц. Поэтому организовать оперативный контроль всех необходимых параметров достаточно сложно. Более того, некоторые методы диагностики требуют вывода оборудования из эксплуатации. При этом требуется обеспечивать максимальный межремонтный период производственных блоков предприятия с заданными материальными и временными затратами с учетом графиков планового ремонта оборудования.

Прогнозирование остаточного ресурса (разрешенного срока эксплуатации) стареющего оборудования является комплексной задачей, включающей технологический, экономический, технический, управленческий и организационный аспекты. Ее решение требует автоматизации процессов мониторинга в сочетании с разработкой методов и алгоритмов прогнозирования технического состояния контролируемого оборудования. Необходимо создание системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса теплоэнергетического оборудования с целью выявления аварийно-опасных элементов оборудования или участков трубопроводов, а также эффективного распределения экономических ресурсов на проведение ремонтно-профилактических работ.

Существующие системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса оборудования

Актуальность поиска решений задачи определения остаточного ресурса трубопроводов различных типов подтверждается наличием ряда публикаций, посвященных этому вопросу. В работе И.Г. Воеводина [1] рассматриваются трубопроводы, используемые в нефтегазовой и нефтеперерабатывающей промышленности. Автором предложены информационные средства поддержки принятия решений по планированию ремонтов линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ). Разработаны иерархические модели процесса принятия решений по оценке риска эксплуатации участка ЛЧ МГ. Проведен анализ основного принципа организации иерархических систем показателей оценки эксплуатационного риска. С учетом мнения экспертов для обоснования выбора значений показателей разработана информационная модель участка линейной части магистральных газопроводов и выполнен расчет числовых значений весовых коэффициентов критериев. Однако с позиции анализа относительного

риска эксплуатации данная модель в полной мере не может обеспечить безошибочные результаты по выводу в ремонт приоритетных объектов.

В.А. Федотовым и О.М. Гулиной [2] создана система поддержки принятия решений по управлению ресурсом оборудования атомных электростанций (АЭС), имеющая единую структурированную базу данных эксплуатационных характеристик и осуществляющая расчет интенсивности процесса эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ), а также определяющая остаточный ресурс элементов оборудования. Обеспечение безопасной и надежной работы оборудования АЭС базируется на методике принятия решений по управлению рисками в течение всего жизненного цикла. Вопросы работы трубопроводных систем энергоблоков второго теплового контура, эксплуатирующихся в условиях ЭКИ, существенно влияют на качество, стоимость и безопасность работы атомной станции в целом. В этой связи очень важным является наличие достоверной и долгосрочной практики наблюдений за состоянием критического оборудования, а также применение развитых математических методов прогнозирования, опирающихся на физические или эмпирические модели исследуемого процесса. В данной работе результатом является выявление и обобщение максимального числа объектов, факторов, характеристик и методик, участвующих в формировании единого информационного поля, описывающего жизненный цикл заданного типа оборудования трубопроводов АЭС. Такая система поддержки принятия решений позволяет рассчитывать допустимые толщины трубопроводов, прогнозировать скорости процесса ЭКИ и определять остаточный ресурс оборудования.

Проблема мониторинга надежности тепловых сетей также рассматривается В.Н. Мелькумовым, С.Н. Кузнецовым, К.А. Складчиковым, А.А. Горских [3, 4]. В указанных работах представлены системы мониторинга состояния надежности тепловых сетей, обеспечивающие анализ и выдачу информации для принятия решения. Использование разработанных систем мониторинга позволяет повысить обоснованность инженерных решений по ремонту тепловых сетей и их техническому обслуживанию. Представлена математическая модель описания состояния тепловых сетей, основанная на теории вероятностей. В зависимости от количества элементов тепловой сети вероятности состояний описываются различными дифференциальными уравнениями.

Вопросы повышения надежности и совершенствования организации ремонтов оборудования паротурбинных установок (ПТУ) за счет разработки и обоснования комплекса методов, реализуемых в условиях эксплуатации, рассматриваются в учебном пособии «Трубопроводы тепловых электрических станций» Б.Е. Мурманским, Т.Ф. Богатовым, Ю.М. Гофманом, В.И. Брезгининым [5, 6]. В работе представлены методики оценки повреждаемости оборудования, учитывающие дефекты, обнаруженные в процессе ремонта и приведшие к отказам, а также методика определения элементов, лимитирующих надежность ПТУ.

Система поддержки принятия решений управления ремонтными работами и автоматизации процесса технического обслуживания технологических трубопроводов на протяжении всего периода эксплуатации методом статистических испытаний рассмотрена в работе Глушкова С.В. [7]. С ее помощью можно:

- исследовать динамику снижения уровня надежности участка трубопроводной системы при развитии дефекта;
- оценивать живучесть рассматриваемого участка трубопровода с поверхностной трещиной;
- проводить варьирование параметров нагружения с целью обоснованного изменения рабочего процесса перекачки продукта через поврежденный участок трубопровода;
- определять допустимые размеры поверхностной трещины исходя из «назначенного» ресурса (т. е. проводить нормирование дефектов).

Недостатком метода статистических испытаний является то, что величина остаточного ресурса, полученная этим методом, по сути, представляет собой случайную величину, и последующие расчеты этого же трубопровода показывают, что остаточный ресурс лежит в интервале $9351 \div 9734$ часов. Поэтому при использовании метода статистических испытаний расчет необходимо проводить несколько раз для получения достоверной численной оценки остаточного ресурса трубопровода, что является важным фактором при планировании ремонтно-профилактических работ.

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день существует много методов мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса оборудования. Эти методы, в основном, направлены на выявление наиболее проблемных узлов контролируемого оборудования с целью предупреждения или устранения аварийных ситуаций на данном оборудовании. Такой подход, безусловно, является оправданным, т. к. позволяет одновременно решать задачу диагностики состояния оборудования и предупреждать возникновение аварий на основе целенаправленных профилактических ремонтов, что, в свою очередь, повышает надежность и безопасность эксплуатации этого оборудования. Основным недостатком существующих решений состоит в том, что отсутствуют универсальные системы выявления отдельных элементов оборудования или участков трубопровода, требующих проведения детальных обследований и распределения экономических ресурсов на проведение ремонтно-профилактических работ в условиях постоянно изменяющихся режимов работы предприятия.

В настоящей работе проблема прогнозирования остаточного ресурса стареющего энергетического оборудования электрических станций рассматривается на примере паропроводов Апатитской теплоэлектростанции (АТЭС). Целью работы является формирование формальной модели, обеспечивающей возможность разработки алгоритмов мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса паропроводов теплоэлектростанции. Разрабатываемая модель должна стать основой для реализации автоматизированной системы мониторинга состояния теплоэнергетического оборудования и планирования экономически эффективных графиков планового обслуживания и ремонта данного оборудования.

Текущее состояние организации мониторинга оборудования и планирования ремонтных работ на Апатитской теплоэлектростанции

На Апатитской ТЭС технологические паропроводы являются одними из самых ответственных конструкций, определяющих надежность функционирования предприятия. Они состоят более чем из 3 000 элементов, большинство из

которых отработало около 70% назначенного ресурса. На протяжении всего времени эксплуатации паропроводов выполняется большой объем работ по мониторингу их состояния, в число которых входит:

- формирование и ведение паспортно-технической документации (оформление записей, связанных с ремонтом и техническим освидетельствованием);
- определение остаточного ресурса трубопроводов, планирование сроков проведения технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности;
- ведение учета наработки основного и вспомогательного оборудования (в том числе, трубопроводов) поэлементно;
- формирование объемов и осуществление подготовки документации к проведению ремонтов (капитальных, средних и текущих ремонтов);
- разработка программ по контролю оборудования, осуществление мониторинга их выполнения;
- подбор необходимых для ремонта трубопроводов комплектующих.

Указанные работы выполняются вручную высококвалифицированным обслуживающим персоналом. Для безопасной эксплуатации паропроводов Апатитской ТЭЦ каждая из перечисленных задач сопровождается выполнением большого числа вспомогательных операций, связанных с поиском и обработкой паспортно-технической и нормативной документации. Единая система хранения данных проведенных ремонтных работ, прогнозирования остаточного ресурса паропроводов, планирования ремонтных работ отсутствует. Следствием этого является ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- ошибки и искажения информации, которые могут привести к аварийным ситуациям;
- многократное дублирование одних и тех же операций;
- низкая экономическая эффективность проведения ремонтов;
- низкая производительность обработки данных;
- необходимость привлечения большого количества специалистов;
- субъективность в принятии решений и сложность контроля их исполнения со стороны руководства.

Старение технологических паропроводов и оборудования в целом, происходящее в настоящее время, ведет к увеличению частоты, объемов и продолжительности ремонтов и, как следствие росту объемов операций анализа и определения технического состояния паропроводной системы.

На сегодняшний день безопасное функционирование паропроводов Апатитской теплоэлектроцентрали обеспечивается посредством выполнения большого объема работ обслуживания, включающие как простые и повторяющиеся операции поиска и обработки паспортно-технической документации, так и сложные операции анализа технического состояния.

На рис. 1 показан фрагмент массива данных об этом участке паропровода № 938 от котла № 9 до стены турбинного отделения, который состоит из 58 элементов (прямых участков, гибов, запорной арматуры и сварных стыков). Участок составляет лишь 1/50 часть от всей схемы станции. По каждому элементу паропровода ведется свой учет наработки времени, количество пусков, дата последнего контроля и ряд других параметров, учитывающихся при прогнозировании остаточного ресурса.

№№ п/п	Наименование элемента	Обозначение	Дата установки	Наработка	Число пусков	Дата последнего контроля	Наработка	Число пуско в	с 01.01.12 по 01.10.17	с 01.10.14 по 01.01.17
1	стык тип2	31	29.06.01.	35659	32	29.06.01.	35659	32	1705	7155
2	задвижка	9ПП-1	29.06.01.	35659	32	29.06.01.	35659	32	1705	7155
3	стык тип2	19	29.06.2001	35659	32	29.06.2001	35659	32	1705	7155
4	стык тип2	20А	01.12.1963	147212	223	22.02.2001	35659	32	1705	7155
5	прямой уч-к	19-20А	01.12.1963	147212	223	08.02.2001			1705	7155
6	фланцы	Ф-9	01.12.1963	147212	223	13.02.01.	35659	32	1705	7155
7	крепеж фланцев	Ф-9	01.12.1978	87084	135	25.04.01.	35659	32	1705	7155
8	стык тип2	19А	09.09.1983	72668	105	09.09.1983	72668	105	1705	7155
9	крипп-гиб	1	28.09.1983	72668	105	08.02.2001	35659	32	1705	7155
10	стык тип 1	20	09.09.1983	72668	105	09.09.1983	72668	105	1705	7155

Рис. 1. Наработка паропровода рег. № 938 котла № 9 по состоянию на 01.01.2017г.

Организация системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса паропроводов Апатитской теплоэлектростанции

Одним из путей решения вышеуказанных проблем является разработка комплексной модели для поддержки принятия решений в области управления ремонтными работами и создание на ее основе автоматизированного рабочего места (АРМ), позволяющего прогнозировать техническое состояние контролируемого оборудования сложной паропроводной системы Апатитской ТЭЦ в режиме реального времени.

Для реализации автоматического учета наработки элементов паропровода и вывода основных технологических параметров в режиме реального времени предлагается использовать сенсорный панельный контроллер (СПК – 207) производства ООО «Производственное объединение ОВЕН». Для измерения параметров давления и температуры используются датчики давления 415 производства ООО «ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК» и температурные датчики. Отображение параметров осуществляется измерителем-регулятором ТРМ 138 со встроенным сетевым интерфейсом RS - 485 производства ООО «Производственное объединение ОВЕН», что позволяет осуществлять обмен данными с СПК - 207. Структурная схема контрольно-измерительной системы изображена на рис. 2.

На СПК подаются сигналы датчиков с нескольких участков (в зависимости от производительности контроллера). Все контроллеры системы автоматического учета наработки соединяются в общую сеть с АРМ. Автоматизированное рабочее место основано на SCADA системе Simp Light. На основе сбора данных со всех контроллеров АРМ обеспечивает отображение полной мнемосхемы паропроводов с их рабочими параметрами и отображение наработки каждого элемента. Так же осуществляется сбор всех данных в единую базу с возможностью ее последующей архивации.

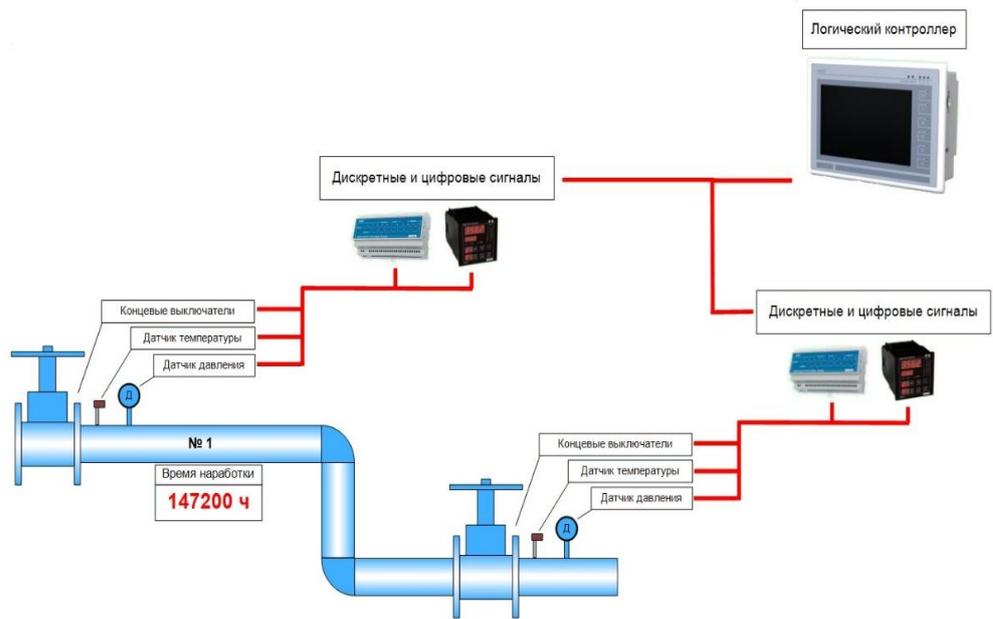


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического учета наработки элементов паропровода с отображением рабочих параметров в режиме реального времени

SCADA система, учитывая наработку элементов, обеспечивает вывод информационных сообщений на экран АРМ для оператора о приближающемся ремонте (текущем, среднем капитальном), экспертизе промышленной безопасности и др. По запросу оператора данные планирования ремонтных работ будут выводиться на экран в виде таблицы.

С помощью автоматизированной системы мониторинга планируется решить следующие задачи:

- прогнозирование остаточного ресурса;
- ведение паспортной-технической информации по паропроводу и подбор допустимых технологических и конструктивных параметров материала в соответствии с нормативными требованиями;
- построение изометрических схем заданной конфигурации;
- хранение результатов проведенного контроля металла, экспертиз промышленной безопасности, продления назначенного ресурса элементов, проведенных ремонтных работ;
- ведение эксплуатационного журнала работ технического обслуживания;
- поддержка принятия решений по управлению ремонтными работами при учете экспертных замечаний и результатов проведенного контроля металла;
- формирование экономически эффективных графиков проведения ремонтов.

В модели управления ремонтами по результатам прогнозирования остаточного ресурса определяется потребность в замене изношенных участков паропровода. Формирование списка новых элементов, которые можно установить взамен изношенных и выбор из него наилучшего варианта замены может быть осуществлен с помощью специального алгоритма. При этом алгоритм должен обеспечивать оценку экономической целесообразности проведения ремонтных работ.

Структурная схема системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса технологических паропроводов приведена на рис. 3.

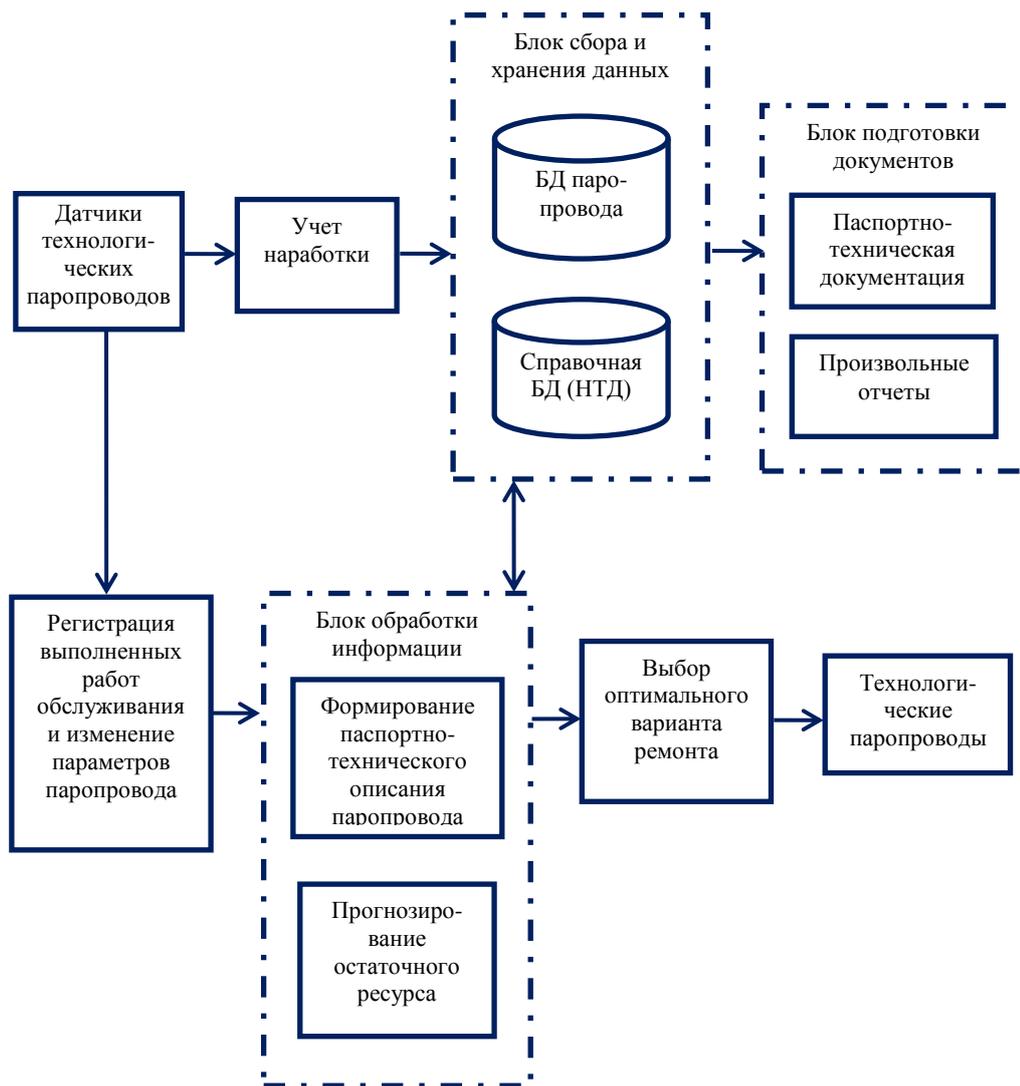


Рис. 3. Структурная схема системы мониторинга и прогнозирования состояния паропроводов

Блок обработки информации предназначен для формирования, дополнения и корректировки модели паропроводной системы предприятия в соответствии с изменениями её технического состояния. Блоком поддерживаются следующие функции: ввод паспортной информации по паропроводу, построение изометрических схем произвольной конфигурации, прогнозирование остаточного ресурса, генерация технологической карты ремонтных работ, ведение эксплуатационного журнала работ технического обслуживания. Оперативный режим действует при выборе пользователем основных параметров новых элементов из нормативной базы данных и заключается в выделении цветом таких значений параметров, которые соответствуют нормативным требованиям.

Блок сбора и хранения данных состоит из базы данных по паропроводам предприятия и нормативной базы данных элементов паропроводов. База данных по паропроводам содержит паспортно-техническую и текущую информацию, формируемую, дополняемую и корректируемую в блоке обработки информации, включая хранение результатов проведенных экспертиз промышленной безопасности.

Выбор оптимального варианта ремонта формируется по результатам прогнозирования остаточного ресурса. При этом определяются элементы или участки паропровода, которые необходимо включить в плановый ремонт в зависимости от экономической целесообразности и надежности предприятия.

Подсистема подготовки документации формирует отчеты и бланки в виде текстовых документов на основе информации, находящейся в базе данных. Дополнительно в подсистеме производится вывод запрашиваемой пользователем информации посредством выбора соответствующих параметров паропровода, указания порядка их сортировки и установки требуемых ограничений.

Формализация описания паропроводов

При построении модели паропроводную систему планируется рассматривать как совокупность соединяющихся между собой паропроводов, принадлежащих к различным производственным блокам предприятия. К основным элементам паропроводов, определяющим их ресурс, относятся: прямые трубы; гнутые, штамповые и штампосварные отводы (колена); кованые и штампованные тройники и переходы; литые детали (колена, тройники и др.); сварные соединения. Отдельный паропровод рассматривается, как топологический объект, состоящий из соединенных между собой элементов, с определенным типоразмером трубопровода, номинальным параметром пара и маркой стали. Набор параметров паропровода в общем случае может быть представлен следующим образом:

$$\langle M_{ст}, D_n, S, R, T, p, \sigma, \rangle \quad (1)$$

где $M_{ст}$ – марка стали, D_n – наружный диаметр, S – толщина стенок, R – радиус, T – температура, p – давление, σ – количество часов наработки.

Характеристики, представленные в выражении 1, относятся к каждому элементу паропровода и могут меняться в процессе эксплуатации оборудования.

При формальном описании участка его элементы объединяются в соответствующие группы:

$$\begin{aligned} & \{L, A, Z \dots C\}, \\ & L = \{l_1 \dots l_n\} \\ & A = \{a_1 \dots a_k\} \\ & Z = \{z_1 \dots z_m\} \\ & \dots\dots\dots \\ & C = \{c_1 \dots c_r\}, \end{aligned}$$

где L – прямой участок трубы, A – гнутые трубы, Z – запорная арматура, C – сварное соединение и т.д., N - число прямых труб, K – число гнутых труб, M- число запорной арматуры, R – число сварных соединений.

Структурная модель участка паропровода - это кортеж вида:

$$\langle l_1, a_1, z_1, c_1 \dots l_2, a_2, z_2, c_2 \dots \rangle,$$

где порядок элементов кортежа соответствует порядку расположения этих элементов в реальном паропроводе.

Остаточный ресурс участка паропровода представляет собой функцию, зависящую от минимального значения оставшегося назначенного ресурса элемента, описывается следующим выражением:

$$\tau_{\text{тв}} = f(\tau_{x_i}) = \min(\tau_{x_i}), i = 1, \dots, \mathcal{L}(N, K, M, R),$$

где $\tau_{\text{тв}}$ – количество часов наработки трубопровода, x_i – элемент участка трубопровода, τ_{x_i} – количество часов наработки элемента трубопровода.

При замене элемента $x_i | \tau_{x_i} = \min(\tau_{x_i})$ на новый элемент с большим сроком наработки осуществляется определение другого элемента паропровода, у которого значения остаточного ресурса стало минимальным. Это значение присваивается и участку паропровода.

Техническое состояние паропроводной системы изменяется в течение жизненного цикла оборудования. Это связано как с возможными изменениями топологии и параметров каждого паропровода, так и смены технологических режимов работы, реконструкции или ремонта, процесса старения. Использование математической модели, описывающей как структуру паропровода, так и параметры его элементов, позволит создать алгоритмы оперативной корректировки оценок текущего состояния паропроводной системы станции, а также более эффективно планировать профилактические и ремонтные мероприятия на основе прогнозирования состояния паропроводной системы.

Заключение

Обоснованное планирование ремонтных работ и рациональный выбор необходимых для их выполнения элементов оборудования возможны на основе использования проблемно-ориентированных моделей для проведения вычислительного эксперимента. Применение математических методов и информационных технологий поддержки принятия решения в системах автомати-

зированной мониторинга и прогнозирования состояния теплоэнергетического оборудования позволит:

– прогнозировать техническое состояние сложной паропроводной системы станции в реальном режиме времени и формировать варианты замены изношенных элементов;

– более эффективно планировать и управлять ремонтными работами элементов паропроводов, проводимыми в период запланированных остановок производственного оборудования, что позволит в значительной мере уменьшить финансовые затраты на ремонты при обеспечении максимального эксплуатационного периода.

Реализация в рамках автоматизированной системы мониторинга состояния теплоэнергетического оборудования средств поддержки когнитивного человеко-машинного интерфейса предоставит эксперту и руководителю возможность легко обрабатывать большие объемы информации в режиме реального времени. Наряду с объективными оценками и точными математическими методами пользователь сможет использовать свои субъективные, присущие только ему, методы анализа ситуаций, генерации и оценки возможных вариантов принимаемых решений. Данная система откроет дополнительные возможности для повышения ресурса энергооборудования и безопасности предприятия.

Литература

1. Воеводин, И.Г. Ранжирование участков линейной части магистральных газопроводов для вывода в ремонт / И.Г. Воеводин, В.Н. Химич, Ю.А. Арбузов // Газовая промышленность. - 2010. – № 5. – С.51–65.
2. Федотов, А.В. Разработка системы поддержки принятия решений по управлению ресурсом оборудования АЭС в условиях эрозионно-коррозионного износа / А.В. Федотов, О.М. Гулина, // Теоретический прикладной научно-технический журнал «Программная инженерия». - 2014.– №8. – С.9-16.
3. Горских, А.А. Прогнозирование развития газораспределительных сетей / А.А. Горских, Р.Н. Кузнецов, И.С. Кузнецов // Инженерные системы и сооружения. - 2009. -№1. – С.171 -175.
4. Горских, А.А. Мониторинг надежности тепловых сетей/ А.А. Горских, К.А. Скляр, С.Н. Кузнецов, В.Н. Мелькумов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. - 2010. -№1(17). – С.52-58.
5. Мурманский, Б.Е. Разработка и реализация концепции комплексной системы повышения надежности состояния паротурбинной установки / Б.Е. Мурманский // Надежность и безопасность энергетики. - 2015. -№1(28). - С.44-48.
6. Ремонт паровых турбин: учебное пособие для вузов / В.Н. Родин и др.; под общ. ред. Ю.М. Бродова и В.Н. Родина. - Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. - 296 с.
7. Глушков, С.В. Программная реализация оценки живучести продуктопровода при наличии поверхностного дефекта /С.В. Глушков// Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2011. – Т.18. - Вып.2. - 263 с.

8. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности /Э.А. Трахтенгерц, А.Ф. Андреев, Ю.П. Степин. – М.: СИНТЕГ, 2005. - 592 с., илл. (Серия "Системы и проблемы управления").
9. Автоматизация экспертизы промышленной безопасности технологических трубопроводов /Е.Р. Мошев и др. // Проблемы и перспективы развития химической промышленности на западном Урале: сб. науч. тр. - Пермь: ПГТУ, 2003. - Т.2. - С.37-45.
10. Программное обеспечение в НИИК. – Режим доступа: <http://niik.ru/about/instrumenty-proektirovaniya/>
11. Информационная поддержка процесса и инфраструктуры производства. – Режим доступа: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=24525&iid=1132>
12. Серия программных комплексов Model Studio CS. – Режим доступа: <http://www.mscad.ru>
13. Международная ассоциация специалистов по сертификации. – Режим доступа: <http://www.iace.pro/services/consistent-software-distribution/>
14. Бронуицкий, С.С. Компьютерные технологии разработки и внедрения интегрированной системы информатизации сортировочных станций: учебное пособие /С.С. Бронуицкий, А.Е. Федорчук. - РГУПС. Ростов на Дону, 2007. – 144 с.
15. Лиля, В.Б. Нейросетевая система прогнозирования остаточного ресурса силовых трансформаторов тяговых подстанций ОАО «РЖД» / В.Б. Лиля, А.В. Костюков // Научно-технический журнал «Вестник РГУПС». – Ростов-на-Дону. - 2013. -№3. – С.137-141.
16. Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014г. №116 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности / «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». -2014. -113 с.
17. Наумов, В.Н. Автоматика и автоматизация производственных процессов в легкой промышленности: учебник / В.Н. Наумов, Пятав Л.И. – Москва, 1981. -255 с.
18. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие /А.С. Клюев, А.С. Глазов. Б.В. Дубровский. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
19. Шандров, Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студентов высших учебных заведений Б.В. Шандров. –Москва: Издательский центр «Академия», 2007. – 256 с.

Сведения об авторах

Балбукова Елена Викторовна – специалист отдела по работе с персоналом,

e-mail: helenarezets@mail.ru

Elena V. Balbukova - HR specialist

Олейник Андрей Григорьевич - д.т.н., врио директора института,

e-mail: oleynik@iimm.ru

Andrey G. Oleynik - Dr. Sci. (Tech.), acting director

УДК 004.5:004.946

В.В. Диковицкий, М.М. Панфилов, А.А. Менькова

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УДАЛЕННОГО ПРИСУТСТВИЯ*

Аннотация

В статье представлен программно-аппаратный комплекс удаленного присутствия на основе технологий дополненной реальности. Рассмотрены технические требования к аппаратной части устройства, проведен анализ существующих решений. Проведено сравнение алгоритмов для фильтрации данных с сенсоров.

Ключевые слова:

виртуальная реальность, стереоизображение, конвергенция.

V.V. Dikovitskiy, M.M. Panfilov, A.A. Menkova

PROGRAM-HARDWARE COMPLEX OF REMOTE PRESENCE

Abstract

The article describes the software-hardware complex of remote presence based on the technologies of augmented reality. The technical requirements to the hardware of the device are considered, the analysis of existing solutions is made. Comparison of algorithms for filtering data from sensors is performed.

Keywords:

virtual reality, stereo image, convergence.

Введение

В настоящее время технологии виртуальной и дополненной реальности, дистанционного присутствия получают все более широкое распространение. Существует множество аппаратных и программных средств, которые позволяют человеку наблюдать объекты, находящиеся от него на расстоянии. Среди данных средств крайне мало разработок, реализующих передачу стереовидеоряда для достижения эффекта удаленного присутствия.

Целью исследования является создание программно-аппаратного комплекса удаленного присутствия, которое обеспечит трансляцию стереовидеоряда с возможностью изменения направления камер и движение платформы.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности современных производственных, обучающих и информационных систем за счет использования технологий виртуальной и дополненной реальности. Программно-аппаратные комплексы с использованием данных технологий могут использоваться в тренажерах, медицинских системах, обучении, производстве и других областях.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям), конкурс Умник 15-10, договор 8041ГУ/2015.

Требования к аппаратной части устройства

В процессе работы были выявлены следующие требования, которым должен удовлетворять программно-аппаратный комплекс:

- Связь для удаленного взаимодействия устройства и оператора, передачи двойного видеоряда 1280x720px30fps и управляющих сигналов на сервоприводы.

- Устройство (миникомпьютер, контроллер), которое будет обеспечивать обработку и передачу видеоряда и принимать сигналы для приводов.

- Характеристики камер (угол обзора 100-130°, качество видео не менее 720px30fps, потребляемое питание, небольшие размеры и вес); сервоприводов (крутящий момент около 5 кг*см, вольтаж около 5В, небольшие размеры); устройство, способное воспроизводить двойной видеоряд; устройство, с помощью которого стереовидеоряд воспринимается человеком (виртуальный шлем, разрешение экрана не меньше 1280x720, частота около 75 Гц).

- Программное обеспечение, которое обеспечит удобство и быстроту использования комплекса.

- Мобильность устройства, предающего видеоряд.

Для управления устройством было решено использовать одноплатный компьютер Raspberry Pi 3, связанный с программируемой платой Arduino Uno. (рис. 1). Данное решение обусловлено необходимостью переноса функции управления сервоприводами с одноплатного компьютера во избежание задержек в его работе. Отдельная программируемая плата посылает управляющие сигналы на приводы.



Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса

Обработанный видеосигнал пересылается по модулям связи на компьютер оператора и может быть воспроизведен в очках или шлеме виртуальной реальности. С компьютера оператора передаются управляющие сигналы на программируемую плату, которая передает их на сервоприводы.

Для определения аппаратных средств, наиболее соответствующих заявленным требованиям, был проведен сравнительный анализ. Результаты анализа представлены в табл. 1 – 4.

Таблица 1

Сравнительная таблица камер

Камеры	Mobius Cam	Xiaomi Yi	Blackbird 3D FPS	Осо
Вес, г	44,7	72 (с аккумуля.)	25	190
Размеры, мм	69x35x18	60,4x42x21,2	59x28x27	93,5x88,7x40,9
Угол обзора, градусы	134	155	90	120 (диаг.)
Качество видео	1080p-30fps 720p-30fps 720p-60fps	1080Px60fps	1280x720-30FPS	1280x720-30FPS
Wifi	нет	нет	нет	да

Таблица 2

Сравнительная таблица одноплатных компьютеров

Одноплатные компьютеры	Raspberry Pi 3 model B	A20-OLinuXino-LIME2-4GB	Intel Edison Kit for Arduino
Процессор	Broadcom BCM2836 четырехъядерный ARM Cortex-A53 x64	Allwinner A20 dual core Cortex-A7	22нм Intel SoC включающий два ядра, двойной поточности Intel Atom CPU и 32-Бит Intel Quark MCU
Тактовая частота	1,2ГГц	1ГГц	500МГц и 100МГц
Оперативная память	1GB LPDDR2	1ГБ DDR3	1 GB LPDDR3
Флеш-память	нет	4GB NAND FLASH	4 GB eMMC
USB	4	2	нет
Питание	Micro USB socket 5В, 2А	5В	3.3 – 4.5В
ОС	linux, windows 10 IoT	linux, android	linux, windows embedded

Таблица 3

Сравнительная таблица сервоприводов

Сервоприводы	FeeTech FS5106B	FeeTech FS90	Groove - Servo ES08A
Диапазон вращения, градусы	180	180	180
Напряжение питания, В	4,8–6	4,8–6	4,8–6
Крутящий момент	5 кг·см при 4,8 В; 6 кг·см при 6 В	1,3 кг·см при 4,8 В	4.8В- 1.5КГС/см, при 6В- 1.8КГС/см
Скорость вращения	60° за 0,18 сек при 4,8 В; 60° за 0,16 сек при 6 В	60° за 0,12 сек при 4,8 В	при 4.8В- 0.12сек/60°, при 6В- 0.10сек/60°
Внутренний интерфейс	аналоговый	аналоговый	аналоговый
Материал шестерней	нейлон	нейлон	нейлон
Материал корпуса	пластик	пластик	пластик
Габариты, мм	40,8 × 20,1 × 38	23,2×12,5×22	23 x 11.5 x 24
Вес, г	40	9	8,5

Таблица 4

Сравнительная таблица контроллеров

Контроллеры	Arduino Uno R3	Iskra JS
Микроконтроллер	Atmega328	STM32F405RG
Рабочее напряжение, В	5	3,3
Напряжение питания (рекомендуемое), В	7 - 12	7–15 В или 3,6–12 В
Цифровые входы/выходы	14	2
Аналоговые входы	6	12
Максимальный ток одного вывода, мА	40	25
Максимальный выходной ток вывода, В и мА	3,3 и 50	240
Flash-память, КБ	32	1024
Тактовая частота, МГц	16	168

Для реализации были выбраны камеры MobiusCam, одноплатный компьютер Raspberry Pi 3, сервоприводы FeeTech FS90 и плата Arduino Uno R3.

Особенности восприятия визуальной информации

Существующие методы демонстрации стереоизображений, такие как анаглифный, поляризационный и затворный не допускают просмотр видеоряда в реальном времени с возможностью фокусировки на нескольких планах снимаемой сцены. В данном исследовании реализуется метод представления трехмерного изображения, при котором пользователю будет доступна возможность изменения объекта фокусировки (точки пересечения зрительных осей) путем автоматизированного изменения угла конвергенции. Результатом применения метода является представление трехмерного изображения с возможностью изменения объекта фокусировки.

Существует два способа демонстрации трехмерных изображений. Первый из них заключается в программном смещении заранее снятых параллельно стереопар в транслирующем устройстве, например, в очках виртуальной реальности. Второй способ заключается в изменении угла конвергенции за счет изменения положения в пространстве снимающего устройства (сведение-разведение видеокамер, передающих видеоряд) в зависимости от расстояния до объекта фокусировки.

Восприятие пространства является необходимой способностью человека. Без этой способности безопасное взаимодействие с окружающим миром станет затруднительным. Человек воспринимает величину и форму предметов, их объемность, глубину пространства. Оценка величины предмета напрямую зависит от расстояния до него [5]. Если это расстояние оценить трудно, то велика вероятность ошибки. Оценить расстояние до предмета и глубину пространства можно как с помощью монокулярного зрения (один глаз), так и с помощью бинокулярного (два глаза). Аккомодация хрусталика глаза играет большую роль при оценке с помощью монокулярного зрения. Согласно книге Д. Хьюбелла «Глаз, мозг, зрение» аккомодация – это сокращение цилиарной мышцы внутри глаза. Оно вызывает округление хрусталика при рассматривании близких предметов. За счет этого рассматриваемый предмет становится четче. Для того, чтобы воспринимать глубину пространства с помощью бинокулярного зрения, существует следующий механизм. Изображение рассматриваемого предмета с точки зрения каждого глаза попадает на сетчатку соответствующего глаза в так называемых корреспондирующих точках. Для того, чтобы изображения попали именно в эти точки, существует конвергенция и дивергенция. Конвергенция – это сведение зрительных осей, глазные яблоки поворачиваются навстречу друг другу (рис. 2). Дивергенция является обратным процессом, зрительные оси разводятся в стороны [1].

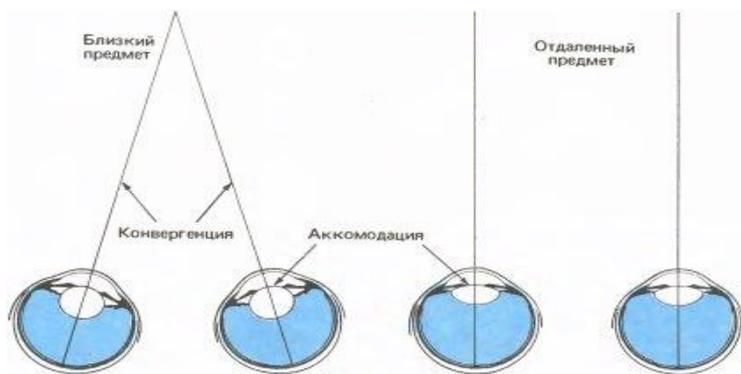


Рис. 2. Конвергенция, дивергенция и аккомодация

Создание объемных изображений

Как отмечалось в [6], большинство методов создания объемных изображений основаны на принципе раздельного просмотра – каждому глазу демонстрируется свое изображение. Подобная пара изображений называется стереопарой, а ее создание – стереосъемкой. Чтобы получить стереопару нужно снять объект с разных точек. Существуют методы, в которых используется многоракурсная съемка. Задача всех методов стереосъемки – получить пару или серию изображений, на которых наблюдается параллакс. Параллакс – это смещение рассматриваемого объекта, вызванное изменением точки наблюдения. Количество фотографий зависит от того, как в дальнейшем будет проводиться обработка изображений и какой из методов используется для демонстрации стереоизображения. Чаще всего используется две точки съемки, по положению имитирующие расположение глаз человека. Расстояние между точками съемки левого и правого кадра называется базисом стереосъемки или просто стереобазисом. Величина стереобазиса напрямую зависит от расстояния до нужного объекта сцены. Если это расстояние находится в диапазоне от трех до пяти метров, то можно за величину стереобазиса взять расстояние между человеческими глазами, а именно 65-70 мм. Если же необходимо показать объем более дальнего объекта, то, соответственно, необходимо увеличить базис съемки. Примерно базис съемки можно рассчитать по данной формуле:

$$B = 0.03 * D, \quad (1)$$

где B – базис стереосъемки;

D – расстояние до ближайшего объекта сцены.

Коэффициент 0,03 продиктован углом схождения зрительных осей 1-2°, благодаря которому обеспечиваются наиболее оптимальные условия для наблюдения стереоэффекта [3].

Существует два способа, которыми можно выполнить стереосъемку: направленный и параллельный. При направленном методе съемки камеры расположены под определенным углом друг к другу, направлены на главный объект сцены, таким образом, моделируют конвергенцию глаз человека. Это позволяет получить готовую стереопару практически без дополнительной обработки изображений. Но существует ряд проблем в применении данного метода. Во-первых, технически сложной задачей является точная установка

камер. Во-вторых, объекты на заднем плане будут сильно смещены относительно друг друга, что помешает нормальному восприятию этих объектов и вызовет дискомфорт. В-третьих, самая нежелательная проблема, которая может возникнуть, это искажения объектов. Например, квадрат в перспективе изображается в виде трапеции. При съемке направленным методом на снимке с одной камеры большей стороной этой видимой трапеции окажется одна сторона, тогда как на другом снимке ею окажется противоположная сторона фигуры. Также неизбежно возникновение вертикального параллакса. Все перечисленное может вызвать неприятные ощущения при просмотре.

При использовании параллельного метода камеры располагаются параллельно друг другу. Техническая реализация данного метода не является сложной задачей. Но параллельный метод также обладает рядом недостатков. Во-первых, при просмотре стереопары следует выполнить компенсационный сдвиг изображений так, чтобы главный объект сцены не двоился. Данный объект будет казаться удаленным на расстоянии носителя. Тогда объекты, которые находились на сцене позади и впереди него, на изображении будут казаться углубленными в изображение и выступающими соответственно относительно главного объекта. Но смещение изображений займет дополнительное время. Также, после выполнения сдвига, часть изображения по горизонтали теряется, объемной будет только та часть, которая попала в зону пересечения изображений стереопары. Если не сдвигать изображения, тогда все объекты будут казаться выступающими относительно дальнего фона картинки, который не будет двоиться. Чаще всего большинство людей выбирают параллельный метод без компенсационного сдвига [6].

Фильтрация сигналов с датчиков

Для организации работы устройства удаленного присутствия с использованием очков виртуальной реальности на основе мобильных устройств необходимо осуществить точную передачу фактических значений углов поворота мобильного устройства. Акселерометр и магнитометр подвержены влиянию шумов. Для корректной работы устройства эти шумы необходимо отфильтровать. Для этого реализованы два распространенных фильтра и проведено сравнение результатов их применения.

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс удаленного присутствия работает следующим образом: с очков виртуальной реальности, реализованных на основе мобильного устройства, передаются значения углов поворота по трем осям на контроллер, который преобразует их в управляющие сигналы для трех сервоприводов. Далее приводы поворачивают удаленное устройство на тот же угол.

Для получения угла поворота используются акселерометр и магнитометр. Оба этих датчика сильно подвержены влиянию шумов, что приводит к невозможности точного определения углов поворота. Для снижения уровня шумов сигналы сенсоров были подвержены программной фильтрации данных двумя наиболее распространенными фильтрами – фильтром нижних частот (Low pass filter) [11] и фильтром Калмана [7, 8]. Фильтр нижних частот – это фильтр, пропускающий частотный спектр сигнала ниже некоторой частоты и

подавляющий частоты выше заданной частоты. Простейшая реализация данного фильтра производится по следующей формуле:

$$Y_i = Y_{i-1} + \alpha * (X_i - Y_{i-1}), \quad (2)$$

где Y_i – отфильтрованное значение в данный момент времени;

Y_{i-1} – отфильтрованное значение в предыдущий момент;

X_i – исходное значение в данный момент;

α – коэффициент фильтрации, который принимает значения от 0 до 1.

Фильтр Калмана – это рекурсивный фильтр, использующий динамическую модель системы (например, физический закон движения), известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. В данном случае состояние сенсора представлено одной переменной, таким образом, формулы в скалярном виде выглядят следующим образом:

Предсказание значения:

$$\hat{x}_k^- = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}, \quad (3)$$

$$P_k^- = FP_{k-1}F + Q. \quad (4)$$

Корректировка:

$$K_k = \frac{P_k^- H}{HP_k^- H + R}, \quad (5)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-), \quad (6)$$

$$P_k = (1 - K_k H)P_k^-. \quad (7)$$

где \hat{x}_k^- – предсказание состояния системы в текущий момент времени;

F – динамическая модель системы, переменная, описывающая динамику системы (в данном случае равно 1, то есть указываем, что предсказываемое значение будет равно предыдущему состоянию);

\hat{x}_{k-1} – состояние системы в прошлый момент времени;

B – переменная, определяющая применение управляющего воздействия.

Так как в данной модели нет информации об управляющем воздействии, то $B = 0$.

u_{k-1} – управляющее воздействие в прошлый момент времени;

P_k^- – предсказание ошибки;

P_{k-1} – ошибка в прошлый момент времени;

Q – ковариация шума процесса. Так как не всегда представляется возможным определить дисперсию процесса, определение шума процесса является сложной задачей. В данном случае этот параметр подбирается для обеспечения нужной фильтрации.

K_k – усиление Калмана;

H – матрица измерений, отображающая отношение измерений и состояний;

R – ковариация шума измерения;

z_k – измерение в текущий момент времени.

Данные фильтры были программно реализованы. На графиках (рис. 3) представлены значения сигналов сенсора и результаты применения фильтров нижних частот и Калмана.

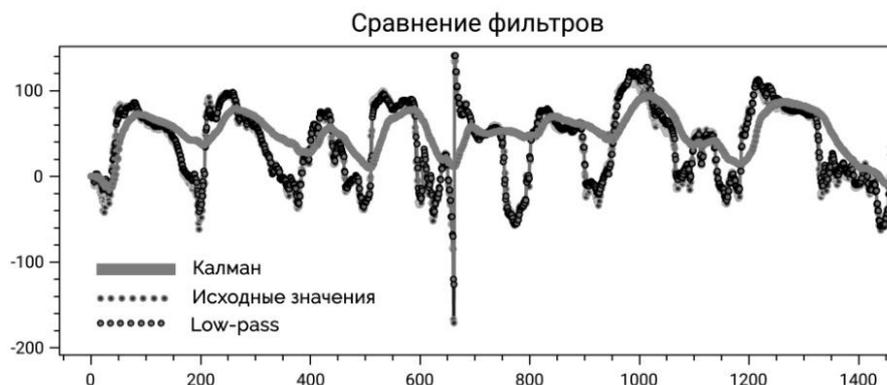


Рис. 3. Сравнение исходных данных датчиков с данными, полученными в результате применения фильтров нижних частот и Калмана

Представленные графики демонстрируют, что фильтр Калмана обеспечивает лучшую фильтрацию. При подборе значений ковариаций шумов процесса и измерения время, за которое обеспечивается фильтрация данных, снижается до допустимого минимума, обеспечивающего стабильную работу программно-аппаратного комплекса.

Заключение

Было разработано приложение с использованием описанных выше технологий для представления стереовидеоряда пользователю. Приложение на базе операционной системы Android. Такое решение обусловлено тем, что на сегодняшний день технические характеристики многих смартфонов позволяют использовать их в составе систем виртуальной и дополненной реальности.

На рис. 4 представлена диаграмма Activity, демонстрирующая порядок работы разработанного в процессе исследования приложения.

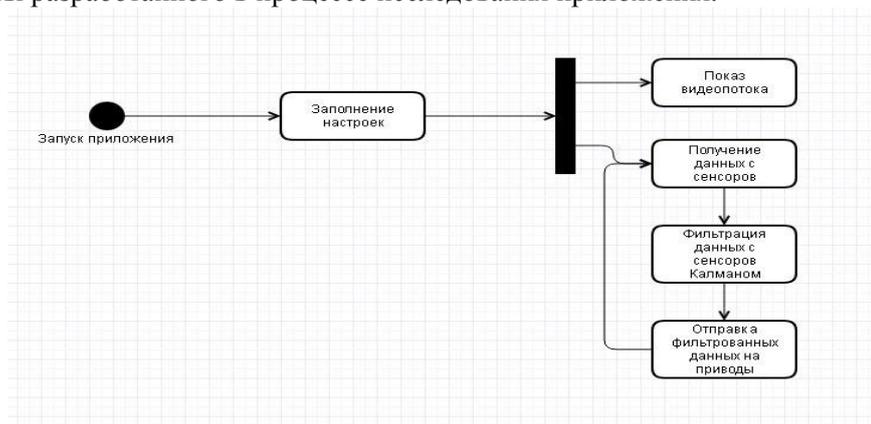


Рис. 4. Диаграмма Activity

Литература

1. Хьюбел, Д. Глаз, мозг, зрение /Д. Хьюбел //Пер. с англ. –М.:Мир, 1990.– 239 с. ISBN 5-03-001254-0.
2. Беклемишев, Н.Д. Оценка среднего параллакса стереоизображений / Н.Д. Беклемишев // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. -2016. -№ 88. -12 с.
3. Форсайт, Д.А., Понс, Ж. Компьютерное зрение. Современный подход / Д.А. Форсайт, Ж. Понс /Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
4. Воронин, В.В. Разработка и исследование алгоритма вычисления карты глубины стереоизображения / В.В. Воронин // Известия ЮФУ. Технические науки. -2013. – С.58-66.
5. Механизмы сознания и существования. Зрительная система человека. -Режим доступа: <http://cyber-ek.ru/reading/ps-seeing.html>
6. Диковицкий, В.В., Менькова, А.А. Повышение качества визуализации стереоизображений за счет изменения угла конвергенции / В.В. Диковицкий, А.А. Менькова // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – Вып. 7. - 6/2016. –Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2016. –С.62-70.
7. Greg Welch, Gary Bishop, «An Introduction to the Kalman Filter», 2001. - Режим доступа: http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf
8. Фильтр Калмана – введение.- Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/140274/>
9. Kalman, R.E. «A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems», 1960. -Режим доступа: <https://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/Kalman1960.pdf>
10. Фильтр Калмана. - Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/166693/>
11. Популярная робототехника. Фильтр низких частот. -Режим доступа: http://www.poprobot.ru/theory/low_pass_filter
12. Swarthmore College. Frequency Response and Active Filters. -Режим доступа: <http://www.swarthmore.edu/NatSci/echeeve1/Ref/FilterBkgrnd/Filters.html>

Сведения об авторах

Диковицкий Владимир Витальевич – к.т.н., старший научный сотрудник,
e-mail: dikovitsky@gmail.com
Vladimir V. Dikovitsky - PhD (Tech. Sci), senior researcher

Панфилов Михаил Михайлович – инженер-исследователь
e-mail: panfilov@iimm.ru
Mikhail M. Panfilov – research engineer

Менькова Анастасия Александровна – инженер-исследователь,
e-mail: AMenkova@iimm.ru
Anastasia A. Menkova – research engineer

УДК 004.91

А.В. Авдеев, А.С. Шемякин

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского НЦ РАН

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНВЕРТАЦИИ ДОКУМЕНТОВ MS OFFICE В ФОРМАТ PDF НА ВЕБ-СЕРВЕРЕ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ CENTOS LINUX*

Аннотация

В данной работе представлен механизм загрузки документов MS Office на веб-сервер, работающий под управлением OS Linux (CentOS 7.3 x64), и конвертации загруженных файлов в формат PDF. Механизм загрузки и конвертации файлов реализован на языке Python с использованием фреймворка Django. Конвертация документов MS Office в формат PDF осуществляется при помощи LibreOffice и скрипта Unoconv.

Ключевые слова:

python, LibreOffice, PDF, обработка документов.

A.V. Avdeev, A.S. Shemyakin

AUTOMATING CONVERSION OF MS OFFICE DOCUMENTS TO PDF ON A WEB SERVER RUNNING CENTOS LINUX

Abstract

This paper presents the mechanism of loading of MS Office documents on a web server running OS Linux (CentOS x64 7.3) and convert the downloaded files to a PDF. The mechanics of downloading and converting files is implemented in Python using the framework Django. Convert MS Office documents to PDF format is done using LibreOffice and Unoconv script.

Keywords:

python, LibreOffice, PDF, document processing.

В [4] была представлена программная система, позволяющая автоматизировать разработку планирующей документации. Система позволяет загружать документы в формате MS Office – doc, rtf, docx, odt. Хранение в базе данных файлов в таком формате не представляет сложностей, однако возникают проблемы с отображением таких файлов в окне браузера – требуется предварительная конвертация в формат HTML. Такая конвертация требует использования сторонних библиотек, например, Aspose [2]. Следует отметить, что на возможность выбора библиотеки может существенно повлиять выбор языка программирования, на котором создается программная система.

Формат HTML рассчитан на отображение текста с простым форматированием и не предназначен для отображения сложных документов, содержащих, например, колонтитулы, формулы, разделы с различным форматированием. Формат PDF позволяет обойти эти ограничения, т.к. предназначен для представления полиграфической продукции в электронном виде [3].

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 15-29-06973, № 16-07-00562.

В настоящее время современные браузеры имеют встроенные средства для отображения PDF. Представляется целесообразной идея конвертации документов в данный формат, а затем удобный их просмотр средствами браузера. В данной работе представлен механизм пакетной загрузки файлов MS Office на сервер, работающий под управлением OS Linux (CentOS 7.3 x 64), и дальнейшая автоматическая пакетная конвертация загруженных файлов в формат PDF. В ходе работы с системой [1] у пользователя может возникнуть необходимость загрузить большое количество документов различных форматов на веб-сервер; чтобы избавить пользователя от рутинной процедуры конвертирования каждого загружаемого файла в формат PDF вручную предусмотрен механизм пакетной загрузки и конвертирования загруженных файлов. Для решения этой задачи и были выбраны следующие инструменты:

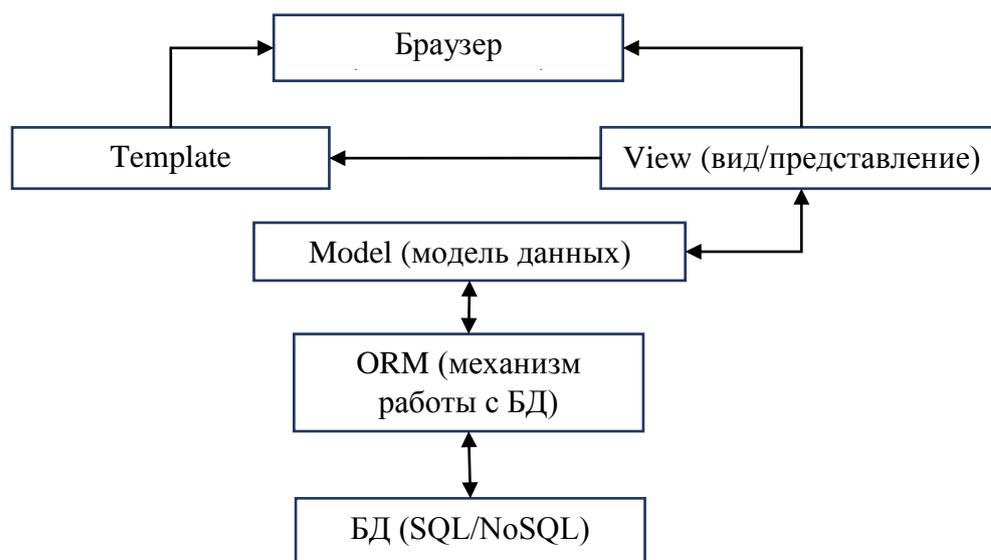
- веб-фреймворк Django 1.10.3 (модифицированная лицензия BSD) – свободный фреймворк на языке Python для веб-приложений [4].
- Unosonv (лицензия GNU GPL) – скрипт-обёртка для работы с OpenOffice (Лицензия Apache) [5].
- LibreOffice (лицензия GNU GPL и MPL) – свободнораспространяемый офисный пакет с открытым исходным кодом, ответвление OpenOffice [6].
- расширенный текстовый редактор Atom (лицензия MIT) с плагинами ftp-remote-edit (MIT), python-indent (MIT) и др. [7].

Unosonv - консольная программа, предназначенная для преобразования офисных форматов между собой. Она использует надстройку (интерфейс/API) UNO в LibreOffice для интерактивного преобразования документов и, следовательно, нуждается в установленном LibreOffice или OpenOffice. Данная программа удобна пакетной автоматической конвертации форматов между собой.

Пример вызова программы из командной строки: *unosonv -f pdf some-file.odt*. В данном примере аргумент "-f" указывает на конечный формат документа, а аргумент "some-file.odt" - на документ, который нужно преобразовать. При выполнении данной команды из директории, в которой находится файл "some-file.odt" мы получим в этой же директории файл "some-file.pdf". Для пакетного преобразования, например, всех файлов формата doc, достаточно последним аргументом передать "*.doc".

Фреймворк примерно соответствует архитектуре MVC ("модель – вид – контроллер"), точнее ему соответствует модель MTV ("модель – шаблон – вид") [8].

Согласно архитектуре фреймворка Django приложение разбито на логические составляющие: модель, шаблон и вид (представление) (рис.).



Архитектура MTV

Для хранения документов, загружаемых на сервер, в базе созданы следующие модели:

```

1  from __future__ import unicode_literals
2  from django.db import models
3  class Doc(models.Model):
4      title = models.CharField(max_length=255,
blank=True)
5      file = models.FileField(upload_to='doc/')
6      uploaded_at =
models.DateTimeField(auto_now_add=True)
7      parent_dir = models.ForeignKey('Dirs',
blank=True)
8
9  class Dirs(models.Model):
10     dir_name = models.CharField(max_length=255,
blank=True)

```

Данная модель описывает две таблицы в создаваемой БД. «Doc» служит для хранения информации о загружаемых файлах, «Dirs» хранит информацию о принадлежности документа к определенной категории.

В строке 3 объявляется функция Doc, которая служит для генерации новой таблицы в БД. В строке 4 задается название документа, в строке 5 задается путь до конечной папки загрузки (относительно папки с проектом), а в строке 6 – дата создания записи.

Следующий компонент архитектуры MVC – вид, отвечающий за обработку загрузки файлов в проект.

```
1 from django.views import View
2 import subprocess, os
3 from .forms import DocForm
4 from .models import Doc
5
6 .....
10 class ProgressBarUpload (View):
11     def get(self, request):
12         docs_list = Doc.objects.all()
13         return render(self.request,
14 'docs/progress_bar_upload/index.html', {'docs':
docs_list})
15     def post(self, request):
16         form = DocForm(self.request.POST,
self.request.FILES)
17         if form.is_valid():
18             doc = form.save()
19             data = {'is_valid': True, 'name':
doc.file.name, 'url': doc.file.url}
20         else:
21             data = {'is_valid': False}
22         return JsonResponse(data)
```

Данная функция выполняет загрузку файлов, а JavaScript на странице пользователя показывает прогресс данной операции, в строках 19 - 22 происходит асинхронная (без перезагрузки страницы) передача данных.

Там же в представлении выполняется преобразование файлов в формат Pdf:

```
41 def all_to_pdf(request):
42     doc_list = Doc.objects.all()
43     pa = '/home/user/doc_env/multiple/media/'
44     for doc in doc_list:
45         if doc.file.name.split('.')[1] != 'pdf':
46             pam = doc.file.name
47             subprocess.call('unoconv '+pa+pam,
shell=True)
48             dox = '.'+(pam.split('.')[1])
49             Doc.objects.filter(file =
pam).update(file = pam.replace(dox, ".pdf"))
50     return render(request,
'docs/progress_bar_upload/index.html', {'docs':
doc_list})
```

В строке 41 объявляется функция для преобразования, переменная «ра» (строка 43) хранит путь до рабочего каталога с документами, далее циклом (строки 44 - 49) перебираем все файлы в БД. Если файл имеет формат отличный

от PDF (строка 45), то в переменную «*path*» записывается путь относительно рабочей папки и передается процессу «*uniconv*» с указанием пути к файлу (строка 47, *shell=True* служит для получения отладочной информации).

Собственно конвертация осуществляется вызовом функции `subprocess.call`.

`subprocess.call(args, *, stdin=None, stdout=None, stderr=None, shell=False, timeout=None)` - выполняет команду, описанную *args*. Ожидает завершения команды, а затем возвращает код возврата. Например, команда «`subprocess.call('uname -r', shell=True)`» выведет номер выпуска операционной системы (для CentOS 7.3 x64 установленной на сервере – «2.6.32-042stab123.3») [9].

Далее запись о первоначально загруженном файле в БД заменяется новой записью о файле уже с расширением PDF.

Последний компонент архитектуры MVC - шаблон, служит для вывода списка доступных для просмотра документов уже непосредственно языком HTML в браузере пользователя:

```
1{ % extends "docs/base.html" % }
2{ % load static % }
3{ % block docs_content % }
4
5<table id="gallery" class="table table-bordered">
6  <tbody>
7{ % for doc in docs % }
8  <tr>
9      <td><a href="{{ doc.file.url }}">{{ doc.file.name }}</a></td>
10 </tr>
11{ % endfor % }
12</tbody>
13</table>
14
15{ % endblock % }
```

Заключение

В данной работе представлен механизм загрузки документов MS Office на сервер, работающий под управлением OS Linux (CentOS 7.3 x 64), и конвертации загруженных файлов в формат PDF. Механизм загрузки и конвертации файлов реализован на языке Python с использованием фреймворка Django. Конвертация документов MS Office в формат PDF осуществляется при помощи LibreOffice и скрипта *Uniconv*.

Поскольку все используемые инструменты являются свободно распространяемыми программными продуктами, то использование связки LibreOffice+Uniconv+PDF позволяет существенно сократить расходы на серверное программное обеспечение.

Литература

1. Шемякин, А.С. Автоматизация разработки планирующей документации по снижению промышленно-экологических рисков / А.С. Шемякин, С.Ю. Яковлев, Ю.А. Олейник, А.В. Маслобоев // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2016. -Т.20. -№9. -С.74–85. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-9-74-85.
2. NET Java Android SharePoint Cloud APIs for Word Document formats. – Режим доступа: <https://www.aspose.com/products/words>
3. Portable Document Format. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Portable_Document_Format
4. Django makes it easier to build better Web apps more quickly and with less code. – Режим доступа: <https://www.djangoproject.com/>
5. Universal Office Converter - Convert between any document format supported by LibreOffice/OpenOffice. – Режим доступа: <https://github.com/dagwieers/unoconv>
6. LibreOffice – мощный офисный пакет, полностью совместимый с 32/64-битными системами. – Режим доступа: <http://ru.libreoffice.org/>
7. A hackable text editor. – Режим доступа: <https://atom.io/>
8. Django Documentation. FAQ: General. – Режим доступа: <https://docs.djangoproject.com/en/1.11/faq/general/>
9. Subprocess – Subprocess management. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/library/subprocess.html>

Сведения об авторах

Шемякин Алексей Сергеевич – младший научный сотрудник,
e-mail: shemyakin@iimm.ru
Alexey S. Shemyakin - junior researcher

Авдеев Алексей Васильевич – стажер-исследователь,
e-mail: avdeev@iimm.ru
Alexey V. Avdeev – research assistant