

ISSN 2949-1215



*Российская Академия Наук*  
**ТРУДЫ**  
Кольского научного центра РАН

**2/2022(13)**

**СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

0+

*Российская Академия Наук*

# ТРУДЫ

**2/2022(13)**

Научно-информационный журнал  
Основан в 2010 году  
Выходит 4 раза в год

**Кольского научного центра. Серия: Технические науки**

Главный редактор  
акад. РАН, д. г.-м. н. С.В. Кривовичев

Заместитель главного редактора  
к. б. н. Е.А. Боровичев

Редакционный совет:  
акад. РАН, д. б. н. Г.Г. Матишов,  
чл.-корр. РАН д. б. н. В.К. Жиров,  
чл.-корр. РАН д. т. н. А.И. Николаев,  
чл.-корр. РАН, д. х. н. И.Г. Тананаев,  
д. э. н. Ф.Д. Ларичкин,  
д. ф.-м. н. Е.Д. Терещенко,  
к. т. н. А.С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии:  
чл.-корр. РАН, д. т. н. А.И. Николаев,  
чл.-корр. РАН, д. х. н. И.Г. Тананаев,  
д. т. н. А.В. Горохов,  
д. х. н. С.Р. Деркач,  
д. т. н. Б.В. Ефимов,  
д. т. н. А.А. Козырев,  
д. т. н. Н.В. Коровкин,  
д. т. н. С.И. Кривошеев,  
д. х. н. С.А. Кузнецов,  
д. т. н. С.В. Лукичев,  
д. т. н. В.А. Марлей,  
д. т. н. М.В. Маслова,  
д. т. н. А.В. Маслобоев,  
д. т. н. В.А. Маслобоев,  
д. т. н. О.В. Наговицын,  
д. т. н. А.Г. Олейник,  
д. т. н. В.В. Рыбин,  
д. т. н. А.Я. Фридман,  
д. т. н. М.Г. Шишаев,  
к. т. н. Т.Н. Васильева,  
к. т. н. И.О. Датъев,  
к. х. н. Д.П. Домонов,  
к. т. н. О.Г. Журавлева,  
к. т. н. А.И. Калашник,  
к. т. н. А.С. Карпов,  
к. т. н. В.В. Колобов,  
к. т. н. Н.М. Кузнецов,  
к. т. н. С.М. Маслобоева,  
к. т. н. В.А. Минин,  
к. т. н. Г.И. Митрофанова,  
к. т. н. А.С. Опалев,  
к. т. н. В.Н. Селиванов,  
к. т. н. И.Э. Семенова,  
к. т. н. А.М. Фёдоров

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской  
академии наук»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-83502 от 30 июня 2022 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций.

Научное издание

Технический редактор В.Ю. Жиганов  
Редактор Е.Н. Еремеева  
Подписано к печати 29.12.22.  
Дата выхода в свет 30.12.22.  
Формат бумаги 60×84 1/8.  
Усл. печ. л. 17,44. Заказ № 72. Тираж 500 экз.  
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии: Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр  
«Кольский научный центр РАН»  
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14  
Тел.: (81555) 7-53-50; 79-5-95, факс: (81555) 76425  
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

Ответственный редактор номера  
к. т. н. И.О. Датъев

### СОДЕРЖАНИЕ

Федоров А. М., Датьев И. О., Шишаев М. Г., Федотов С. С., Вишняков И. Г.	Информационно-аналитическая система поддержки управления региональным развитием на основе открытых больших данных социальных медиа: концепция разработки и практика реализации...	5
Ломов П. А., Никонорова М. Л., Шишаев М. Г.	Извлечение отношений из NER-размеченных предложений для обучения онтологии.....	23
Пимешков В. К., Шишаев М. Г.	Методы извлечения знаний из естественно-языковых текстов.....	31
Олейник А. Г., Маслобоев А. В., Фридман А. Я.	Развитие интеллектуальных методов анализа ситуаций для обеспечения работы ситуационных центров Арктической зоны Российской Федерации.....	46
Пилецкий Б. М., Вицентий А. В.	Разработка модуля формирования профилей пользователей для системы поддержки принятия решений в области управления промышленно-природными комплексами.....	59
Вицентий А. В.	Обзор подходов и уточнение основных понятий в области моделирования пользователей.....	66
Халиуллина Д. Н., Быстров В. В.	Теоретические основы оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем.....	78
Яковлев С. Ю., Шемякин А. С., Олейник А. Г.	Регулирование техногенно-экологической безопасности критически важных объектов инфраструктуры: обновление нормативной базы....	93
Белгородцев О. В., Наговицын Г. О.	Моделирование отработки запасов рудного месторождения в условиях Крайнего Севера.....	103
Олейник Ю. А., Зуенко А. А.	Два метода решения задачи планирования открытых горных работ .....	111
Козырев А. А., Каган М. М., Панасенко И. Г.	Архитектура централизованной системы удаленного сбора разнородной геофизической информации.....	116
Воронин Р. П., Быстров В. В.	Компьютерное моделирование процессов формирования усреднительного склада горнодобывающего предприятия.....	124
Малыгина С. Н., Неупокоева Е. О.	Обзор современных средств имитационного моделирования.....	134
Шестаков А. В., Зуенко А. А.	Задачи логистики: классификация и методы решения.....	144

2/2022(13)

*Russian Academy of Sciences*  
**TRANSACTIONS**

**Kola Science Centre. Series: Engineering Sciences**

Editor-in-Chief

S.V. Krivovichev, Academician of RAS,  
Dr. Sc. (Geology & Mineralogy)

Deputy Editor-in-Chief

E.A. Borovichev, PhD (Biology)

Editorial Council:

G.G. Matishov, Academician of RAS, Dr. Sc. (Biology),  
V.K. Zhiron, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Biology),  
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Engineering),  
I.G. Tananaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Chemistry),  
F.D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),  
E.D. Tereshchenko, Dr. Sc. (Physics and Mathematics),  
A.S. Karpov, PhD (Engineering) — Executive Secretary

Editorial Board:

A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Engineering),  
I.G. Tananaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Chemistry),  
A.V. Gorokhov, Dr. Sc. (Engineering),  
S.R. Derkach, Dr. Sc. (Chemistry),  
B.V. Efimov, Dr. Sc. (Engineering),  
A.A. Kozirev, Dr. Sc. (Engineering),  
N.V. Korovkin, Dr. Sc. (Engineering),  
S.I. Krivosheev, Dr. Sc. (Engineering),  
S.A. Kuznetsov, Dr. Sc. (Chemistry),  
S.V. Lukichev, Dr. Sc. (Engineering),  
V.A. Marlej, Dr. Sc. (Engineering),  
M.V. Maslova, Dr. Sc. (Engineering),  
A.V. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),  
V.A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),  
O.V. Nagovitsin, Dr. Sc. (Engineering),  
A.G. Oleinik, Dr. Sc. (Engineering),  
V.V. Ribin, Dr. Sc. (Engineering),  
A.Ya. Fridman, Dr. Sc. (Engineering),  
M.G. Shishaev, Dr. Sc. (Engineering),  
T.N. Vasileva, PhD (Engineering),  
I.O. Datjev, PhD (Engineering),  
D.P. Domonov, PhD (Chemistry),  
O.G. Zhuravleva, PhD (Engineering),  
A.I. Kalashnik, PhD (Engineering),  
A.S. Karpov, PhD (Engineering),  
V.V. Kolobov, PhD (Engineering),  
N.M. Kuznetsov, PhD (Engineering),  
S.M. Masloboeva, PhD (Engineering),  
V.A. Minin, PhD (Engineering),  
G.I. Mitrofanova, PhD (Engineering),  
A.S. Opalev, PhD (Engineering),  
V.S. Selivanov, PhD (Engineering),  
I.E. Semenova, PhD (Engineering),  
A.M. Fedorov, PhD (Engineering)

Executive Editor

I.O. Datjev, PhD (Engineering)

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia  
Tel.: (81555) 79380. Fax: (81555) 76425  
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

### CONTENTS

Fedorov A. M., Datyev I. O., Shishaev M. G., Fedotov S. S., Vishnyakov I. G.	Information and analytical system for regional development management support based on open big data of social media: development concept and implementation practice.....	5
Lomov P. A., Nikonorova M. L., Shishaev M. G.	Extracting relations from NER-tagged sentences for ontology learning.....	23
Pimeshkov V. K., Shishaev M. G.	Methods of knowledge extraction from natural language texts.....	31
Oleynik A. G., Masloboev A. V., Fridman A. Ya.	Development of intelligent methods for analyzing situations to support the operation of situational centers in the Arctic zone of the Russian Federation.....	46
Pileckiy B. M., Vicentiy A. V.	Development of a user profiling module for a decision support system for management of industrial and natural complexes.....	59
Vicentiy A. V.	Review of approaches and clarification of the basic concepts in the field of user modeling.....	66
Khaliullina D. N., Bystrov V. V.	Theoretical foundations to assess the resilience of regional socio-economic systems.....	78
Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S., Oleynik A. G.	Regulation of technogenic and environmental safety of critical infrastructure facilities: regulatory updating.....	93
Belogorodtsev O. V., Nagovitsyn G. O.	Modeling of an ore deposit development under the Far North conditions.....	103
Oleynik Yu. A., Zuenko A.A.	Two methods for solving open pit mine scheduling problem.....	111
Kozyrev A. A., Kagan M. M., Panasenko I. G.	Architecture of the centralized system for remote collection of heterogeneous geophysical information.....	116
Voronin R. P., Bystrov V. V.	Computer modeling of the processes of formation of a blending warehouse of a mining enterprise.....	124
Malygina S. N., Neupokoeva E. O.	Overview of modern simulation tools.....	134
Shestakov A. V., Zuenko A. A.	Logistics tasks: classification and methods of solution.....	144

Научная статья  
УДК 004.89  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.001

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ БОЛЬШИХ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА: КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ПРАКТИКА РЕАЛИЗАЦИИ

**А. М. Федоров<sup>1✉</sup>, И. О. Датъев<sup>2</sup>, М. Г. Шишаев<sup>3</sup>, С. С. Федотов<sup>4</sup>, И. Г. Вишняков<sup>5</sup>**

<sup>1–5</sup>Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

<sup>1</sup>fedorov@iimm.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2862-7994>

<sup>2</sup>datyev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8372-8704>

<sup>3</sup>shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

<sup>4</sup>fedotov@iimm.ru

<sup>5</sup>vishnyakov@iimm.ru

### Аннотация

Рассматриваются возможности использования больших открытых данных онлайн-социальных сетей для информационно-аналитической поддержки задач управления региональным развитием. Вводятся понятия социальных объектов и процессов, которые связаны с социально-экономической сферой региона и находят отражение в представляемых в социальных сетях данных. Приводится обзор современных средств и технологий анализа данных социальных сетей для решения государственных, муниципальных и бизнес-задач. Отмечается потенциал расширения функциональных возможностей рассмотренных систем на основе применения формирующего искусственного интеллекта (ИИ). Представлен опыт формирования необходимой системной инфраструктуры и разработки компонентов программного фреймворка для работы с большими данными социальных сетей, применяемых в рамках задач информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием на примере Мурманской области.

### Ключевые слова:

региональное развитие, социальные объекты и процессы, онлайн-социальные сети, открытые большие данные, формирующий искусственный интеллект, фреймворк информационно-аналитической системы, практика реализации

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Информационно-аналитическая система поддержки управления региональным развитием на основе открытых больших данных социальных медиа: концепция разработки и практика реализации / А. М. Федоров и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 5–22. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.001

Original article

## INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR REGIONAL DEVELOPMENT MANAGEMENT SUPPORT BASED ON OPEN BIG DATA OF SOCIAL MEDIA: DEVELOPMENT CONCEPT AND IMPLEMENTATION PRACTICE

**A. M. Fedorov<sup>1✉</sup>, I. O. Datyev<sup>2</sup>, M. G. Shishaev<sup>3</sup>, S. S. Fedotov<sup>4</sup>, I. G. Vishnyakov<sup>5</sup>**

<sup>1–5</sup>Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

<sup>1</sup>fedorov@iimm.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2862-7994>

<sup>2</sup>datyev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8372-8704>

<sup>3</sup>shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

<sup>4</sup>fedotov@iimm.ru

<sup>5</sup>vishnyakov@iimm.ru

## Abstract

The paper considers the possibilities of using big open data of online social networks for information and analytical support of regional development. The concepts of social objects and processes are introduced, which are associated with the socio-economic sphere of the region and reflected in the data presented in social networks. An overview of modern tools and technologies for analyzing data of social networks for solving state, municipal and business problems is given. The potential for expanding the functionality of the considered systems based on the use of formative artificial intelligence is noted. The experience of forming the necessary system infrastructure and developing components of a software framework for working with big data of social networks used for information and analytical support of regional development, is presented on the example of the Murmansk region.

## Keywords:

regional development, social objects and processes, online social networks, open big data, formative artificial intelligence, information and analytical system framework, implementation practice

## Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic "Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data" (registration number of the research topic 122022800551-0).

## For citation:

Information and analytical system for regional development management support based on open big data of social media: development concept and implementation practice / A. M. Fedorov et al. // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 5–22. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.001

## Социальные объекты и процессы как фактор регионального развития

Развитие региона — это сложный, многогранный процесс, целью которого является улучшение определенных качественных и количественных показателей региона с учетом имеющейся региональной специфики и потенциалов роста за счет привлечения внутренних и внешних ресурсов [1]. Под региональным развитием в современном социально ориентированном государстве, каким является Российская Федерация, в первую очередь понимается развитие социально-экономической сферы [2].

Органы государственного и муниципального управления в процессе своей деятельности руководствуются разработанными планами регионального развития и отслеживают ход их реализации посредством контроля целевых показателей. Для этого используется стандартный механизм и специальные службы государственной статистики [3]. Этот канал оценки управляющих воздействий является официальным и вполне объективным.

Однако для получения более полной и оперативной картины реальных социально-экономических процессов статистические данные можно дополнить открытыми данными социальных сетей, которые в данном случае представляют собой неформальный и неофициальный канал обратной связи. Для его чистоты и объективности в каждом конкретном случае требуются дополнительные действия по обработке данных и, возможно, их обогащению сведениями из других источников.

В настоящее время к извлечению и анализу больших открытых данных социальных сетей достаточно активно прибегают как бизнес-структуры [4], так и органы государственной [5] и муниципальной [6] властей, в том числе на международном уровне [7].

В отличие от официальных статистических данных, формат и объем которых формируется целевым образом, открытые данные социальных сетей в общем случае необходимо дополнительно обрабатывать, выделяя в них требуемые социальные объекты, процессы и их характеристики.

Под социальными понимаются такие объекты и процессы, которые прямо или косвенно относятся к социально-экономической сфере региона и каким-либо образом могут быть использованы в реализации стратегий управления региональным развитием.

*Реальные социальные объекты.* Примерами таких объектов являются отдельные граждане и их различные объединения, целые предприятия, организации, их обособленные подразделения и корпорации, а также администрации разного уровня и их отдельные представители.

В свою очередь, примерами социальных процессов являются в общем случае любые события, связанные с социальными объектами.

*Объекты социальных сетей.* Социальные сети отражают в накапливаемых в них данных состояния социальных объектов и связанных с ними процессов. В социальных сетях единичные

объекты обычно представляются в виде отдельных пользователей, а групповые объекты — в виде тематических сообществ (групп или пабликов). Например, каждый совершеннолетний гражданин потенциально может зарегистрировать аккаунт в социальной сети и стать её пользователем. Свой аккаунт может зарегистрировать предприятие, организация или, например, администрация города.

С помощью процедуры верификации можно зафиксировать взаимно однозначную связь между аккаунтом и реальным человеком или организацией. Таким образом другие пользователи социальной сети будут знать, что верифицированный аккаунт точно принадлежит тому, с кем он ассоциирован.

События в социальных сетях отражаются в виде публикаций с упоминанием того или иного объекта. Событиями в социальной сети также можно считать изменение состояний ее внутренних объектов. Например, всплеск числа комментариев в обсуждении какой-либо публикации или увеличение числа её лайков, репостов или просмотров — это событие, связанное с теми объектами, которые присутствуют в этой публикации.

Таким образом, через публикации в социальной сети и реакцию на них других пользователей социальные объекты и процессы реального мира тесно связаны с объектами и процессами в социальных сетях.

В данной работе обозначение наличия такой связи является достаточным. Более глубокий концептуальный подход и детальная классификация объектов и процессов социальных сетей представлены, например, в [8].

*Социальные объекты, процессы и большие данные.* Социальные объекты и порождаемые ими процессы представляют огромный интерес. Прежде всего это связано с исследованиями современного общества и тенденциями его развития. С другой стороны, понимание структуры и характера социальных объектов и процессов позволяет самым эффективным образом организовывать управление территориями, с которыми связаны эти объекты и процессы.

Исследование социальных объектов и процессов в многообразной терминологии, предлагаемой представителями гуманитарных наук [9], в большинстве случаев можно свести к обработке больших данных, извлекаемых из современных социальных медиа. В данной работе под большими данными понимаются открытые большие данные, так как они являются широкодоступными для большинства представителей социума.

### **Типовые задачи управления региональным развитием**

Практически каждая задача регионального управления прямо или косвенно связана с вопросами, относящимися к социальным объектам и процессам. Получение и аналитическая обработка сведений о таких объектах и процессах из социальных сетей позволяют сделать более качественным принятие управленческих решений. Спектр направлений деятельности региональных властей Мурманской области в решении задач управления региональным развитием включает в себя [10]: здравоохранение, строительство и благоустройство, энергетику и жилищно-коммунальное хозяйство, управление имуществом, транспорт и дорожное хозяйство, организацию процессов и HR, взаимодействие с органами местного самоуправления, ветеринарию, социальную сферу, образование и культуру, экономику, финансы и аналитику, юриспруденцию, туризм, лесное хозяйство, природопользование и экологию, СМИ, связи с общественностью и SMM, информационные технологии и безопасность, государственные закупки и др.

Широко распространенной практикой является стремление социально ответственного крупного бизнеса принимать активное участие в жизни региона своего присутствия и своевременно откликаться на чаяния и нужды живущих там людей. В рамках такой деятельности, помимо непосредственной работы с обращениями граждан через приемные аффилированных общественных организаций, также проводится мониторинг популярных местных групп в социальных сетях. Открыто публикуемые в таких группах материалы получают практически моментальный отклик пользователей, выражаемый в комментариях и количестве лайков, репостов и просмотров. На основании статистического и других более глубоких видов анализа этих данных можно давать оценки и строить прогнозы в отношении общественного мнения по тем или иным текущим вопросам или планируемым к реализации инициативам. Традиционными средствами такая деятельность обычно организуется регулярно,

но редко, и в основном ее приурочивают к тем или иным выборным мероприятиям. Автоматизированный анализ больших открытых данных социальных сетей позволяет сделать этот процесс практически непрерывным, что, несомненно, должно повысить качество управления региональным развитием.

Другим примером является заинтересованность бизнеса и представителей властей разного уровня не только в мониторинге обобщенной картины состояния региональных сообществ, но и в возможности оперативной реакции на возникающие в социальных сетях события. В этом случае активное использование коммуникационных возможностей социальных сетей позволяет значительно уменьшить время реакции ответственных лиц на публикации и обсуждения острых вопросов, имеющих широкий общественный резонанс. Известно, что среди пользователей социальных сетей зачастую имеется очень большой процент так называемых технических аккаунтов (ботов, дублирующих аккаунтов и т. п.). Как и в любой другой интернет-дискуссии, в социальных сетях важно иметь представление о собеседниках. Даже простые открытые данные об аккаунтах комментаторов могут дать представление о том, кто из них и с какой степенью вероятности является реальным человеком, а кто — нет. Получение оперативной статистики об активности комментаторов в сообществах и об открытых данных их пользовательских профилей позволяет сделать интернет-дискуссию более продуктивной, а включающее в себя это средство коммуникации региональное управление — более качественным.

Два предыдущих примера демонстрируют потребности представителей властей и бизнеса в использовании пассивных и активных (в том числе интерактивных) средств мониторинга общественного мнения социума региона, за разностороннее развитие которого эти власти несут ответственность. С другой стороны, и представители общественности — отдельные граждане или общественные организации — заинтересованы в доступных и прозрачных средствах отображения деятельности властей и бизнеса. Традиционно обратная связь от властей к социуму реализуется посредством проведения отчетных мероприятий и публикацией в СМИ соответствующих документов. Возможности социальных сетей и дополнительные информационно-аналитические средства анализа их данных позволяют вести мониторинг публичной деятельности ответственных лиц, администраций и организаций. Учитывая то, что социальные сети в большинстве случаев являются неформальным средством коммуникации, использование процедуры обогащения их данных данными официальных источников (например, официальных сайтов, статистических отчетов и т. п.) позволяет сделать такой мониторинг более объемным и качественным. Таким образом, полученные из открытых источников данные о заявленных планах властей и бизнеса можно через некоторое время сравнить с отчетными данными и сделать выводы об эффективности проводимого управления региональным развитием.

## **Обзор современных систем анализа социальных медиа**

Уже сегодня инструментальные средства, построенные на базе современных информационных технологий, позволяют обрабатывать большие данные, генерируемые пользователями социальных медиа. Интернет-ресурс G2-Business Software Reviews [11] содержит перечень, включающий 221 систему мониторинга социальных медиа. Существующие решения нацелены на коммерческое использование (что, впрочем, следует из названия самого ресурса) представителями бизнеса преимущественно в маркетинге, иногда встречаются упоминания о применении в таких областях как: связи с общественностью (PR, пиар), автомобилестроение, недвижимость, информационные технологии и сервисы, Интернет, высшее образование, безопасность, здоровье. Редко (около 10 процентов случаев) в описании систем мониторинга также встречаются указания о возможности использования в управлении некоммерческими организациями. В качестве наиболее популярных систем, по версии G2-Business Software Reviews, называются: Hootsuite, Zoho Social, Sprout Social, Meltwater, Semrush, Agorapulse, Brandwatch Consumer Intelligence, Reputation, Falcon.io (теперь Brandwatch Social Media Management), Sendible, Brand24, eclincher, YouScan, Sprinklr Social Engagement and Sales, Lucidya — Social Media Analytics, Dataminr.

Отечественные разработки также представлены преимущественно системами для коммерческого использования. Компания Brand Analytics предлагает линейку продуктов мониторинга социальных медиа. Одноименная система Brand Analytics собирает данные социальных сетей, видеохостингов,

сервисов карт, публичных каналов, мессенджеров, отзовиков, форумов, блогов, маркетплейсов, онлайн-СМИ, газет, журналов и федеральных телеканалов. Кроме стандартных текстов сообщений, система анализирует тексты на изображениях и расшифровках видео, чекины (сообщения, отправляемые пользователем социальной сети о своём географическом местонахождении), сторис (история с фото или видео длительностью до 15 секунд). Разработчики заявляют о применении машинно-обучаемых алгоритмов для категоризации сообщений, выявления трендов медиаполя, агрессии, распознавания текстов на изображениях, а также автоматического определения тональности упоминаний (сентимент-анализ) [12, 13] с заявленной точностью 85–90 %. В других системах от компании Brand Analytics прослеживается специализация для более узкого круга пользователей и задач с соответствующей вариативностью функциональных возможностей: BA Express (мониторинг социальных медиа для небольших компаний), Brand Visor (медиадашборд для топ-менеджмента), Event Wall (соцмедиадашборд для мероприятий), мониторинг СМИ (мониторинг СМИ с применением ИИ для анализа и оповещения), Actionable Analytics (маркетинговые исследования для выявления инсайтов и трендов).

Компания «Ашманов и партнеры» разработала систему «КРИБРУМ», функциональные возможности и описание которой практически идентичны системе Brand Analytics. «Крибрум находит в социальных медиа упоминания брендов и помогает бизнесу проводить маркетинговые исследования, выявлять информационные атаки и утечки конфиденциальных данных, а также оперативно откликаться на негативные отзывы о продуктах и клиентском сервисе» [14].

Компания «МЕДИАЛОГИЯ» предлагает линейку продуктов PR, SMM, «Инцидент», «Медиа» [15]. Система PR позиционируется как инструмент оперативного мониторинга и анализа СМИ: позволяет получать периодические отчеты, оценивать тональность упоминаний, также разработчики заявляют возможность анализа эффективности инфоповодов и площадок. Система «Медиа» специфицирована для анализа цитируемости и оценки индекса цитируемости СМИ, а также анализа цитируемости каждого сообщения. Система SMM разработана для анализа соцсетей и позволяет оценить мнения потребителей, изучить портрет целевой аудитории, а также измерить эффективность SMM. Система «Инцидент» позиционируется как система управления коммуникациями в соцсетях. Разработчики компании «МЕДИАЛОГИЯ» заявляют оценку тональности своим приоритетным направлением в развитии технологий текстового анализа, а также отмечают использование технологий глубокого обучения — нейронных сетей.

Наряду с вышеупомянутыми, ещё одним масштабным проектом отечественных разработчиков является линейка продуктов анализа социальных медиа от компании «М13» [16]: «Катюша», «Арена», «Арсенал», «Арсенал.Соцмедиа», «Страйк». Система «Катюша» позволяет группировать данные по времени, информационным поводам, тематикам, событиям, персонам и типам СМИ, а также определять тональность, количество публикаций и охват аудитории. Разработчики заявляют, что сообщения появляются в системе уже через 1–10 минут после их публикации на сайте источника. Предусмотрены различные виды оповещений — sms, email, push-уведомления. Система «Арена» ориентирована на потребности и запросы руководителей и позволяет в режиме реального времени отображать только самые важные новости. Системы «Арсенал» и «Арсенал.Соцмедиа» обладают схожими функциональными возможностями, позволяют проводить анализ по заданным тематикам с помощью контекстных запросов, учитывающих в том числе и дополнительные параметры публикаций (время, охват и др.). Результаты мониторинга в виде отчетов экспортируются в удобные для пользователя форматы (в том числе .xlsx и .docx). Система «Страйк», по сути, представляет собой телеграм-бот для мониторинга социальных сетей «Твиттер» и «Телеграм». Основная особенность — отслеживание упоминания бренда в единой ленте без необходимости подписываться на множество каналов и авторов. Уже через 2–3 минуты после опубликования в ленте отображается часть сообщения, содержащая упоминание с указанием автора, социальной сети и времени публикации.

Система Scan Interfax [17] создана для анализа деловой репутации компаний и оценки рисков на основе СМИ и социальных медиа. Спектр решаемых задач соответствует традиционному пиар: «мониторинг упоминаний в СМИ, отзывов в соцсетях, налаживание диалога с изданиями, обнаружение и минимизация репутационных рисков, управление репутацией, нейтрализация негатива, быстрая аналитика, экспресс-оценка инфоповодов».

Система Babkee [18] заявлена разработчиками как «бесплатный российский сервис мониторинга упоминаний и анализа соцмедиа, управления репутацией и изучения активности конкурентов». Бесплатно можно получить лишь усеченную версию функциональных возможностей системы. В качестве особенностей упоминается оценка значимости сообщений как зависимость от авторитетности автора, а также ручное определение тональности.

Exlibris — это медиааналитическое агентство (очевидно, использующее систему сбора и анализа данных социальных медиа), предоставляющее услуги по мониторингу и анализу социальных медиа «для брендов, государственных корпораций и структур, малого и среднего бизнеса» [19]. Заявлен мониторинг и анализ социальных медиа, «управление репутацией, работа с блогерами», «брендинг территорий» [19].

Система «ПрессИндекс» [20] анализирует более 100 000 источников: традиционные медиа, «ВКонтакте», «Твиттер», «Ютуб», «Яндекс.Дзен», «Живой журнал», «Телеграм», «Фейсбук» и «Инстаграм»\*. Позволяет отслеживать упоминания как в постах, так и в комментариях, автоматически определять тональность, формировать отчеты, осуществлять рассылки и оповещения, а также разграничивать права доступа к системе. Интересными особенностями, заявленными разработчиками, являются ретроспективный мониторинг, автоматическое определение тональности, выявление трендов.

Система «Интегрум» [21] позиционируется разработчиками как «поисково-аналитическая система по компаниям, индивидуальным предпринимателям, физическим лицам, тендерам и контрактам, СМИ и социальным сетям».

Система IQBuzz [22] — сервис мониторинга социальных медиа и онлайн-СМИ, профессиональный инструмент анализа и управления репутацией в Интернете.

Система SemanticForce [23] позволяет проводить «мониторинг онлайн-медиа при помощи глубокого семантического и визуального анализа». В качестве особенности упоминается также наличие омниканального Хелпдеск. Позиционируется разработчиками как «единая платформа мониторинга и аналитики СМИ и сайтов электронной коммерции, а также реагирования...»

На основе проведенного обзора систем мониторинга социальных медиа следует отметить, что в целом рассмотренные системы построены на идентичных базовых принципах, основные различия состоят в специфицировании систем для решения конкретных, преимущественно коммерческих, задач и использовании конкретными группами пользователей. При разработке систем мониторинга и анализа, всё большее количество компаний концентрирует свои усилия на применении технологий ИИ. Рассмотренные инструментальные системы вполне могут использоваться в качестве информационно-аналитических сервисов для решения задач поддержки управления региональным развитием, поскольку многие из этих задач (однако, далеко не все), по сути, являются пиар, то есть нацелены на управление общественным мнением, а также выстраивание взаимоотношений общества и государственных органов [24]. В качестве примера, следует отметить системы «Инцидент» и «Катюша», в использовании которых проявляют заинтересованность государственные структуры, вероятно, по причине их наилучшего соответствия задачам информационной поддержки государственного управления.

Рассмотренные системы, например, не прогнозируют популярность публикуемых в социальных сетях сообщений [25, 26], результат информационного воздействия, другими словами, не способны производить информационное управление [27, 28], не учитывают многие сетевые характеристики автора сообщения и его влияние на аудиторию [29].

Потенциал функциональных возможностей, полезных в решении задач государственного и муниципального управления, реализован не полностью, не говоря об отсутствии комплексного, модульного, кроссплатформенного решения для информационной поддержки управления региона в целом.

Сегодня в мире интенсивно развивается формирующий ИИ, который поглощает информацию из разных источников и на ее основе создает новый контент (музыка, изображения или видео, программный код). Если рассматривать применимость формирующего ИИ в государственном и региональном управлении, то его ценность заключается в возможности анализа разнородных данных

---

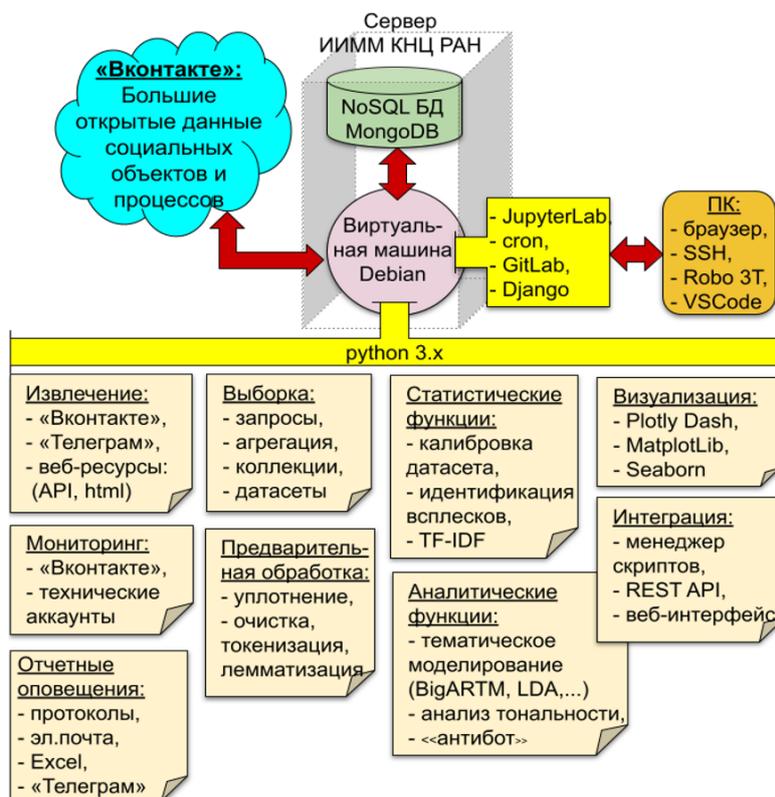
\* Компания Meta Platforms Inc. признана в России экстремистской организацией. Принадлежащие ей соцсети «Фейсбук» и «Инстаграм» в России запрещены.

из различных источников (например, различных социальных медиа), выделение ключевых факторов, которые человек может упустить из виду, а также в способности к самостоятельному обучению, то есть адаптации к изменениям входных данных (например, тематической повестки, связанной с мировыми событиями). Вышеперечисленные функции прогнозирования и другие функции анализа, вероятно, могут быть реализованы посредством применения формирующего ИИ для развития рассмотренных и создания новых систем мониторинга и анализа.

Также следует отметить, что процесс пиара в существующих системах рассматривается преимущественно как односторонний — воздействие государственной власти на общество. Однако изначально из определения пиара следует «выстраивание взаимоотношений» — и это не только «подслушивание» социальных медиа на предмет «что говорит народ». Другими словами, гражданское общество тоже должно владеть информацией о состоянии власти или даже иметь возможность мониторинга и анализа информационных ресурсов, в том числе официальных ресурсов власти, что существенно повысило бы социальное самочувствие общества и, возможно, даже уровень ответственности представителей власти.

### Практика построения системы сбора и аналитической обработки открытых данных социальных медиа

Несмотря на имеющийся на рынке инструментарий, необходимо развивать технологии и создавать новые инструменты интеллектуальной обработки больших данных социальных сетей. Авторы данной работы в исследовании [30] представили общую схему фреймворка для решения задачи оценки вовлеченности гражданского общества в процессы управления территориями. Именно эта схема стала основой будущих работ авторов над фреймворком, спектр решаемых задач которого расширялся согласно динамике окружающего мира. Сегодня разрабатываемый фреймворк представляется авторам как комплексное, модульное, адаптируемое решение для информационной поддержки регионального управления (рисунок).



Общая схема фреймворка для информационной поддержки регионального управления

### **Системная инфраструктура**

Представленная разработка реализована на сервере, имеющем следующие технические характеристики:

- процессор Intel Xeon E5-2620 v4 2.1GHz (TB up to 3.0GHz) 20Mb 4 × DDR4-1600/18666, 2 ед.;
- память серверная DIMM DDR4 16384Mb PC21300 2666MHz S, 6 ед.;
- платформа Supermicro SYS-6028R-WTR (LGA2011, 8 x 3.5" SAS/SATA HDD, 16 × DDR4, 740W, 2U;
- материнская плата X10DRW-i;
- накопители SATA III WDC WD5000AAKX-00ERMA0 (WD Cavair Blue) 500 GB, WD Gold 7200rpm, 2Tb, 2 ед.;
- сетевое хранилище Asustor.

Фактически для работы используются ресурсы, предоставляемые виртуальной машиной, работающей под управлением операционной системы (ОС) Debian GNU/Linux 10 (buster), с оперативной памятью 10 Гб и дисковым пространством 200 Гб. Дополнительно для хранения данных в базе MongoDB используется диск 400 Гб.

### **Инфраструктура разработчиков и пользователей**

Рабочие места разработчиков и пользователей описываемой системы представляют собой типовые персональные компьютеры (ПК), к техническим характеристикам которых не предъявляется особых требований. Обычно используются ПК под управлением ОС Microsoft Windows поддерживаемых компанией Microsoft версий. Для непосредственной работы требуется наличие браузера и приложения-клиента ssh (например, PuTTY). Подключение к базе данных MongoDB осуществляется любым NoSQL-клиентом (например, Robo 3T). При необходимости разработчики могут использовать локальные среды разработки, такие как Microsoft Visual Studio Code (MS VSCode) или PyCharm. Однако основным средством разработки являлась выполняемая в виде сервиса на стороне сервера среда JupyterLab, работа с которой осуществляется через браузер и для безопасности работы которой необходимо использовать SSH-туннелирование. Для безопасного хранения результатов программных разработок и соблюдения соответствующих прав Института информатики и математического моделирования (ИИММ) на получаемые результаты интеллектуальной собственности используется локальный сервер GitLab.

### **Блок извлечения данных**

В текущей версии фреймворка реализованы программные механизмы извлечения открытых данных из социальной сети «ВКонтакте» [31] и мессенджера «Телеграм». Для этого используются библиотеки на языке программирования python 3.x, которые предоставляют доступ к API [32] этих ресурсов. Технической особенностью работы по извлечению данных являются введенные разработчиками социальной сети и мессенджера ограничения на количество запросов в единицу времени и их суммарное количество в течении суток. В условиях работы с большими данными эти ограничения оказывают свое влияние на скорость и объемы извлекаемых данных. Однако этот процесс организован без какого бы то ни было нарушения лицензионных требований и пользовательских соглашений рассматриваемых ресурсов. Помимо работы с API проводятся тестовые эксперименты по добавлению в инструментарий фреймворка механизмов парсинга исходного HTML-кода страниц веб-сайтов исследуемых ресурсов. Внедрение таких подходов позволит снять большинство технических ограничений на скорость и объемы извлекаемых из открытых источников больших данных.

### **Блок мониторинга**

Реализация блока функций для мониторинга [33] стала логичным развитием функциональных возможностей блока извлечения данных из открытых источников. Здесь главной особенностью является обеспечение регулярной, бесперебойной автоматической работы алгоритмов извлечения данных в течение продолжительного времени. Запуск программ-скриптов по расписанию организован средствами стандартной для ОС UNIX системной службы cron. В целом такой режим работы увеличил интенсивность запросов к открытым ресурсам социальной сети «ВКонтакте». Для корректной работы

с имеющимися ограничениями данной платформы была разработана подсистема управления техническими аккаунтами. В результате гибкой масштабируемой конфигурации эта подсистема позволяет одновременно и вести мониторинг, и проводить другие отдельные эксперименты по обращению к открытым ресурсам «ВКонтакте» без нарушения правил работы с данной платформой.

Также для обеспечения работы мониторинга в непрерывном режиме необходим большой объем хранилища для записи поступающих данных. В качестве хранилища используется NoSQL (база данных MongoDB) и дисковое пространство сервера ИИММ. Объем данных постоянно растет, но применяемые технологии и средства позволяют масштабировать объем используемого хранилища.

### ***Блоки выборки и предварительной обработки данных***

Особенностью собранных в процессе мониторинга данных являются их избыточность и дублирование. Это связано с тем, что среди очередной порции извлекаемых данных лишь только часть успевает измениться за прошедший интервал времени. С целью получения из собранного массива данных необходимой информации в рассматриваемом фреймворке предусмотрен соответствующий функциональный блок. Выборка данных производится с помощью специфического языка запросов к базе данных MongoDB, который отличается от традиционного SQL в силу особенностей хранения элементов не в виде записей, а в виде отдельных документов в формате json. С учетом характеристик данных мониторинга, самой востребованной операцией является агрегация. С помощью неё большие объемы дублирующихся данных перерабатываются в коллекции данных и форматированные наборы (датасеты), пригодные для дальнейшей обработки.

После уплотнения данные готовятся для дальнейшей статистической и аналитической обработки и визуализации. Для этого производится их очистка от стоп-слов и других мусорных элементов, документы преобразуются в массивы лексем (токенов), которые нормализуются с помощью процедур лемматизации или стеммирования.

### ***Блок статистических функций***

Имеющиеся во фреймворке функции обработки данных представлены в виде двух блоков. Программные инструменты первого блока позволяют проводить первичную статистическую обработку [34] сформированных на предыдущих этапах датасетов. С помощью оценки полученных характеристик исследуемого набора данных и его специфических особенностей можно получить начальное представление об исследуемых объектах и процессах. Например, в данных, представленных в виде числовых рядов, можно идентифицировать и локализовать нетипичные резкие изменения (всплески), а для текстовых данных можно сформировать их векторные представления в виде меры TF-IDF. Для всего набора данных обычно формируется гистограмма распределения.

### ***Блок аналитических функций***

Функции данного блока предназначены для выявления закономерностей, более сложных, чем подсчет общеизвестных статистических характеристик. Наиболее проработанными программными модулями являются модули, относящиеся к тематическому моделированию.

*Тематическое моделирование.* Одним из ключевых преимуществ оперативного и стратегического управления регионом является получение тематической повестки сообществ социальных медиа, которая в информационном пространстве является важным компонентом общества. Для автоматизированного анализа текстов постов и комментариев используются методы тематического моделирования [35]. Недавние исследования авторов данной работы преимущественно были сосредоточены на тематическом моделировании и улучшении качества получаемых тематических моделей. Так, в работе [36] было использовано несколько методов вероятностного тематического моделирования на подготовленном датасете, состоящем из постов сообществ онлайн-социальной сети «ВКонтакте». На основе результатов экспериментов показано, что подход ARTM является одним из самых быстрых по времени обучения модели. В качестве другого преимущества BigARTM отмечена мультимодальность, потенциально значимая для моделирования сообществ социальных медиа, поскольку в них присутствует сопутствующая информация, причем не всегда являющаяся обычным текстом.

Отдельное внимание было уделено автоматической оценке качества тем [37], получаемых с помощью различных методов тематического моделирования. Такой оценкой качества была выбрана метрика когерентности UMass, поскольку исследователи отмечали ее наибольшую корреляцию с человеческими оценками семантической интерпретируемости тем [38, 39].

В роли дополнительного критерия качества использовалась сумма вероятностей десяти верхних токенов темы (так называемая чистота темы) [40]. Однако в предыдущих экспериментах значения метрики когерентности UMass тематических моделей ARTM получились не выше, чем у других методов. Метод LDA существенно превзошел ARTM и другие методы по значению когерентности UMass. Результаты объясняются использованием ARTM без регуляризаторов, поскольку в таком режиме подход ARTM является обычным PLSA [41].

В рамках развития работ по тематическому моделированию сообществ социальных сетей [42] авторы провели эксперименты с настройкой базовых регуляризаторов, доступных в библиотеке BigARTM, и гиперпараметрами метода LDA. В качестве опорного (бейзлайн) для сравнения использовался метод LDA, поскольку он показал лучшие результаты в предыдущих экспериментах [36], а также метод ARTM без регуляризации, то есть фактически PLSA. На основании результатов экспериментов продемонстрировано, что подход ARTM с регуляризацией сопоставим с другими методами тематического моделирования по значениям метрики когерентности UMass и сумме вероятностей десяти верхних токенов темы. Это окончательно подтвердило применимость библиотеки BigARTM в будущих исследованиях для тематического моделирования сообществ социальных сетей. Однако было обнаружено, что метрика когерентности UMass не всегда подходит для автоматизированной оценки качества тематических моделей, полученных с помощью метода ARTM при использовании регуляризаторов. Поэтому было предложено несколько дополнительных метрик, которые могут быть полезными при оценивании качества тематической модели.

На основе проведенных авторами исследований, связанных с тематическим моделированием, был сделан вывод о невозможности на данный момент однозначной идентификации лучшего метода моделирования для коротких текстов социальных медиа. Поэтому ещё в процессе исследования качества тематических моделей применительно к специфическим текстам социальных медиа был расширен перечень возможных к применению методов построения тематических моделей за счет интеграции программных реализаций этих методов в разрабатываемый авторами фреймворк. В текущей версии фреймворка программно интегрированы различные модификации следующих методов тематического моделирования: LDA [43], PLSA [41], GSDMM [44], подход ARTM [40].

*Тональность сообщений и «Антибот».* Модули, относящиеся к определению тональности сообщений и «Антибот» [45] находятся на стадии разработки: протестировано несколько существующих решений-библиотек, ведутся работы по повышению качества результатов. Оценка тональности позволяет дополнить статистические данные и тематические характеристики сообщений вероятностным значением, определяющим их эмоциональную окраску в виде меток: «негатив», «позитив», «нейтраль». В свою очередь, принципиальное назначение функции «Антибот» состоит в отнесении обрабатываемых текстов сообщений с некоторой вероятностью к тем, которые написаны реальными людьми, и тем, авторство которых принадлежит техническим аккаунтам. Применение данных функций позволяет проводить более качественный анализ.

Следует отметить большой потенциал развития аналитического блока за счет применения в нём в будущем технологий формирующего ИИ.

### **Блок отчетных оповещений**

Программные модули, входящие в состав блока, позволяют формировать регулярный статистический отчет по данным мониторинга. Доступны стандартные форматы .csv и .xlsx. Предусмотрены настройки оповещений, реализованных на базе электронной почты, а также прорабатывается возможность оповещения с помощью мессенджера «Телеграм». Пользовательский интерфейс для гибкой настройки формы представления отчета находится на стадии проектирования.

### **Блок интеграции и визуализации**

Все многообразие функциональных инструментов разрабатываемого фреймворка представляется в виде отдельных скриптов на языке программирования python 3.x. Совместное использование этих функций при реализации отдельных проектов предлагается реализовать через технологию REST API [46]. Для автоматизированного формирования интерфейсов доступа к каждому скрипту разработан и проходит тестовую отладку менеджер скриптов. Предполагается, что доступ к функциям и модулям будет осуществляться и через программный интерфейс, и через пользовательские веб-интерфейсы.

Для визуализации результатов моделирования и анализа используются традиционные библиотеки и фреймворки на базе python, такие как Plotly Dash, Matplotlib, Seaborn.

### **Заключение**

Повсеместная цифровизация, датафикация и социальные медиа, в частности, как основной источник больших открытых данных, позволяют проводить их сбор, агрегацию и впоследствии анализировать и представлять результаты для принятия различных управленческих решений, в том числе для поддержки регионального развития.

В данной работе представлено концептуальное описание информационно-аналитической системы поддержки управления региональным развитием на основе открытых больших данных социальных медиа. Эти идеи поддержаны практическим опытом программной реализации ряда компонентов специализированного фреймворка и создания соответствующей системной и пользовательской инфраструктур. Все представленные разработки являются развитием известного практического опыта, но сконцентрированы на решении задач поддержки регионального развития на примере Мурманской области. Важные для региона социальные объекты и процессы находят свое отражение в виртуальном пространстве социальных сетей. Автоматизированная обработка больших открытых данных, выделение и моделирование в них этих сущностей позволяют повысить качество управленческих решений.

В настоящее время большие открытые данные представляют собой огромный интерес для исследователей. Появляется все больше различных подходов, технологий и инструментальных средств для их обработки и анализа. Авторы данной работы планируют развивать наработки в соответствии с новыми результатами своих исследований. Особый интерес представляет применение в разработках компонентов формирующего ИИ.

### **Список сокращений**

PR (пиар — Public Relations) — публичные отношения, связи с общественностью, отношения с общественностью, общественные связи, общественное взаимодействие.

HR (Human resources — эйчар, «человеческие ресурсы») — персонал компании, сотрудники. Также сегодня «эйчаром» называются специалисты в области управления персоналом (менеджеры по персоналу, рекрутеры, специалисты по оплате труда, бизнес-тренеры).

СМИ (средства массовой информации) — совокупность органов публичной передачи информации с помощью технических средств.

SMM (Social Media Marketing) — использование социальных сетей в качестве каналов для продвижения бренда, увеличения целевой аудитории, привлечения трафика на сайт и повышения продаж.

ИИ (англ. Artificial intelligence, AI) — искусственный интеллект. Существует множество определений ИИ, поскольку понятие имеет философский оттенок. Наиболее популярные определения: 1) направление в информатике и информационных технологиях, задачей которого является воссоздание с помощью вычислительных систем и иных искусственных устройств разумных рассуждений и действий; 2) способность системы правильно интерпретировать внешние данные, извлекать знания из таких данных и использовать полученные знания для достижения конкретных целей и задач при помощи гибкой адаптации. Некоторые исследователи призывают расшифровывать ИИ более корректно — имитация интеллекта.

Umass (Юниверсити оф Массачусетс) — общепринятое обозначение, используется в данной работе для идентификации метрики когерентности, созданной именно в Университете Массачусетса, по причине существования альтернативной метрики когерентности Uci, созданной на базе Калифорнийского университета в Ирвайне (англ. University of California, Irvine).

TF-IDF (TF — term frequency, IDF — inverse document frequency) — статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов (корпуса). Вес некоторого слова пропорционален частоте употребления этого слова в документе и обратно пропорционален частоте употребления слова во всех документах коллекции.

PLSA (Probabilistic Latent Semantic Analysis — вероятностный латентный семантический анализ) — вероятностная тематическая модель представления текста на естественном языке. Модель называется латентной, так как предполагает введение скрытого (латентного) параметра — темы. Модель предложена Томасом Хофманном в 1999 г.

LDA (Latent Dirichlet allocation — латентное размещение Дирихле) — порождающая модель, метод тематического моделирования, впервые был представлен в качестве графовой модели для обнаружения тематик Дэвидом Блеем, Эндрю Ёном и Майклом Джорданом в 2003 г. Похож на PLSA, отличие заключается в том, что в LDA предполагается, что распределение тематик имеет в качестве априорного распределение Дирихле.

ARTM (Additive Regularization of Topic Models — аддитивная регуляризация тематических моделей) — математический подход тематического моделирования, основанный на максимизации взвешенной суммы логарифма правдоподобия и дополнительных критериев — регуляризаторов.

BigARTM — библиотека с открытым кодом для тематического моделирования больших коллекций текстовых документов и массивов транзакционных данных. Эффективная потоковая параллельная реализация вероятностного тематического моделирования на основе аддитивной регуляризации.

GSDMM (Gibbs Sampling Dirichlet Multinomial Mixture) — метод тематического моделирования, основан на предположении, что один документ посвящен только одной теме. Авторы этого метода (Цзяньхуа Инь и Цзяньюнг Ван) утверждают, что он отлично (лучше, чем метод Vanilla LDA) работает с короткими текстами, такими как твиты и обзоры фильмов.

API (Application Programming Interface) — описание способов взаимодействия одной компьютерной программы с другими.

RPC (Remote Procedure Call — удалённый вызов процедур, иногда — вызов удалённых процедур) — класс технологий, позволяющих программам вызывать функции или процедуры в другом адресном пространстве (на удалённых узлах либо в независимой сторонней системе на том же узле).

REST (Representational State Transfer — дословно «передача репрезентативного состояния» или «передача “самоописываемого” состояния») — архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети. Другими словами, REST — это набор правил для программиста: как организовать написание кода серверного приложения, чтобы упростить обмен данными между всеми системами и масштабирование приложения. REST является альтернативой RPC. В Интернете вызов удалённой процедуры может представлять собой обычный HTTP-запрос (обычно GET или POST; такой запрос называют REST-запросом), а необходимые данные передаются в качестве параметров запроса. Для веб-служб, построенных с учётом REST (то есть не нарушающих накладываемых им ограничений), применяют термин “RESTful”.

HTML (от англ. HyperText Markup Language — язык гипертекстовой разметки) — стандартизированный язык гипертекстовой разметки документов для просмотра веб-страниц в браузере.

HTTP (HyperText Transfer Protocol — протокол передачи гипертекста) — протокол прикладного уровня передачи данных, изначально — в виде гипертекстовых документов в формате HTML, в настоящее время используется для передачи произвольных данных.

JSON (JavaScript Object Notation) — текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript.

NoSQL — обозначение класса разнородных систем управления базами данных (СУБД), появившихся в конце 2000-х — начале 2010-х гг. и существенно отличающихся от традиционных реляционных СУБД с доступом к данным средствами языка SQL. Другими словами, это семейство СУБД, которые хранят данные в формате, отличном от реляционных таблиц.

MongoDB — документоориентированная СУБД, не требующая описания схемы таблиц. Считается одним из классических примеров NoSQL-систем, использует JSON-подобные документы и схему базы данных. Написана на языке программирования C++.

ГБ (гигабайт) — единица измерения количества информации.

WD (Western Digital Corporation, иногда WDC, по-русски — «Вестерн Диджитал») — компания, производитель компьютерной электроники.

HDD (hard (magnetic) disk drive, иногда — HMDD) — жёсткий диск, запоминающее устройство (накопитель) произвольного доступа, основанное на принципе магнитной записи.

DDR (Double Data Rate) — удвоенная скорость передачи данных. DDR SDRAM, DDR2 SDRAM, DDR3 SDRAM, DDR4 SDRAM и DDR5 SDRAM — типы компьютерной оперативной памяти.

ОС — операционная система, комплекс программ, предназначенных для управления ресурсами компьютера и организации взаимодействия с пользователем.

UNIX — семейство переносимых, многозадачных и многопользовательских операционных систем, которые основаны на идеях оригинального проекта AT & T Unix, разработанного в 1970-х гг. в исследовательском центре Bell Labs Кеном Томпсоном, Деннисом Ритчи и другими.

PyCharm — это кроссплатформенная интегрированная среда разработки для языка программирования Python.

MS VSCode (Microsoft Visual Studio Code) — редактор исходного кода, разработанный Microsoft для Windows, Linux и macOS. Позиционируется как «лёгкий» редактор кода для кроссплатформенной разработки веб- и облачных приложений.

JupyterLab — это интерактивная среда разработки для работы с блокнотами (Jupyter Notebook), сценариями Python, текстовыми редакторами и терминалами в рабочей области с вкладками. IDE (Integrated Development Environment — интегрированная или единая среда разработки) JupyterLab, включенная в IBM Watson Studio, содержит все строительные блоки для разработки интерактивных аналитических исследовательских вычислительных процедур с использованием Python.

Debian GNU/Linux — один из самых популярных и важных дистрибутивов GNU/Linux, в первичной форме оказавший значительное влияние на развитие этого типа ОС в целом.

SSH (Secure Shell — безопасная оболочка) — сетевой протокол прикладного уровня, позволяющий производить удалённое управление ОС и туннелирование TCP-соединений.

TCP (Transmission Control Protocol — протокол управления передачей) — один из основных протоколов передачи данных Интернета.

PuTTY — свободно распространяемый клиент для различных протоколов удалённого доступа, включая SSH, Telnet, rlogin.

Django — свободный фреймворк для веб-приложений на языке Python, использующий шаблон проектирования MVC.

MVC (Model-View-Controller) — схема разделения данных приложения и управляющей логики на три отдельных компонента (модель, представление и контроллер) таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо. Модель предоставляет данные и реагирует на команды контроллера, изменяя своё состояние.

Robo 3T (ранее Robomongo) — кроссплатформенный инструмент управления MongoDB, ориентированный на оболочку. В отличие от большинства других пользовательских интерфейсов MongoDB, Robo 3T встраивает реальную оболочку mongo в интерфейс с вкладками с доступом к командной строке оболочки, а также взаимодействует с графическим интерфейсом.

cron — классический демон, использующийся для периодического выполнения заданий в определённое время. Регулярные действия описываются инструкциями, помещенными в файлы crontab и специальные каталоги. Название cron образовано от греческого слова χρόνος — время.

## Список источников

1. Вечкинзова Е. А. К вопросу об определении понятия «региональное развитие» // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2010. № 5. С. 71–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-opredelenii-ponyatiya-regionalnoe-razvitiye> (дата обращения: 10.10.2022).

2. Bærenholdt, Jørgen Ole. Regional Development and Noneconomic Factors // *International Encyclopedia of Human Geography* / editors Rob Kitchin; Nigel Thrift. Vol. 9. Amsterdam: Pergamon Press, 2009. P. 181–186.
3. Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
4. Алиева А. Х. Ключевые аспекты использования социальных сетей для бизнес-модели B2B // *Журнал прикладных исследований*. 2021. № 6. С. 719–724. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-aspekty-ispolzovaniya-sotsialnyh-setey-dlya-biznes-modeli-b2b> (дата обращения: 18.10.2022).
5. Рослякова М. В. Социальные сети в профессиональной деятельности государственных служащих: российская практика и зарубежный опыт // *Социодинамика*. 2019. № 9. С. 82–99. DOI: 10.25136/2409-7144.2019.9.30298. URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=30298](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=30298) (дата обращения: 18.10.2022).
6. Симачевский Р. Муниципальный SMM: как социальные сети помогают местному самоуправлению. URL: <https://vc.ru/marketing/198267-municipalnyu-smm-kak-socialnye-seti-pomogayut-mestnomu-samoupravleniyu> (дата обращения: 19.10.2022).
7. Alqudsi, Taghreed. Creative use of Social Media in the Revolutions of Tunisia, Egypt & Libya // *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences: Annual Review*. 2012. Vol. 6. P. 147–158. DOI: 10.18848/1833-1882/CGP/v06i06/52097
8. Губанов Д. А., Чхартишвили А. Г. Концептуальный подход к анализу онлайн-социальных сетей // *УБС*. 2013. № 45. С. 222–236. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnyu-podhod-k-analizu-onlaynovyh-sotsialnyh-setey> (дата обращения: 19.10.2022).
9. Безбогова М. С., Ионцева М. В. Социально-психологические аспекты взаимодействия пользователей в виртуальных социальных сетях // *Мир науки. Педагогика и психология*. 2016. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-psihologicheskie-aspekty-vzaimodeystviya-polzovateley-v-virtualnyh-sotsialnyh-setyah> (дата обращения: 24.10.2022).
10. Сайт «Лидеры Севера». URL: <https://лидеры-севера.рф/>.
11. Best Social Media Monitoring Software. URL: <https://www.g2.com/categories/social-media-monitoring>.
12. Рязанова Н. Ю., Сперцян К. М. Сравнительный анализ методов определения эмоциональной окраски сообщений в социальных сетях с применением обучения с учителем // *Новые информационные технологии в автоматизированных системах*. 2018. № 21. С. 417–423. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyu-analiz-metodov-opredeleniya-emotsionalnoy-okraski-soobscheniy-v-sotsialnyh-setyah-s-primeneniem-obucheniya-s-uchitelem> (дата обращения: 21.10.2022).
13. Богданов А. Л., Дуля И. С. Сентимент-анализ коротких русскоязычных текстов в социальных медиа // *Вестн. Том. гос. ун-та. Экономика*. 2019. № 47. С. 220–241. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sentiment-analiz-korotkih-russkoyazychnyh-tekstov-v-sotsialnyh-media> (дата обращения: 21.10.2022).
14. Крибрум. URL: <https://www.ashmanov.com/tech-i-services/kribrum/>.
15. Медиалогия. URL: <https://medialogia.com/products/pr/>.
16. [М 13] Мониторинг и аналитика сообщений СМИ и социальных сетей. URL: <https://www.m13.ru/>.
17. Система мониторинга и анализа СМИ и соцмедиа // *СКАН-Интерфакс*. URL: <https://scan-interfax.ru/media-monitoring/>.
18. Babkee — система мониторинга социальных медиа и СМИ. URL: <https://www.babkee.ru>.
19. Exlibris. URL: <https://exlibris.ru/>.
20. Мониторинг СМИ и социальных сетей в режиме реального времени. URL: <https://pressindex.ru/>.
21. Интегрум. URL: <https://integrum.ru/>.
22. IQBuzz. URL: <http://iqbuzz.pro/>.
23. SemanticForce: Единая платформа мониторинга и анализа онлайн-медиа. URL: <https://semanticforce.ai/ru>.
24. Связь с общественностью // *Википедия*. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Связи\\_с\\_общественностью](https://ru.wikipedia.org/wiki/Связи_с_общественностью).
25. Ren H., Yang Q. Predicting and Evaluating the Popularity of Online News // *Stanford University*. 2015. URL: [https://cs229.stanford.edu/proj2015/328\\_report](https://cs229.stanford.edu/proj2015/328_report) (дата обращения: 21.10.2022).

26. Fernandes K., Vinagre P., Cortez P. A Proactive Intelligent Decision Support System for Predicting the Popularity of Online News. 2015 // Pereira F., Machado P., Costa E., Cardoso A. (eds) Progress in Artificial Intelligence. EPIA 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9273. Springer, Cham.
27. Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Модели репутации и информационного управления в социальных сетях // Управление большими системами. 2009. № 26.1. С. 209–234.
28. Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. М.: Физматлит, 2010. 244 с.
29. Губанов Д. А. Обзор онлайн-овых систем репутации / доверия // Интернет-конференция по проблемам управления / ИПУ РАН. М., 2009. URL: [http://www.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show\\_file.php?fid=1671](http://www.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=1671) (дата обращения: 21.10.2022).
30. Datyev I. O., Fedorov A. M., Shchur A. L. Framework for civic engagement analysis based on open social media data // Silhavy, R. (ed.): CSOC 2020. AISC, vol. 1225. Springer, Cham, 2020. P. 586–597. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1_48) (дата обращения: 21.10.2022).
31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661630. ИАС «Региональные профили социальной сети» / Рябов Д. В., Федоров А. М., Датьев И. О.; Роспатент. 04.09.2019.
32. Использование API | Быстрый старт | VK для разработчиков. URL: <https://dev.vk.com/api/getting-started>.
33. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619469. Информационная Система Мониторинга Сообществ ВКонтакте («ИС МСВ») / Федоров А. М., Датьев И. О., Щур А. Л.; Роспатент. 17.08.2020.
34. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619468. Информационно-Аналитическая Система Социальная-Сеть-Статистика (ИАС СССР) / Федоров А. М., Датьев И. О., Щур А. Л.; Роспатент. 17.08.2020.
35. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668445. Подсистема организации и проведения экспериментов тематического моделирования по заданному множеству параметров / Федоров А. М., Датьев И. О.; Роспатент. 16.11.2021.
36. Fedorov, A. M., Datyev I. O., Shchur A. L. Social Media Communities Topic Modeling // Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds.): Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 231. Springer, Cham, 2021. P. 605–614. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_50) (дата обращения: 21.10.2022).
37. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668652. Подсистема выбора оптимальной (по заданному критерию) модели тематического моделирования / Федоров А. М., Датьев И. О.; Роспатент. 18.11.2021.
38. Optimizing semantic coherence in topic models / D. Mimno, H. Wallach, Ed. Talley, M. Leenders, A. McCallum // Proceedings of the 2011 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Edinburgh, Scotland, UK. — Association of Computational Linguistics, 2011. P. 262–272.
39. Automatic evaluation of topic coherence / D. Newman, J. H. Lau, K. Grieser, T. Baldwin // Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (HLT 2010). — Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, 2010. P. 100–108.
40. Vorontsov K., Potapenko A. Additive regularization of topic models // Mach Learn. 2015. 101. P. 303–323. URL: <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6> (дата обращения: 21.10.2022).
41. Hofmann, T. Probabilistic latent semantic indexing // Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '99). — Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999. P. 50–57. URL: <https://doi.org/10.1145/312624.312649> (дата обращения: 21.10.2022).
42. Датьев И. О., Федоров А. М. Аддитивная регуляризация при тематическом моделировании текстов сообществ онлайн-овых социальных сетей // Онтология проектирования. 2022. Т. 12, № 2 (44). С. 186–199. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199
43. Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. Latent Dirichlet allocation // J. Mach. Learn. Res. 2003. № 3. P. 993–1022.

44. Jianhua Yin, Jianyong Wang. A dirichlet multinomial mixture model-based approach for short text clustering // Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (KDD '14). — Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2014. P. 233–242. URL: <https://doi.org/10.1145/2623330.2623715> (дата обращения: 21.10.2022).
45. Главная // ГосВонь: сайт. URL: <https://gosvon.net/>.
46. Введение в REST API — RESTful веб-сервисы. URL: <https://habr.com/ru/post/483202/>.

## References

1. Vechkinzova E. A. K voprosu ob opredelenii ponyatiya “regional'noe razvitie” [To the question of the definition of the concept of “regional development”]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University], 2010, no. 5, pp. 71–73. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-opredelenii-ponyatiya-regionalnoe-razvitie> (accessed 10.10.2022).
2. Bærenholdt Jørgen Ole. *Regional Development and Noneconomic Factors. International Encyclopedia of Human Geography*. Editors Rob Kitchin, Nigel Thrift. Vol. 9. Amsterdam, Pergamon Press, 2009, pp. 181–186.
3. <https://rosstat.gov.ru/>.
4. Alieva A. H. Klyuchevye aspekty ispol'zovaniya social'nyh setej dlya biznes-modeli B2B [Key aspects of using social media for a B2B business model]. *Zhurnal prikladnyh issledovaniy* [Journal of Applied Research], 2021, no. 6, pp. 719–724. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-aspekty-ispolzovaniya-sotsialnyh-setey-dlya-biznes-modeli-b2b> (accessed 18.10.2022).
5. Roslyakova M. V. Social'nye seti v professional'noj deyatel'nosti gosudarstvennyh sluzhashchih: rossijskaya praktika i zarubezhnyj opyt [Social networks in the professional activities of civil servants: Russian practice and foreign experience]. *Sociodinamika* [Sociodynamics], 2019, no. 9, pp. 82–99. (In Russ.). DOI: 10.25136/2409-7144.2019.9.30298. Available at: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=30298](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=30298) (accessed 18.10.2022).
6. Simachevskij R. Municipal'nyj SMM: kak social'nye seti pomogayut mestnomu samoupravleniyu. (In Russ.). Available at: <https://vc.ru/marketing/198267-municipalnyy-smm-kak-socialnye-seti-pomogayut-mestnomu-samoupravleniyu> (accessed 19.10.2022).
7. Alqudsi Taghreed. Creative use of Social Media in the Revolutions of Tunisia, Egypt & Libya. *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences: Annual Review*, 2012, vol. 6, pp. 147–158. DOI: 10.18848/1833-1882/CGP/v06i06/52097
8. Gubanov D. A., Chkhartishvili A. G. Konceptual'nyj podhod k analizu onlaynovykh social'nyh setej [A conceptual approach to the analysis of online social networks]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large-Scale Systems Control], 2013, no. 45, pp. 222–236. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnyy-podhod-k-analizu-onlaynovykh-sotsialnyh-setey> (accessed 19.10.2022).
9. Bezbogova M. S., Ionceva M. V. Social'no-psihologicheskie aspekty vzaimodejstviya pol'zovatelej v virtual'nykh social'nykh setyah [Socio-psychological aspects of user interaction in virtual social networks]. *Mir nauki. Pedagogika i psihologiya* [The World of Science. Pedagogy and Psychology], 2016, no. 5. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-psihologicheskie-aspekty-vzaimodeystviya-polzovateley-v-virtualnykh-sotsialnykh-setyah> (accessed 24.10.2022).
10. <https://лидеры-севера.рф/>.
11. <https://www.g2.com/categories/social-media-monitoring>.
12. Ryazanova N. Yu., Spercyan K. M. Sravnitel'nyj analiz metodov opredeleniya emocional'noj okraski soobshchenij v social'nykh setyah s primeneniem obucheniya s uchitelem [Comparative analysis of methods for determining the emotional coloring of messages in social networks using learning with a teacher]. *Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemah* [New Information Technologies in Automated Systems], 2018, no. 21, pp. 417–423. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-metodov-opredeleniya-emotsionalnoy-okraski-soobscheniy-v-sotsialnykh-setyah-s-primeneniem-obucheniya-s-uchitelem> (accessed 21.10.2022).

13. Bogdanov A. L., Dulya I. S. Sentiment-analiz korotkih russkoyazychnyh tekstov v social'nyh media [Sentiment analysis of short Russian-language texts in social media]. *Vestn. Tom. gos. un-ta. Ekonomika* [Bulletin of Tomsk State University. Economy], 2019, no. 47, pp. 220–241. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sentiment-analiz-korotkih-russkoyazychnyh-tekstov-v-sotsialnyh-media> (accessed 21.10.2022).
14. <https://www.ashmanov.com/tech-i-services/kribrum/>.
15. <https://medialogia.com/products/pr/>.
16. <https://www.m13.ru/>.
17. <https://scan-interfax.ru/media-monitoring/>.
18. <https://www.babkee.ru>.
19. <https://exlibris.ru/>.
20. <https://pressindex.ru/>.
21. <https://integrum.ru/>.
22. <http://iqbuzz.pro/>.
23. <https://semanticforce.ai/ru>.
24. [https://ru.wikipedia.org/wiki/СВЯЗИ\\_с\\_общественностью](https://ru.wikipedia.org/wiki/СВЯЗИ_с_общественностью).
25. Ren H., Yang Q. *Predicting and Evaluating the Popularity of Online News*. Stanford University, 2015. Available at: [https://cs229.stanford.edu/proj2015\\_328\\_report](https://cs229.stanford.edu/proj2015/proj2015_328_report) (accessed 21.10.2022).
26. Femandes K., Vinagre P., Cortez P. A Proactive Intelligent Decision Support System for Predicting the Popularity of Online News. 2015. In: Pereira F., Machado P., Costa E., Cardoso A. (eds). *Progress in Artificial Intelligence. EPIA 2015. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9273. Springer, Cham.
27. Gubanov D. A., Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. Modeli reputacii i informacionnogo upravleniya v social'nyh setyah [Models of reputation and information management in social networks]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large System Management], 2009, no. 26.1, pp. 209–234. (In Russ.).
28. Gubanov D. A., Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. *Social'nye seti: modeli informacionnogo vliyaniya, upravleniya i protivoborstva* [Social networks: models of information influence, control and confrontation]. Moscow, Fizmatlit, 2010, 244 p. (In Russ.).
29. Gubanov D. A. Obzor onlajnovykh sistem reputacii / doveriya [Overview of Online Reputation / Trust Systems]. *Internet-konferenciya po problemam upravleniya, IPU RAN* [Internet conference on control problems, Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences]. Moscow, 2009. (In Russ.). Available at: [http://www.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show\\_file.php?fid=1671](http://www.mtas.ru/bitrix/components/bitrix/forum.interface/show_file.php?fid=1671) (accessed 21.10.2022).
30. Datyev I. O., Fedorov A. M., Shchur A. L. Framework for civic engagement analysis based on open social media data. In: Silhavy R. (ed.): *CSOC 2020. AISC*, vol. 1225, Springer, Cham, 2020, pp. 586–597. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1_48) (accessed 21.10.2022).
31. Ryabov D. V., Fedorov A. M., Datyev I. O. IAS “Regional profiles of the social network”. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2019661630, 2019. (In Russ.).
32. <https://dev.vk.com/api/getting-started>.
33. Fedorov A. M., Datyev I. O., Shchur A. L. VKontakte Community Monitoring Information System (“MSV IS”). The Certificate on official registration of the computer program. No. 2020619469, 2020. (In Russ.).
34. Fedorov A. M., Datyev I. O., Shchur A. L. Information-Analytical System Social-Network-Statistics (IAS SSS). The Certificate on official registration of the computer program. No. 2020619468, 2020. (In Russ.).
35. Fedorov A. M., Datyev I. O. Subsystem for organizing and conducting experiments of topic modeling for a given set of parameters. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2021668445, 2021. (In Russ.).
36. Fedorov A. M., Datyev I. O., Shchur A. L. Social Media Communities Topic Modeling. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds.): *Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 231. Springer, Cham, 2021, pp. 605–614. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_50) (accessed 21.10.2022).

37. Fedorov A. M., Datyev I. O. Subsystem for selecting the optimal (according to a given criterion) model of topic modeling. The Certificate on official registration of the computer program. No. 202166865, 2021. (In Russ.).
38. Mimno D., Wallach H., Talley Ed., Leenders M., McCallum A. Optimizing semantic coherence in topic models. In: *Proceedings of the 2011 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Edinburgh, Scotland, UK. — Association of Computational Linguistics, 2011, pp. 262–272.
39. Newman D., Lau J. H., Grieser K., Baldwin T. Automatic evaluation of topic coherence. In: *Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (HLT 2010)*. — Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, 2010, pp. 100–108.
40. Vorontsov, K., Potapenko, A. Additive regularization of topic models. *Mach Learn*, 2015, no. 101, pp. 303–323. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6> (accessed 21.10.2022).
41. Hofmann T. Probabilistic latent semantic indexing. In: *Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '99)*. — Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999, pp. 50–57. Available at: <https://doi.org/10.1145/312624.312649> (accessed 21.10.2022).
42. Datyev I. O., Fedorov A. M. Additivnaya regularizatsiya pri tematicheskoy modelirovaniy tekstv soobshchestv onlaynovykh social'nykh setey [Additive Regularization in Topic Modeling of Texts of Communities of Online Social Networks]. *Ontologiya proektirovaniya [Ontology of Designing]*, 2022, no. 2 (44), pp. 186–199. (In Russ.). DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199
43. Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. Latent Dirichlet allocation. *J. Mach. Learn. Res.*, 2003, no. 3, pp. 993–1022.
44. Jianhua Yin, Jianyong Wang. A dirichlet multinomial mixture model-based approach for short text clustering. In: *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '14)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2014, pp. 233–242. Available at: <https://doi.org/10.1145/2623330.2623715> (accessed 21.10.2022).
45. <https://gosvon.net/>.
46. <https://habr.com/ru/post/483202/>.

#### **Информация об авторах**

**Андрей Михайлович Федоров** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;  
**Игорь Олегович Датъев** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
**Максим Геннадьевич Шишаев** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;  
**Сергей Сергеевич Федотов** — программист, аспирант;  
**Иван Геннадьевич Вишняков** — системный администратор, магистрант.

#### **Information about the authors**

**Andrey M. Fedorov** — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher;  
**Igor O. Datyev** — Candidate of Science (Tech.), Senior Researcher;  
**Maksim G. Shishaev** — Doctor of Science (Tech.), Chief Research Fellow;  
**Sergey S. Fedotov** — Programmer, graduate student;  
**Ivan G. Vishnyakov** — System Administrator, undergraduate.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 29.10.2022; принята к публикации 08.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 29.10.2022; accepted for publication 08.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.853  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.002

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ ИЗ NER-РАЗМЕЧЕННЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОНТОЛОГИИ\*

**Павел Андреевич Ломов<sup>1</sup>**, **Марина Леонидовна Никонорова<sup>2</sup>**, **Максим Геннадьевич Шишаев<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*lomov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

<sup>2</sup>*malozemova@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

<sup>3</sup>*shishaev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

### Аннотация

Данная работа является продолжением исследования по обучению и использованию языковой нейросетевой модели для решения задачи обучения онтологий. Рассматривается проблема анализа естественно-языковых текстов по предметной области и извлечения из них возможных отношений между понятиями. Представлен краткий обзор существующих подходов к извлечению отношений из неструктурированных текстовых данных. Предложена процедура извлечения отношений между понятиями на основе анализа дерева синтаксического анализа предложения. Рассмотрены результаты оценки эффективности извлечения отношений в результате применения данной процедуры.

### Ключевые слова:

извлечение отношений, обучение онтологии, NLP

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Ломов П. А., Никонорова М. Л., Шишаев М. Г. Извлечение отношений из NER-размеченных предложений для обучения онтологии // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 23–30. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.002

Original article

## EXTRACTING RELATIONS FROM NER-TAGGED SENTENCES FOR ONTOLOGY LEARNING

**Pavel A. Lomov<sup>1</sup>**, **Marina L. Nikonorova<sup>2</sup>**, **Maxim G. Shishaev<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*lomov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-0924-0188>

<sup>2</sup>*malozemova@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-4358-2683>

<sup>3</sup>*shishaev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>

### Abstract

This paper is a continuation of the research on training and using a neural-network language model for ontology learning. The paper deals with the problem of analyzing domain natural language texts and extracting possible relations between concepts from them. A brief overview of existing approaches to solving this problem is presented. A procedure for extracting relations between concepts based on the analysis of the sentence syntax dependency tree is proposed. The results of evaluating the efficiency of extracting relations using this procedure are considered.

### Keywords:

relation extraction, ontology learning, NLP

---

\* Адаптированный перевод статьи: Lomov P. A. Extracting Relations from NER-tagged Sentences for Ontology Learning / P. A. Lomov, M. L. Malozemova, M. G. Shishaev // Artificial Intelligence Trends in Systems. Lecture Notes in Networks and Systems / ed. R. Silhavy. Cham: Springer International Publishing, 2022. pp. 337–344.

### **Acknowledgments:**

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic "Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data" (registration number of the research topic 122022800551-0).

### **For citation:**

Lomov P. A., Nikonorova M. L., Shishaev M. G. Extracting relations from NER-tagged sentences for ontology learning // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 23–30. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.002

### **Введение**

На сегодняшний день задача извлечения отношений из неструктурированных текстовых данных является довольно актуальной при решении различного рода прикладных задач обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). В частности, задача извлечения отношений предполагает обнаружение в текстовых данных отношений между сущностями. Они могут быть представлены в виде троек <субъект, отношение, объект>, которые могут быть извлечены с помощью подходов, предполагающих использование лексико-синтаксических шаблонов, автоматических или созданных вручную правил (эвристик), а также с помощью методов машинного обучения (нейронные сети).

Извлечение отношений является одним из ключевых этапов в процессе разработки онтологий. Под онтологией понимается концептуальная модель предметной области, разделяемая некоторой группой агентов (люди, организации, информационные системы и т. д.) [1]. Разработка онтологий рассматривается в рамках процесса обучения онтологий (ontology learning), который включает в себя такие шаги, как извлечение таксономических и нетаксономических отношений из текста. Извлечение таксономических отношений позволяет построить основную иерархию обнаруженных в текстах предметной области концептов, а извлечение нетаксономических отношений позволяет отразить предметные связи между ними.

В данной работе рассматривается проблема извлечения отношений из текстов по предметной области с целью дальнейшего их добавления в онтологию. При этом извлечение производится из тех предложений, в которых с помощью ранее предложенной технологии [2, 3] были обнаружены возможные понятия онтологии. Поэтому здесь рассматривается последующее использование полученного набора предложений с метками, указывающими положение найденных понятий.

### **Предыдущая работа**

В прошлой работе [2] была предложена технология, предполагающая анализ онтологии для формирования исходного списка ее понятий, сбор и анализ текстов, относящихся к предметной области онтологии, с формированием в результате обучающего набора размеченных предложений. Метка, присваиваемая предложению, в этом случае содержала границы обнаруженного в нем понятия и его категорию.

Далее данный набор применялся для обучения нейросетевой языковой модели, ориентированной на решение задачи извлечения именованных сущностей. Модель впоследствии применялась для извлечения из текстов новых понятий — кандидатов на добавление в онтологию.

В работе [3] в технологию были добавлены шаги «уточнения» понятий и аугментации полученного набора. Шаг уточнения предполагал включение в состав понятия некоторых синтаксически связанных с ним слов предложения. Например, уточнение понятия «аэропорт» до «Международный аэропорт Шереметьево» в предложении «Международный аэропорт Шереметьево является крупнейшим в России». Это позволяло точнее скорректировать границы понятия в предложениях обучающего набора и тем самым правильно задать контекст его употребления, что положительно сказалось при обучении модели.

Аугментация, в свою очередь, предполагала генерацию новых образцов — размеченных предложений путем замены некоторых комбинаций слов из контекста понятия на альтернативные, предложенные предобученной общезыковой BERT-моделью для русского языка. Это также давало некоторое (незначительное по сравнению с уточнением понятий) улучшение результативности модели.

В данной работе мы рассмотрим проблему извлечения отношений из размеченных предложений, полученных в результате применения уже обученной модели на наборе текстов. Предполагается, что в таких предложениях уже существует понятие, релевантное исходной онтологии, и требуется найти связанное с ним некоторым отношением другое понятие.

### **Обзор существующих подходов к извлечению отношений**

Извлечение отношений из текста — это подзадача NLP, ориентированная на выявление отношений между парами сущностей в неструктурированных текстовых данных. В ранних работах по извлечению отношений из текста использовались подходы на основе правил (например, паттерны Hearst [4, 5]), а также признаковые модели. Например, Mintz и др. [6] учитывали в модели лексические признаки, такие как: последовательность слов между двумя сущностями и их тэги частей речи; маркер, указывающий, какая сущность появляется первой в предложении; количество токенов слева от первой сущности и количество токенов справа от второй сущности, а также их тэги частей речи. Кроме того, авторы извлекали путь зависимости (dependency path) между двумя сущностями как синтаксический признак, а также их типы.

В работе [7] для извлечения отношений учитывали следующие признаки: главные токены двух сущностей, токены двух сущностей, токены между двумя сущностями, их теги частей речи, порядок следования двух сущностей, расстояние между ними и кластер Брауна [8] для каждого токена.

В недавних исследованиях задачу извлечения отношений решают с использованием нейросетевых моделей на основе архитектуры Transformer [9]. Данные работы можно условно разделить на две группы: первая группа ориентирована на извлечение отношений в рамках предложения [10–12], а вторая — на извлечение отношений в рамках документа [13, 14]. Например, в работе [10] представлен фреймворк CASREL на базе BERT-модели, который позволяет идентифицировать все возможные тройки токенов (субъект, отношение, объект) в предложении, где некоторые такие тройки могут включать одинаковые сущности. Первым этапом в предложении идентифицируются все возможные токены-субъекты. Вторым этапом, используя обученные для каждого типа отношения тэггеры и выявленные токены-субъекты, идентифицируются все возможные отношения и соответствующие токены-объекты.

В работе [11] на вход предобученной BERT-модели передается предложение, в котором позиции двух сущностей, между которыми необходимо определить отношение, помечены специальными токенами. BERT учитывает эти позиции, а также контекст предложения, благодаря чему более точно предсказывает отношение между сущностями. В работе [12] авторы генерируют обучающие наборы данных, содержащие операторы отношений, представляющие собой предложения, в которых сущности заменены токеном [BLANK]. Модель BERT принимает на вход пару таких операторов отношений, содержащих одинаковые маскированные сущности, а на выходе строит их схожие векторные представления отношений.

Помимо архитектуры Transformer в последнее время стало распространенной практикой использование архитектуры на базе графовых сверточных сетей (Graph Convolutional Network, GCN). GraphRel [15] позволяет извлекать не только отношения, но и сами сущности в два этапа. На первом этапе, применяя двунаправленные рекуррентные и GCN сети, извлекаются последовательные и локальные признаки слов, с учетом которых предсказываются отношения для каждой пары слов, а также их типы. На втором этапе для каждого предсказанного отношения строятся полные реляционные графы, к которым последовательно применяются GCN. В результате этого этапа извлекаются достаточные признаки слов, с учетом которых выполняется более точная классификация сущностей и отношений.

В качестве работ, рассматривающих извлечение отношений в рамках документа, можно привести работы [13, 14]. В работе [13] для этой цели также используют BERT-модель. Чтобы точнее описать каждое упоминание сущности в тексте, авторы предлагают маскировать сущности двумя специальными токенами, один из которых — тип сущности, а второй указывает на номер сущности в документе (например, «[LOC] Австралия [MASK\_1]»). Такое представление входных данных обеспечивает более точное определение типов отношений между сущностями, а также позволяет решить проблему кореференции за счет связывания слов одинаковым токеном в разных предложениях.

В работе [14] для извлечения отношений в рамках документа также используют GCN. Авторы рассматривают каждый токен в документе как узел в графе, а для создания связей между ними используют отношения из дерева зависимостей предложения, ребра кореференции (соединяют токены документа, которые относятся к одной и той же сущности), ребра смежности слов и предложений (для сохранения последовательности информации) и ребра-петли (чтобы учесть информацию о самих узлах).

Другим примером решения задачи извлечения отношений является ее рассмотрение как вопросно-ответной задачи [16]. Первым этапом, используя шаблоны вопросов о типе сущности, из исходного предложения извлекают сущность-субъект отношения. Вторым этапом генерируется вопрос, используя шаблоны отношений, куда помещают эту сущность-субъект. В результате ответа на данный вопрос извлекается само отношение и сущность-объект отношения.

В работе [17] используют прототипы для извлечения отношений. Прототипами называют представления (embeddings) в пространстве признаков, которые выделяют наиболее важную семантику отношений между сущностями в предложениях. Прототипы представляют собой центры кластеров, представляющих множество предложений, выражающих одно и то же отношение. По словам авторов, такой подход позволяет выделить значимые, интерпретируемые прототипы для окончательной классификации отношений.

### **Процедура извлечения отношений между понятиями на основе дерева синтаксического анализа предложения**

В данной работе извлечение отношений для последующего их добавления в онтологию производится в рамках отдельных предложений из текстов предметной области. При этом рассматриваются только те предложения, в которых модель, обученная с применением технологии, описанной в предыдущей работе [3], обнаружила понятия, соответствующие тематике пополняемой онтологии.

Таким образом, предполагается, что слова, представляющие отношение, и понятия, которое оно связывает, находятся в одном предложении. В основе алгоритма лежит гипотеза о том, что отношение между понятиями может быть выражено: 1) через сказуемое, представленное глаголом, который является корнем синтаксического дерева предложения; 2) синтаксические отношения между словами внутри именных групп. Например, в именной группе *«пресс-секретарь полиции Сассекса»* можно выделить отношения между парами слов: *«пресс-секретарь»* — *«полиции»* и *«полиции»* — *«Сассекса»*.

С учетом данной гипотезы анализ предложений с целью обнаружения в них отношений производится следующим образом:

1. Для каждого предложения с помощью предобученной языковой модели из библиотеки spaCy [18] формируется дерево синтаксического анализа.

2. Далее производится обход дерева, начиная с его вершины, и формирование N-грамм путем комбинации слова с текущим уровнем дерева и связанных с ним слов с дочерних уровней. Таким образом представлялись различные варианты разбивки именных групп предложения на фрагменты, соответствующие возможным понятиям. На данном этапе исследования рассматривались униграммы и биграммы, то есть комбинации из одного и двух слов. Например, именная группа *«пресс-секретарь полиции Сассекса»* представлялась в виде N-грамм: *«пресс-секретарь»*, *«пресс-секретарь полиции»*, *«полиции»*, *«полиции Сассекса»*.

3. Среди сформированных N-грамм осуществляется поиск вероятных понятий предметной области — участников отношений. Для их выявления предварительно на большом наборе текстов по тематике предметной области обучается Word2Vec-модель [19]. С помощью нее оценивается близость векторов полученных N-грамм и векторов исходного списка понятий онтологии. Если среднее расстояние между вектором сформированной N-граммы и векторами слов онтологии не превышает порогового значения, то N-грамма рассматривается как понятие предметной области.

Например, если биграмма *«пресс-секретарь полиции»* имеет близость выше пороговой, а униграмма *«пресс-секретарь»* — нет, то это значит, что в текстах предметной области понятие *«пресс-секретарь»* встречается реже, чем *«пресс-секретарь полиции»*, и поэтому выделять отдельное понятие *«пресс-секретарь»* не нужно.

Пороговое значение вычисляется для каждого предложения отдельно как среднее значение близости всех сформированных на его основе N-грамм к понятиям онтологии. Таким образом, на данном шаге определяются возможные связанные между собой понятия, представленные словами внутри одной именной группы.

4. Если в предложении обнаруживается более одной N-граммы, определенной на предыдущем шаге как понятие предметной области, то предполагается, что между каждой их парой существует отношение. При этом, если N-граммы не накладываются друг на друга и связаны в синтаксическом дереве через другие слова предложения, то упорядоченный по порядку следования в предложении набор промежуточных слов рассматривается как некоторый контекст предполагаемого отношения, указывающий на его смысл.

5. К набору отношений, полученных на основе одного предложения, применяются следующие корректирующие процедуры:

- Если два отношения имеют в качестве одного понятия N-грамму, в которой главным словом является одинаковый глагол, то они объединяются в одно отношение по этому понятию. N-грамма с глаголом переходит в контекст данного отношения. Например, отношения (*компания «Роснефть»*, *купила*, *context: {}*) и (*В 2011*, *купила*, *context: {}*) будут объединены в одно отношение с новым контекстом (*компания «Роснефть»*, *В 2011*, *context: {купила}*).

- Если отношение включает N-граммы, в которых главным словом является одинаковое существительное, то данное отношение интерпретируется как таксономическое (*is-kind-of*). При этом предполагаемым родителем назначается N-грамма с меньшим количеством слов. Например, (*нефтяная компания*, *компания*, *context: {is\_kind\_of, parent: компания, child: нефтяная компания}*).

Таким образом, в результате применения такой процедуры формируется набор отношений в виде пары N-грамм и иногда его контекста. Далее полученный набор представляется разработчику онтологии для принятия окончательного решения о добавлении обнаруженных отношений в онтологию.

### Оценка эффективности процедуры извлечения отношений

Для оценки эффективности предлагаемой процедуры извлечения отношений было проведено два эксперимента, для которых были вручную сформированы два тестовых набора, содержащих предложения и эталонные результаты извлечения из них отношений. Первый набор использовался для оценки извлечения отношений произвольного типа. Он включает в себя 500 образцов, где образец представляет собой пару (*предложение*, *отношение*). Второй тестовый набор был сформирован для оценки извлечения только таксономических отношений (*is-kind-of*), поскольку они имеют особую важность в контексте обучения онтологий — позволяют построить иерархию понятий предметной области. Его размер составил 75 тыс. образцов, аналогичных по структуре первому тестовому набору.

Таким образом, результаты работы процедуры сравнивались с эталонными результатами тестовых наборов и вычислялись оценки полноты и точности. Были получены следующие результаты.

Эксперимент 1. Оценка извлечения отношений произвольного типа из предложений первого тестового набора: точность = 0,016; полнота = 0,052.

Эксперимент 2. Оценка извлечения таксономических отношений из предложений второго тестового набора: точность = 0,128; полнота = 0,207.

Низкие оценки точности, полученные в результате первого эксперимента, говорят о наличии в результирующем наборе большого количества нерелевантных тематике онтологии понятий в извлеченных отношениях. Это вызвано тем, что используемая для их фильтрации на следующем шаге Word2Vec-модель пропускает значительное количество N-грамм, не являющихся понятиями предметной области.

Повышение ее результативности, вероятно, требует более тонкой настройки ее метапараметров при обучении. В первую очередь к таковым относится размер словаря, который определяет минимальное количество обнаружений некоторой N-граммы в рассматриваемых текстах для того, чтобы она учитывалась моделью. То есть, если N-грамма отсутствует в словаре, то ее близость к исходным понятиям онтологии не оценивается и она не попадает в формируемые отношения. Таким образом, увеличение значения данного метапараметра может способствовать сокращению количества не относящихся к тематике онтологии N-грамм и, соответственно, содержащих их отношений.

Результаты обнаружения таксономических отношений оказались более высокими, что указывает на целесообразность использования эвристик для уточнения важных для формирования базовой структуры онтологии типов отношений (is-kind-of, part-of, depend-on).

Таким образом, предложенная процедура извлечения отношений может быть использована в качестве дополнительного шага в разработанной ранее технологии наполнения онтологии, а также для формирования иерархии понятий в процессе обучения онтологий.

## Заключение

В данной работе рассматривается проблема извлечения отношений из текстов по тематике предметной области с целью их последующего добавления в существующую онтологию. В качестве решения предложена процедура, которую предполагается использовать для расширения предложенной ранее технологии применения нейросетевых моделей для обучения онтологий. Представленная процедура ориентирована на поиск отношений в предложениях, в которых на предыдущих этапах технологии были обнаружены понятия предметной области — кандидаты на включение в онтологию.

В рамках данной процедуры производится анализ синтаксического дерева предложения с целью выявления именных групп и рассмотрения их возможных интерпретаций в виде пар понятий предметной области, связанных между собой отношением. При этом определение слов внутри именной группы, представляющих вероятные понятия предметной области, производится путем оценки близости различных комбинаций слов (N-грамм) к исходному набору понятий онтологии в векторном пространстве. Последнее представляется отдельной Word2Vec-моделью, обученной на наборе текстов, релевантных предметной области онтологии.

Полученные результаты экспериментов говорят о необходимости в первую очередь улучшения фильтрации формируемых N-грамм. Для этого предполагается проанализировать влияние на получаемый результат различных значений метапараметров Word2Vec-модели, а также рассмотреть возможность ее замены и/или дополнения бинарным классификатором для получения более точной оценки близости при выполнении фильтрации.

## Список источников

1. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications // Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5, № 2. P. 199–220.
2. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Training and application of neural-network language model for ontology population // Software engineering perspectives in intelligent systems / ed. Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 919–926.
3. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Data Augmentation in Training Neural-Network Language Model for Ontology Population // Data Science and Intelligent Systems / ed. Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. Cham.: Springer International Publishing, 2021. P. 669–679.
4. Hearst M. A. Automated Discovery of WordNet Relations // WordNet: An Electronic Lexical Database. MIT Press. Cambridge, 1998. P. 26.
5. Garcia M., Gamallo P. A Weakly-Supervised Rule-Based Approach for Relation Extraction. 2011. P. 10.
6. Mintz M. et al. Distant supervision for relation extraction without labeled data // Proceedings of the Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP. Suntec, Singapore: Association for Computational Linguistics, 2009. P. 1003–1011.
7. Ren X. et al. CoType: Joint Extraction of Typed Entities and Relations with Knowledge Bases // Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web. Perth Australia: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017. P. 1015–1024.
8. Implementation of the Brown word clustering algorithm [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/percyliang/brown-cluster> (дата обращения: 23.12.2021).
9. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // arXiv:1810.04805 [cs]. 2018.

10. Wei Z. et al. A Novel Cascade Binary Tagging Framework for Relational Triple Extraction // Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Online: Association for Computational Linguistics, 2020. P. 1476–1488.
11. Wu S., He Y. Enriching Pre-trained Language Model with Entity Information for Relation Classification // arXiv:1905.08284 [cs]. 2019.
12. Baldini Soares L. et al. Matching the Blanks: Distributional Similarity for Relation Learning // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019. C. 2895–2905.
13. Han X., Wang L. A Novel Document-Level Relation Extraction Method Based on BERT and Entity Information // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 96912–96919.
14. Sahu S. K. et al. Inter-sentence Relation Extraction with Document-level Graph Convolutional Neural Network // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019. P. 4309–4316.
15. Fu T.-J., Li P.-H., Ma W.-Y. GraphRel: Modeling Text as Relational Graphs for Joint Entity and Relation Extraction // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019. P. 1409–1418.
16. Li X. et al. Entity-Relation Extraction as Multi-Turn Question Answering // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019. P. 1340–1350.
17. Ding N. et al. Prototypical Representation Learning for Relation Extraction. 2021. P. 16.
18. Russian spaCy Models Documentation [Электронный ресурс]. URL: [https://spacy.io/models/ru#ru\\_core\\_news\\_sm](https://spacy.io/models/ru#ru_core_news_sm) (дата обращения: 15.06.2021).
19. Gensim: Word2Vec Model [Электронный ресурс]. URL: [https://radimrehurek.com/gensim/auto\\_examples/tutorials/run\\_word2vec.html#word2vec-model](https://radimrehurek.com/gensim/auto_examples/tutorials/run_word2vec.html#word2vec-model) (дата обращения: 15.02.2022).

## References

1. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993, vol. 5, no. 2, pp. 199–220.
2. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Training and application of neural-network language model for ontology population. Software engineering perspectives in intelligent systems. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds). *Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. CoMeSySo 2020 Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1295, Springer, Cham, pp. 919–926.
3. Lomov P., Malozemova M., Shishaev M. Data Augmentation in Training Neural-Network Language Model for Ontology Population. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds). *Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, vol. 231, Springer, Cham, pp. 669–679.
4. Hearst M. A. Automated Discovery of WordNet Relations. *WordNet: An Electronic Lexical Database*. MIT Press. Cambridge, 1998, 26 p.
5. Garcia M., Gamallo P. A Weakly-Supervised Rule-Based Approach for Relation Extraction, 2011, 10 p.
6. Mintz M., Bills S., Snow R., Jurafsky D. Distant supervision for relation extraction without labeled data. *Proceedings of the Joint Conference of the 47th Annual Meeting of the ACL and the 4th International Joint Conference on Natural Language Processing of the AFNLP*. Suntec, Singapore: Association for Computational Linguistics, 2009, pp. 1003–1011.
7. Ren X., Wu Z., He W. Qu M. CoType: Joint Extraction of Typed Entities and Relations with Knowledge Bases. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web*. Perth Australia: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2017, pp. 1015–1024.
8. Implementation of the Brown word clustering algorithm. Available at: <https://github.com/percyliang/brown-cluster> (accessed 23.12.2021).
9. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv:1810.04805 [cs], 2018.

10. Wei Z., Su J., Wang Yue, Tian Yu. A Novel Cascade Binary Tagging Framework for Relational Triple Extraction. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Online: Association for Computational Linguistics, 2020, pp. 1476–1488.
11. Wu S., He Y. Enriching Pre-trained Language Model with Entity Information for Relation Classification. arXiv:1905.08284 [cs], 2019.
12. Baldini Soares L., FitzGerald N., Ling J., Kwiatkowski T. Matching the Blanks: Distributional Similarity for Relation Learning. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, pp. 2895–2905.
13. Han X., Wang L. A Novel Document-Level Relation Extraction Method Based on BERT and Entity Information. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 96912–96919.
14. Sahu S. K., Christopoulou F., Miwa M., Ananiadou S. Inter-sentence Relation Extraction with Document-level Graph Convolutional Neural Network. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, pp. 4309–4316.
15. Fu T.-J., Li P.-H., Ma W.-Y. GraphRel: Modeling Text as Relational Graphs for Joint Entity and Relation Extraction. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, pp. 1409–1418.
16. Li X., Yin F., Sun Z., Li X. Entity-Relation Extraction as Multi-Turn Question Answering. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019, pp. 1340–1350.
17. Ding N., Wang X., Fu Yao, Xu G. Prototypical Representation Learning for Relation Extraction, 2021, 16 p.
18. Russian spaCy Models Documentation. Available at: [https://spacy.io/models/ru#ru\\_core\\_news\\_sm](https://spacy.io/models/ru#ru_core_news_sm) (accessed 15.06.2021).
19. Gensim: Word2Vec Model. Available at: [https://radimrehurek.com/gensim/auto\\_examples/tutorials/run\\_word2vec.html#word2vec-model](https://radimrehurek.com/gensim/auto_examples/tutorials/run_word2vec.html#word2vec-model) (accessed 15.02.2022).

#### **Информация об авторах**

**П. А. Ломов** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
**М. Л. Никонорова** — инженер-исследователь;  
**М. Г. Шишаев** — доктор технических наук, главный научный сотрудник.

#### **Information about the authors**

**P. A. Lomov** — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow;  
**M. L. Nikonorova** — Research Engineer;  
**M. G. Shishaev** — Doctor of Science (Tech.), Chief Research Fellow.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 01.11.2022; принята к публикации 08.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 01.11.2022; accepted for publication 08.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.912  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.003

## МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ

**Вадим Константинович Пимешков<sup>1✉</sup>, Максим Геннадьевич Шишаев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*pimeshkov@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7010-230X>*

<sup>2</sup>*shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>*

### Аннотация

Рассматриваются методы извлечения знаний из естественно-языковых текстов. Дается формальное определение задачи, выделяются две основные подзадачи: извлечение концептов и извлечение отношений. Проанализирована классификация методов с точки зрения языка и языковых ресурсов, с точки зрения постановки задачи, а также с точки зрения подходов к решению задач извлечения концептов и отношений.

### Ключевые слова:

извлечение знаний, интеллектуальный анализ текста, извлечение концептов, извлечение отношений

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Пимешков В. К., Шишаев М. Г. Методы извлечения знаний из естественно-языковых текстов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 31–45. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.003

Original article

## METHODS OF KNOWLEDGE EXTRACTION FROM NATURAL LANGUAGE TEXTS

**Vadim K. Pimeshkov<sup>1✉</sup>, Maxim G. Shishaev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*pimeshkov@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7010-230X>*

<sup>2</sup>*shishaev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7070-7878>*

### Abstract

The paper considers methods for knowledge extraction from natural language texts. A formal definition of the task is given, two main subtasks are distinguished: concept extraction and relationship extraction. The classification of methods is considered from the point of view of the language and language resources, from the point of view of setting the problem, as well as from the point of view of solving problems of extracting concepts and relations.

### Keywords:

knowledge extraction, text mining, concept extraction, relation extraction

### Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic “Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data” (registration number of the research topic 122022800551-0).

### For citation:

Pimeshkov V. K., Shishaev M. G. Methods of knowledge extraction from natural language texts // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 31–45. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.003

## Введение

Создание и эксплуатация информационных систем, основанных на знаниях, постепенно становится повседневной практикой. Ключевой проблемой (в особенности в условиях динамичности структуры и состава знаний, используемых в рамках системы) является формирование баз знаний, адекватных текущим представлениям экспертов и пользователей о предметной области. В таких условиях всё большую актуальность приобретают методы и технологии автоматизированного извлечения знаний из текстов на естественном языке, поскольку в текстовых источниках «естественным» образом аккумулируются актуальные представления специалистов о той или иной предметной области.

Несмотря на достаточно длительную историю развития методов и технологий извлечения знаний из текстов, данная проблемная область остается динамично развивающейся: с появлением новых инструментов анализа текстов (прежде всего, основанных на машинном обучении (МО)) создаются новые методы и технологии их применения к задаче извлечения знаний. В данной работе предпринята попытка систематизации сформировавшихся на сегодняшний день подходов к автоматизированному извлечению знаний из текстовых источников. При этом представленный в статье обзор не претендует на полноту: в работе рассмотрены лишь некоторые примеры реализации тех или иных подходов к решению задачи.

## Извлечение знаний

В общем виде извлечение знаний представляет собой процесс преобразования данных в знания, необходимые для решения последующих, иерархически вышестоящих (прикладных) задач. Под термином «данные» в этом случае подразумевается любой естественно-языковой текст. Под знаниями же будем понимать упорядоченные и формализованные сведения, необходимые для решения конкретных прикладных задач. Таким образом, понятие «знание» обусловлено содержательным аспектом метазадачи, в рамках которой осуществляется обработка текстовой информации.

Процесс извлечения знаний можно формально записать в виде  $F_{KE}: \{Doc_i, i = 1, \dots, N\} \Rightarrow K$ , где  $F_{KE}$  — это оператор, осуществляющий преобразование множества текстовых данных  $\{Doc_i, i = 1, \dots, N\}$  в знания  $K$ .

Строго говоря, сначала из данных извлекается информация, которая затем встраивается в заданную систему знаний, что и дает возможность решать иерархически вышестоящие задачи в рамках рассматриваемой метазадачи (рис. 1). Под информацией понимаются некоторые сведения и факты в рамках определенного контекста [1]. В рамках задачи интеллектуального анализа текста, извлечение информации — это процесс распознавания в тексте некоторых сущностей, отношений, событий или другой фактографической информации, то есть получение из текста структурированных данных, пригодных для включения в целевую систему знаний и машинной интерпретации [2].

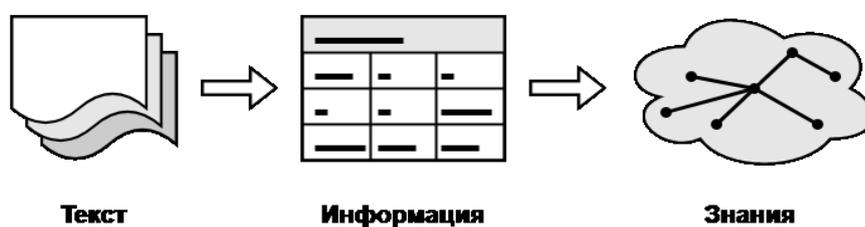


Рис. 1. Процесс извлечения знаний

В качестве способа представлений знаний рассматриваются объектные, в частности сетевые, модели, представляющие предметную область как множество понятий, связанных отношениями из заданного набора. В общем случае сетевую модель можно представить в виде множества троек, задающих факты или истинные утверждения (эквивалент ребра в сетевой модели, связывающего пару вершин):  $\langle c_i, r^k, c_j \rangle$ , где  $c_i, c_j$  — понятия;  $r^k$  — некоторое семантическое отношение (не обязательно симметричное), имеющее место между ними.

Отметим, что формально в роли семантического отношения могут выступать различные связи между понятиями; степень «семантичности» отношения определяется его применимостью для решения прикладных задач, на которые ориентирована формируемая семантическая модель. Как правило, к категории семантических относят такие отношения, как «эквивалентность», «класс — подкласс», «часть — целое» и другие, устанавливающие систему понятий, пригодную для организации полезного в контексте решения прикладных задач машинного вывода [3, 4].

Факты в виде троек позволяют удобно организовывать знания о мире. Они выступают в качестве замены человеческого знания для машины, и они явно или неявно сокрыты в естественно-языковом тексте.

Также стоит заметить, что отношения могут быть комплексными, и, хотя комплексные отношения могут быть разбиты на бинарные и для них можно будет применить методы извлечения бинарных отношений, это приведет к соответствующему падению точности [5].

### Методы извлечения знаний

В соответствии с описанными выше концепциями представления знаний, процесс их извлечения может быть разделен на два основных этапа: *извлечение концептов* (concept extraction) и *извлечение отношений* между ними (relation extraction). Говоря дальше о системах извлечения знаний, подразумевается комбинация систем извлечения концептов и отношений.

Системы извлечения знаний могут быть разделены в контексте постановки задачи и в отношении рассматриваемого естественного языка (или языков) (рис. 2). В контексте постановки задачи системы можно разделить на *открытые*, извлекающие все возможные отношения между концептами в корпусе, и *закрытые*, извлекающие, соответственно, только отношения из заданного заранее набора.



Рис. 2. Общая классификация методов извлечения знаний из естественно-языковых текстов

В отношении рассматриваемого естественного языка (или языков) системы извлечения знаний можно дополнительно разделить по двум признакам. Первый — это количество языков, в рамках которого возможно разделение систем на *моноязыковые*, *биязыковые* и *мультиязыковые*, которые работают с одним, двумя или множеством языков соответственно. Количество рассматриваемых языков, как и объемы доступных для них ресурсов (под ресурсами в данном случае понимаются источники и носители данных о языке, которые могут быть тем или иным образом использованы при анализе, — тезаурусы, размеченные датасеты, эксперты и т. п.), играют важную роль в рамках задачи извлечения знаний. Говоря о количестве рассматриваемых языков, нужно принимать во внимание, что языки могут функционировать по совершенно разным правилам. Как следствие, мультиязыковые системы стремятся использовать методы, не зависящие от языка, или комбинации методов, позволяющие работать со всеми рассматриваемыми естественными языками.

Второй признак классификации по характеру рассматриваемого языка ссылается на наличие у языка (или языков) определенных языковых ресурсов, в зависимости от объемов которых возможна классификация систем на работающие с *малоресурсными языками* (low-resource languages) и работающие с *высокоресурсными языками* (high-resource language). Для малоресурсных языков, в отличие от высокоресурсных, как правило, мало или вообще нет наборов для МО, нет достаточного количества носителей этого языка или экспертов [6]. Объемы доступных ресурсов также играют важную роль в рамках рассматриваемой задачи, так как их наличие может являться необходимым для реализации того или иного метода извлечения знаний.

Поскольку используемые методы и признаки (лингвистические, статистические), по которым идентифицируются концепты и отношения, могут различаться в зависимости от решаемой практической задачи, могут различаться и требования к реализуемой системе извлечения знаний в отношении различных языковых ресурсов. Например, для реализации любых методов, использующих различные морфологические, синтаксические или семантические признаки, как правило, необходимы инструменты разметки текста этими признаками, а для реализации методов на основе правил обычно необходимо привлечение языковых экспертов для составления набора правил.

### **Извлечение концептов**

Под задачей извлечения концептов понимается поиск в неструктурированном тексте и последующая интерпретация лексических обозначений некоторых ментальных конструкторов, используемых в целевой модели знаний [7]. В рамках извлечения концептов также могут использоваться инструменты *извлечения терминологии* (terminology extraction) и инструменты *извлечения именованных сущностей* (named entity recognition).

Задача извлечения терминологии заключается в извлечении релевантных терминов из заданного корпуса. При этом под термином обычно подразумевают некоторое текстовое представление концепта. В зависимости от постановки задачи требования к системам извлечения терминов могут меняться. Например, авторами [8] предлагается следующая классификация систем извлечения терминов. По частоте появления термина авторы разделяют системы на рассматривающие каждое отдельное появление термина или не делающие различия между появлениями одно и того же термина в разных контекстах. По количеству распознаваемых терминов разделяют на системы, распознающие определенное заранее заданное количество терминов, и системы, в которых алгоритм сам определяет количество распознаваемых терминов для каждой входной коллекции. По длине терминов-кандидатов выделяют системы, работающие с терминами длиной в одно слово, два, множество или любой длины.

Задача распознавания именованных сущностей может рассматриваться как задача распознавания и классификации имен собственных из корпуса. Под именованными сущностями, как правило, понимают имена собственные, выделяющие именуемый объект из ряда подобных. В зависимости от поставленной практической задачи различаются как классы распознаваемых имен собственных (например, в классической постановке задачи это могут быть имена людей и/или телефонные номера, а в контексте биомедицины — наименования белков), так и применяемые методы [9].

Концепты в рамках рассматриваемых задач можно разделить на два класса: *общие*, не относящиеся к какой-то конкретной предметной области, используемые повсеместно, и *предметно-ориентированные*, используемые в рамках определенных предметных областей.

Применяемые для решения задач извлечения концептов методы могут быть разделены на методы на основе: правил, статистики, внешних источников, МО, а также гибридные методы (рис. 3). Приведенный порядок не случаен и соответствует хронологии развития соответствующих технологий. С развитием технологий обработки естественного языка и наращиванием объемов языковых ресурсов заметен постепенный переход от методов на основе правил, составляемых языковыми экспертами, к методам на основе МО, которые используют большие объемы данных для обучения моделей [9, 10].



Рис. 3. Классификация методов извлечения концептов

**Методы на основе правил** полагаются на составленные экспертами вручную правила или шаблоны, основанные на различных лексических, морфологических или контекстуальных особенностях слов и/или словосочетаний.

Так, например, в работе [11] используется подход к извлечению многословных терминологий для сербского языка на основе правил, полагающихся на электронные словари и местную грамматику. В ходе работы авторами были разработаны 14 конечных автоматов с выходами, которые извлекают наиболее часто встречающиеся синтаксические структуры, выявленные в результате анализа нескольких сербских терминологических словарей и сербского электронного словаря (рис. 4).

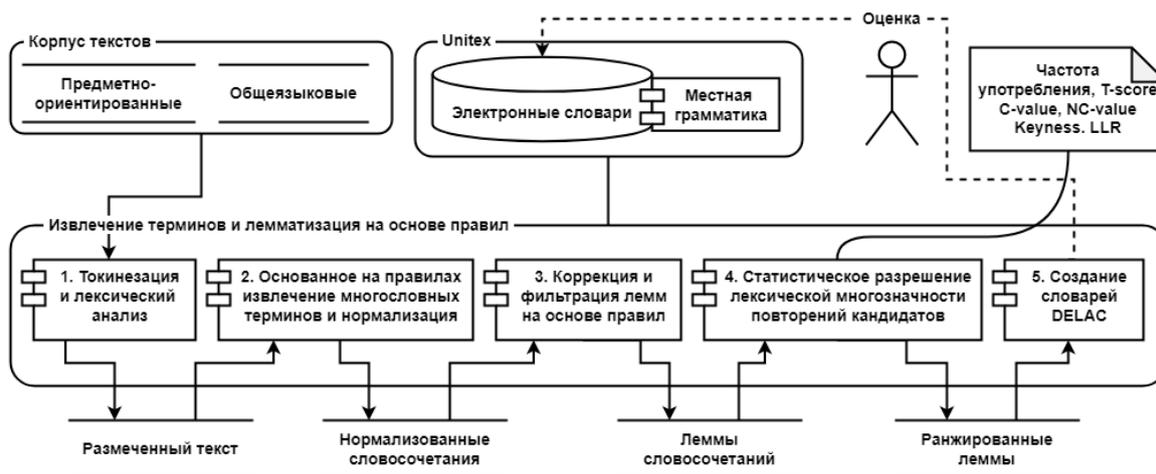


Рис. 4. Архитектура системы извлечения многословных терминологий на основе правил

В работе [12] используется подход на основе составленных вручную правил для извлечения именованных существностей для языка урду. В своей работе авторы используют правила, реализуемые с помощью конечных автоматов, основанные на лексических признаках. Их правила основаны на используемом ими корпусе, эвристике или грамматике.

**Статистические методы.** Отличительной особенностью методов данной группы является использование статистического анализа большого количества наблюдений для идентификации концептов (терминов). Следует отметить, что чисто статистический метод, не включающий какой-либо этап синтаксического или лексического анализа, используется редко, в виду того что такой подход может приводить к большому количеству нежелательной терминологии [13].

Так, например, метод, используемый в работе [14], основан на простом извлечении двух стоящих рядом слов с их последующим взвешиванием на основе Tf-Idf-метрики, а в работе [15] сначала извлекаются последовательности слов различной длины и затем оцениваются с помощью эмпирической меры, основанной на длине и частоте терминов.

**Методы на основе внешних источников** используют внешние источники знаний, такие как Википедия, DBpedia, YAGO и т. д., что позволяет полностью или частично заместить эксперта предметной области за счет извлечения из этих источников некоторой априори имеющейся структуры знаний о предметной области, которые затем расширяются на основе данных из естественно-языковых текстов.

Например, в работе [16] используется Википедия для идентификации и классификации именованных существностей с целью создания размеченного корпуса для МО. Такой подход позволяет обойтись без человека-эксперта для разметки текстового корпуса. Также авторы предлагают метод, использующий данные на английском языке, для воссоздания процесса распознавания именованных существностей на других языках.

В работе [17] предлагается метод, использующий данные DBpedia, для расширения и обогащения составленного вручную лексикона товаров. Авторы работы начинают с небольшого, составленного вручную словаря и, используя данные DBpedia и формат SKOS для представления знаний, расширяют словарь с дюжины до около двух тысяч терминов (рис. 5).

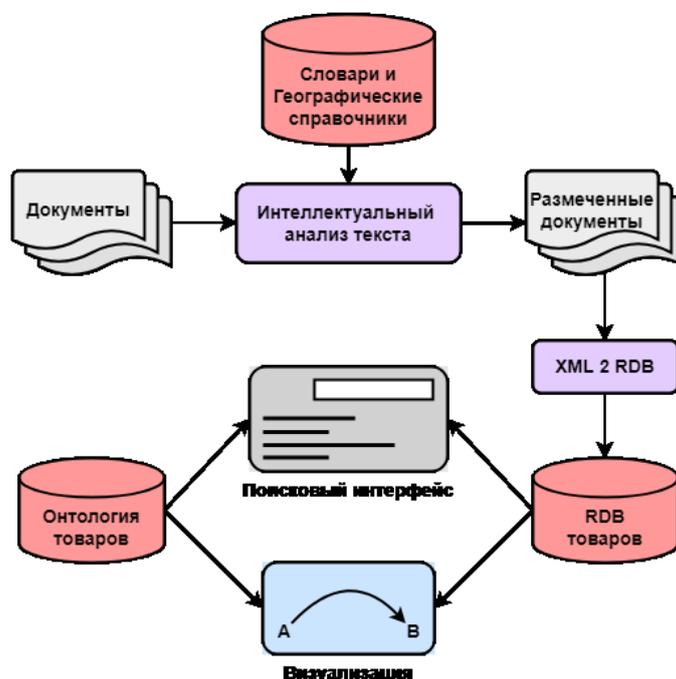


Рис. 5. Архитектура системы расширения лексикона [17]

**Методы на основе МО.** Суть методов данной группы заключается в создании (тренировке) модели МО, способной распознавать сущности на основе множества различных признаков. Для решения задач распознавания именованных существностей [18–21] или задач извлечения терминологий [22–24] применяется практически весь спектр различных архитектур моделей и методов МО. Ниже приведены примеры использования МО для извлечения терминов и именованных существностей.

Например, в работе [25] рассматривается опыт применения семи методов МО с обучением с учителем (supervised learning) для классификации N-грамм на термины и нетермины на основе предположения о том, что термины, специфичные для какой-либо предметной области, имеют признаки (морфологические, дистрибутивные, контекстные, предметно-областные и т. д.), отличающие их от обычных слов.

Авторы работы [26] используют метод на основе ансамблевого обучения без учителя для классификации имен собственных на имена людей, организаций и локаций, полагаясь на форму написания имен и контекст, в котором они появляются. Предлагаемая модель принимает во внимание синтаксические отношения в предложении для устранения семантической неоднозначности и использует три различных метода обучения в ансамбле: модель на основе принципа максимальной энтропии

(maximum entropy model), модель обучения на основе памяти (memory-based learning) и SNoW (sparse network of windows) [27]. Для построения обучающего набора авторы использовали словарь именованных сущностей и корпус, размеченный частями речи, что позволило автоматизировать процесс. Отобранный авторами корпус состоял из 1500 экземпляров для каждого из трех классов. Для того чтобы учитывать контекст, использовалась информация о совместном употреблении категории целевого и заглавного слов (в контексте синтаксического дерева). Предложенный авторами метод продемонстрировал точность в 73,16 % и полноту в 72,98 % и в целом продемонстрировал возможность построения системы классификации именованных сущностей без затрат на создание большого размеченного корпуса или большого набора правил.

**Гибридные методы.** Помимо вышеперечисленных методов, также используются и их произвольные комбинации. Как правило, такое комбинирование используется для повышения общей производительности систем или для преодоления каких-либо трудностей, связанных с нехваткой ресурсов в контексте малоресурсных языков.

Так, например, в работе [28] используется комбинация методов на основе правил и МО для создания системы распознавания именованных сущностей на арабском языке. Такой подход позволил авторам повысить общую производительность предлагаемого метода, а также преодолеть проблемы, связанные с нехваткой языковых ресурсов для их языка.

В работе [29] авторы используют модель на основе принципа максимальной энтропии, языковые правила и географические справочники для распознавания именованных сущностей на индийском языке. Вначале они обучают базовую модель для распознавания именованных сущностей на размеченном корпусе, затем дополняют ее языковыми правилами для выявления конкретных классов имен собственных, а также в последствии дополняют полученную модель географическими справочниками и контекстными шаблонами для повышения производительности.

В рамках международного семинара по семантическому анализу Semeval 5 авторы [30] используют решающие деревья для создания ранжированного списка терминов-кандидатов на основе трех различных наборов признаков. Первый набор был получен с помощью модуля системы GROBID (представляющей из себя библиотеку МО для извлечения, анализа и реструктурирования документов [31]), который использовался для извлечения структурных признаков. Второй набор был получен с помощью различных статистических методов и включал фразеологические и информативные признаки. Третий набор был получен с помощью таких внешних источников знаний, как GRISP [32] и Википедия, и содержал лексические и семантические признаки. Разработанная авторами система заняла первое место среди 19 участников.

### **Извлечение отношений**

Задача извлечения отношений возможна как в открытой, так и в закрытой (когда набор искомых отношений задан априори) постановках. В первом случае постановка задачи идентична задаче извлечения терминов: найти в тексте лексические представления, обозначающие некоторые отношения между понятиями. При второй постановке задача может трактоваться как задача классификации, при этом подразумевается, что сущности, связь между которыми классифицируется, распознаны заранее. Для классификации отношений используют методы на основе шаблонов или правил, статистические методы и МО.

Более ранние работы по извлечению отношений использовали методы на основе правил или шаблонов, статистические методы, но со временем более популярными и доступными стали методы на основе МО [33].

**Методы на основе шаблонов или правил.** В таких методах используют составленные вручную / автоматически правила или шаблоны на основе синтаксических и морфологических признаков. Как правило, такие методы требуют большого объема работы экспертов для составления правил или шаблонов, однако в процессе эксплуатации они демонстрируют наилучшую эффективность в смысле скорости работы.

Например, в работе [34] авторы используют составленные вручную синтаксические правила, реализуемые на платформе GATE (программный набор инструментов, решающий разнообразные задачи обработки текста [35]), с помощью компонента JAPE (механизм шаблонов аннотаций Java [36]) для автоматического извлечения пространственных отношений в китайском языке. Дополнительно они

используют набор размеченных вручную пространственных отношений для проверки точности их системы (рис. 6). Разработанная авторами система способна с высокой точностью извлекать отношения, когда они в явной форме присутствуют в тексте, но она страдает от неполноты набора правил, ограниченности механизма их формального представления и отсутствия фоновых знаний.

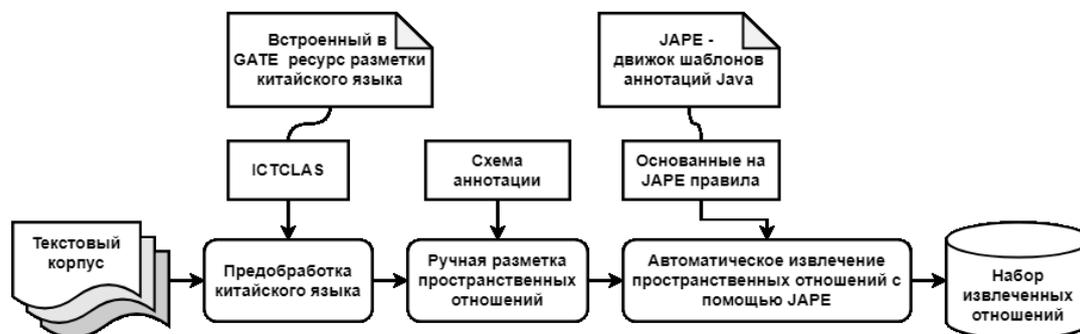


Рис. 6. Схематичное представление системы на основе синтаксических правил [34]

Или, например, в работе [37] авторы используют шаблоны, основанные на метках частей речи и/или синтаксической структуре предложений для извлечения отношений между концептами в предложениях. Предлагаемая авторами система использует в качестве отправной точки концепты и отношения из банка данных DBpedia. В начале текст обрабатывается с помощью авторской системы распознавания именованных сущностей, основанной на онтологии (состоящей из концептов, полученных из DBpedia) и включающей в себя также лингвистическую предобработку текста и правила, реализованные с помощью JAPE. Параллельно с этим текст обрабатывается синтаксическим парсером Firs [38], который создает синтаксические структуры с бинарными отношениями. Именованные сущности, полученные на первом этапе, передаются в справочник отношений (состоящий из отношений, полученных из DBpedia), который идентифицирует известные отношения между переданными именованными сущностями, после чего с помощью шаблонов JAPE идентифицируются другие бинарные отношения (рис. 7).

Процесс формирования шаблонов может быть автоматизирован. Например, в работе [39] представлена основанная на МО система, напрямую извлекающая шаблоны, которые способны распознавать отношения между ключевыми элементами, полагаясь на локальный синтаксис.

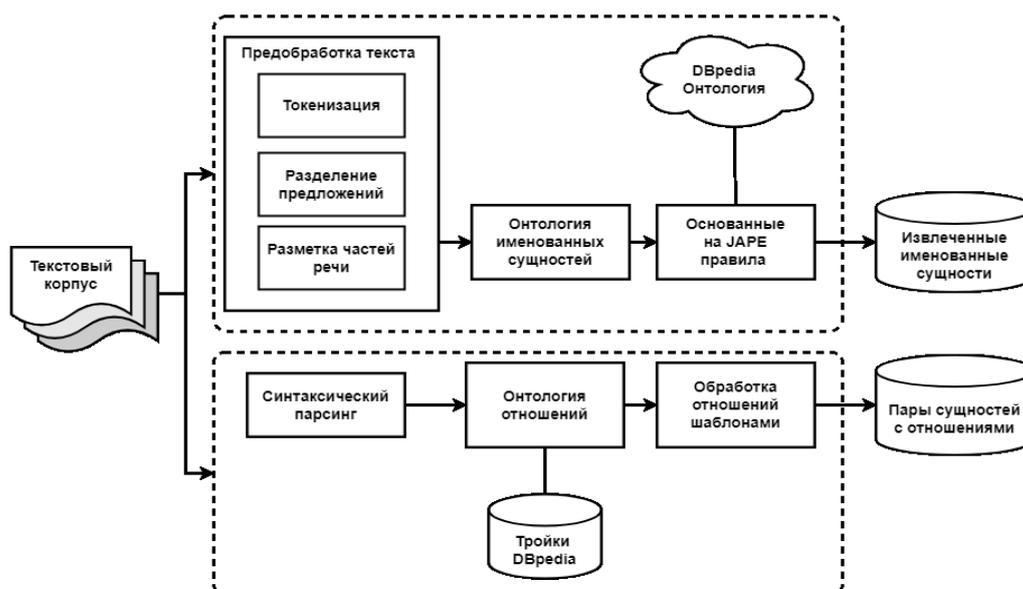


Рис. 7. Архитектура системы, использующей шаблоны на основе частеречевой разметки и синтаксической структуры предложений

**Статистические методы.** Одним из примеров реализации статистического подхода является subsumption method, использующийся для формирования иерархических систем понятий. Метод опирается на предположение, что «концепт А включает В, если документы, в которых встречается В, являются (или почти являются) подмножеством документов, в которых встречается А» [40]:  $D_{KL}(A \parallel B) - D_{KL}(B \parallel A) < TH_N$ , где в левой части неравенства — сравнение взаимных условных вероятностей двух терминов, а в правой — некоторый порог чувствительности или «шума». Так же как и в случае методов на основе правил, в основе статистического подхода лежат эвристические предположения о статистических свойствах коллекций данных, индицирующих наличие искомого отношения, что затрудняет их широкое применение для извлечения произвольных отношений между концептами. Вместе с тем, статистические методы предъявляют повышенные требования к объему доступных данных (наблюдений) для получения статистически значимых результатов.

**Методы на основе внешних источников** используют знания (то есть используют не просто текст из внешнего источника, но и структуру этого источника) из различных внешних источников для решения поставленной задачи.

Например, в работе [41] авторы используют структуру Википедии для отбора кандидатов отношений с помощью шаблонов и добавления новых отношений в граф знаний. В основе авторского метода лежит предположение, что между концептами, представленными двумя страницами Википедии  $p_0$  и  $p_1$ , может присутствовать некоторое отношение  $R$ , если аннотация страницы  $p_0$  ссылается на  $p_1$  и соответствующие сущности  $e_0$  и  $e_1$  из онтологии DBpedia по типам удовлетворяют требованиям отношения  $R$  к субъекту и объекту. В результате своей работы авторы демонстрируют, что аннотации Википедии и, соответственно, ее структура могут использоваться как значимый источник знаний для расширения графа знаний.

**Методы на основе МО.** Обзор методов извлечения отношений на основе МО можно найти во многих работах, например в [2, 33, 42, 43]. Выигрышной стороной МО является универсальность используемого алгоритма с точки зрения вида извлекаемых отношений, проблема лишь в формировании достаточно большого корпуса так или иначе размеченных текстов и выборе набора признаков, эффективно индицирующих наличие искомого отношения между понятиями.

Например, в работе [44] используется многозадачное обучение (multi-task learning, которое также можно встретить под названием joint learning) для совместного извлечения биомедицинских концептов и отношений между ними. Вначале авторы трансформируют задачу совместного извлечения в задачу разметки, в рамках которой предлагается новая схема разметки и правила для извлечения пересекающихся отношений в биомедицинских текстах. С помощью предложенной схемы разметки авторы создают обучающий корпус. Затем на этом корпусе авторы тренируют модель ViLSTM-CRF, использующую механизм внимания. Модель тренируют с использованием статичных эмбендингов (векторных представлений) слов и знаков и дополнительно с использованием контекстуализированных эмбендингов ELMo для проверки их эффективности в рамках решаемой задачи. Затем обученная модель используется для разметки текста, из которого с помощью предлагаемых авторами правил извлекаются отношения (рис. 8).

В работе [45] авторы объединяют предварительно обученную модель BERT со стратегией многозадачного обучения для совместного извлечения полезных в контексте решаемой задачи концептов (распознавание именованных сущностей) и отношений между ними (извлечение отношений) из протоколов медицинских исследований. Авторы используют BERT в качестве эмбендингового слоя, после которого следует слой распознавания именованных сущностей, состоящий из входного полносвязного и выходного слоев. За этим слоем следует слой классификации отношений, использующий результаты работы слоя распознавания именованных сущностей и BERT-слоя для решения задачи извлечения отношений.

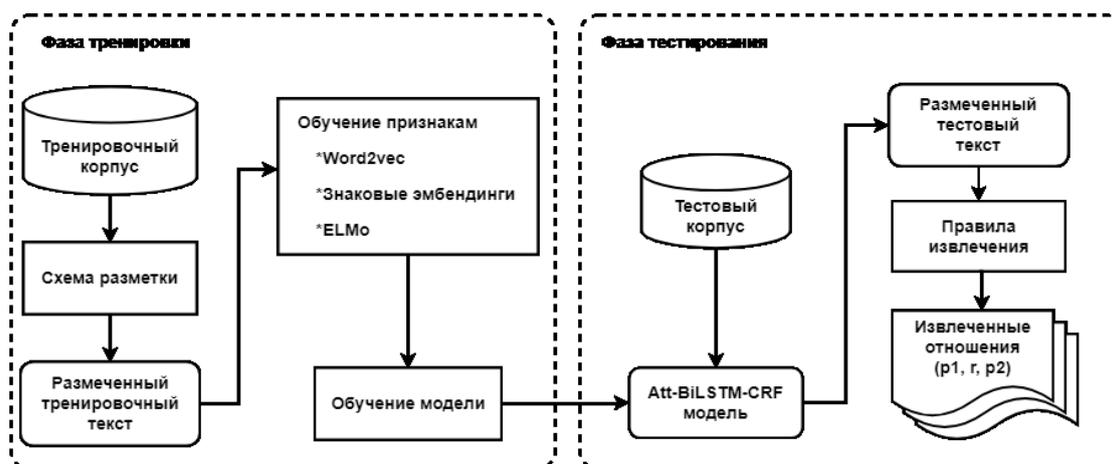


Рис. 8. Схема извлечения биомедицинских концептов и отношений на основе многозадачного обучения

**Гибридные методы.** Аналогично методам извлечения концептов, гибридные методы извлечения отношений используют различные комбинации других методов для повышения производительности или преодоления каких-либо проблем, в частности, связанных с недостатком языковых ресурсов.

Например, в работе [46] представлен гибридный подход, комбинирующий МО и правила, для извлечения отношений между героями рассказов. Предлагаемая авторами система (рис. 9.) начинает работу с предобработки текста (удаление специальных символов, токенизация, разметка частей речи), распознавания именованных существностей (имен персонажей, организаций и локаций) и разрешения анафоры. Затем система трансформирует обрабатываемый текст в набор предложений и выбирает те, которые содержат определенные пары персонажей (полагаясь на набор распознанных ранее именованных существностей).

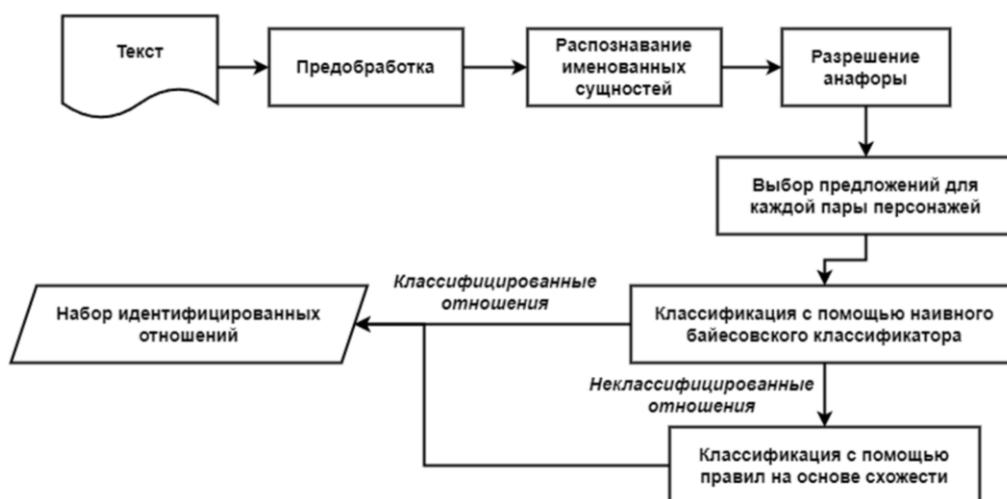


Рис. 9. Схема предлагаемого авторами гибридного метода [46]

Дальше отобранные предложения классифицируются на заранее определенные авторами классы с помощью байесовского классификатора, обученного на авторском датасете и состоящего из предложений, их классов и рейтингов. Обученный классификатор присваивает каждому предложению в наборе (для выбранных пар персонажей) определенный класс и рейтинг. Если больше половины предложений относятся к одному и тому же классу, то считается, что выбранная пара персонажей находится в отношении соответствующего класса. Если же классифицировать отношение

не получилось, то система дополнительно принимает во внимание рейтинг, выставленный классификатором, и выбирает класс по следующему правилу: если большинство предложений определенного класса имеют рейтинг больше выставленного порога, а другие наборы предложений в других классах имеют рейтинги ниже этого порога, то отношению персонажей присваивается первый (имеющий больший рейтинг) класс. Если же классифицировать отношение снова не получилось, предпринимается попытка классификации с помощью правил, на основе схожести отобранных предложений по отношению к тренировочному датасету. С помощью стороннего сервиса производится оценка схожести отобранных предложений с предложениями из тренировочного датасета. Отношению персонажей присваивается класс, соответствующий классу тренировочного предложения, набравшего наибольшее количество наиболее схожих (по отношению к нему) предложений из текста. В результате работы системы выявляются персонажи и отношения между ними в рамках рассматриваемого текста.

### **Заключение**

Приведенный обзор показывает, что спектр методов, применяемых для решения задач извлечения знаний, весьма обширный. Применяются различные методы на основе правил или шаблонов, статистические методы, методы на основе внешних источников, МО и их различные комбинации в виде гибридных методов.

Во многих случаях довольно сложно провести четкую границу между различными категориями методов извлечения понятий и отношений. Так, методы МО в конечном итоге базируются на статистических оценках имеющихся наблюдений. Кроме того, как правило, используемые для тренировки соответствующих моделей МО признаки являются результатом некоторой предобработки исходных данных с применением тех же лингвистических (на основе шаблонов) или статистических методов.

Формализация задачи и построение классификации усложняется также и тем, что сами ключевые в контексте рассматриваемой задачи понятия — «данные», «информация» и «знания» — так и не имеют устоявшихся определений и могут трактоваться по-разному в зависимости от предметной области или взглядов автора. Знания, помимо всего, необходимо еще и структурировать, и в этом вопросе тоже нет единого мнения о том, как структурировать человеческие знания в вид, пригодный и удобный для машинной обработки.

Выбор конкретного метода в большей степени определяется решаемой практической задачей, рассматриваемыми языками и доступными в текущем контексте языковыми ресурсами.

### **Список источников**

1. Musaev A. A., Grigoriev D. A. Extracting knowledge from text messages: overview and state-of-the-art // *Computer Research and Modeling*. 2021. Vol. 13, № 6. P. 1291–1315.
2. A Survey of Information Extraction Based on Deep Learning / Y. Yang [et al.] // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 19. P. 9691.
3. Диковицкий В. В., Шишаев М. Г., Пимешков В. К. Метод автоматизированного извлечения понятий и парадигматических отношений тезауруса из текстов на естественном языке на базе лексико-синтаксических шаблонов // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2019. Т. 10, № 9-9.
4. Пимешков В. К., Диковицкий В. В., Шишаев М. Г. Извлечение отношений тезауруса из текстов на естественном языке с использованием статистических и лингвистических методов // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2020. Т. 11, № 8 (11).
5. Zhou D., Zhong D., He Y. Biomedical Relation Extraction: From Binary to Complex // *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2014. Vol. 2014. P. e298473.
6. Magueresse A., Carles V., Heetderks E. Low-resource Languages: A Review of Past Work and Future Challenges. 2020.
7. Clinical concept extraction: A methodology review / S. Fu [et al.] // *Journal of Biomedical Informatics*. 2020. Vol. 109. Clinical concept extraction. P. 103526.

8. Astrakhansev N. A., Fedorenko D. G., Turdakov D. Yu. Methods for automatic term recognition in domain-specific text collections: A survey // *Programming and Computer Software*. 2015. Vol 41, № 6. P. 336–349.
9. An Overview of Named Entity Recognition / P. Sun [et al.] // 2018 International Conference on Asian Language Processing (IALP). Bandung, Indonesia: IEEE, 2018. P. 273–278.
10. Chiticariu L., Li Y., Reiss F. R. Rule-Based Information Extraction is Dead! Long Live Rule-Based Information Extraction Systems! // *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing EMNLP 2013*. Seattle, Washington, USA: Association for Computational Linguistics, 2013. P. 827–832.
11. Rule-based Automatic Multi-word Term Extraction and Lemmatization / S. Ranka [et al.] // *Proceedings of the 10th International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2016 (Portorož, Slovenia, 23–28 May 2016)*. 2016. P. 507–514.
12. Riaz K. Rule-Based Named Entity Recognition in Urdu // *Proceedings of the 2010 Named Entities Workshop*. Uppsala, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2010. P. 126–135.
13. Maria Teresa P., Pennacchiotti M., Zanzotto F. M. Terminology Extraction: An Analysis of Linguistic and Statistical Approaches // *Knowl Mining / journalAbbreviation: Knowl Mining*. 2006. Vol. 185. P. 255–279.
14. Salton G., Yang C. S., Yu C. T. A theory of term importance in automatic text analysis // *Journal of the American Society for Information Science*. 1975. Vol. 26. № 1. P. 33–44.
15. Jones L. P., Gassie Jr. E. W., Radhakrishnan S. INDEX: The statistical basis for an automatic conceptual phrase-indexing system // *Journal of the American Society for Information Science*. 1990. Vol. 41. INDEX, № 2. P. 87–97.
16. Richman A. E., Schone P. Mining Wiki Resources for Multilingual Named Entity Recognition // *Proceedings of ACL-08: HLT ACL-HLT 2008*. Columbus, Ohio: Association for Computational Linguistics, 2008. P. 1–9.
17. Klein E., Alex B. Clifford J. Bootstrapping a historical commodities lexicon with SKOS and DBpedia // *Proceedings of the 8th Workshop on Language Technology for Cultural Heritage, Social Sciences, and Humanities (LaTeCH)*. Gothenburg, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2014. P. 13–21.
18. Neural Architectures for Named Entity Recognition / G. Lample [et al.] // arXiv:1603.01360 [cs]. arXiv, 2016.
19. A Survey on Deep Learning for Named Entity Recognition / J. Li [et al.] // arXiv:1812.09449 [cs]. arXiv, 2020.
20. Deep Active Learning for Named Entity Recognition / Y. Shen [et al.] // arXiv:1707.05928 [cs]. arXiv, 2018.
21. Yadav V., Bethard S. A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning models // arXiv:1910.11470 [cs]. arXiv, 2019.
22. Conrado M., Pardo T., Rezende S. A Machine Learning Approach to Automatic Term Extraction using a Rich Feature Set // *Proceedings of the 2013 NAACL HLT Student Research Workshop*. Atlanta, Georgia: Association for Computational Linguistics, 2013. P. 16–23.
23. Foo J. Term extraction using machine learning. 2009.
24. Shi L., Campagne F. Building a protein name dictionary from full text: a machine learning term extraction approach // *BMC Bioinformatics*. 2005. Vol. 6. Building a protein name dictionary from full text. № 1. P. 88.
25. Yuan Y., Gao J., Zhang Y. Supervised learning for robust term extraction // 2017 International Conference on Asian Language Processing (IALP) 2017 International Conference on Asian Language Processing (IALP). 2017. P. 302–305.
26. Kim J.-H., Kang I.-H., Choi K.-S. Unsupervised Named Entity Classification Models and their Ensembles. 2002.
27. Roth D. Learning to Resolve Natural Language Ambiguities: A Unified Approach. P. 8.
28. Shaalan K., Oudah M. A hybrid Approach to Arabic Named Entity Recognition // *Journal of Information Science*. 2014. Vol. 40. P. 67–87.
29. A Hybrid Approach for Named Entity Recognition in Indian Languages / S. Kumar [et al.].

30. Lopez P., Romary L. HUMB: Automatic Key Term Extraction from Scientific Articles in GROBID // Proceedings of the 5th International Workshop on Semantic Evaluation SemEval 2010. Uppsala, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2010. HUMB. P. 248–251.
31. Home — GROBID Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://grobid.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 10.10.2022).
32. Lopez P., Romary L. GRISP: A Massive Multilingual Terminological Database for Scientific and Technical Domains. P. 9.
33. More Data, More Relations, More Context and More Openness: A Review and Outlook for Relation Extraction. More Data, More Relations, More Context and More Openness / X. Han [et al.] // arXiv:2004.03186 [cs]. arXiv, 2020.
34. Rule-Based Extraction of Spatial Relations in Natural Language Text / C. Zhang [et al.] // 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. 2009. P. 1–4.
35. GATE.ac.uk — index.html [Электронный ресурс]. URL: <https://gate.ac.uk/> (дата обращения: 19.10.2022).
36. Cunningham H., Maynard D., Tablan V. JAPE: a Java Annotation Patterns Engine. 2000. JAPE.
37. Nebhi K. A Rule-Based Relation Extraction System using DBpedia and Syntactic Parsing // Proceedings of the NLP-DBPEDIA-2013 Workshop co-located with the 12th International Semantic Web Conference (ISWC 2013). 2013.
38. Wehrli E. Fips, A “Deep” Linguistic Multilingual Parser // ACL 2007 Workshop on Deep Linguistic Processing. Prague, Czech Republic: Association for Computational Linguistics, 2007. P. 120–127.
39. Huffman S. B. Learning information extraction patterns from examples // Proceedings of the 1995 IJCAI Workshop on New Approaches to Learning for Natural Language Processing. 1995.
40. Sanderson M., Croft W. Deriving Concept Hierarchies from Text // Annual ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval. 1999.
41. Heist N., Hertlich S., Paulheim H. Language-Agnostic Relation Extraction from Abstracts in Wikis // Information. 2018. Vol. 9, № 4. P. 75.
42. Kumar S. A Survey of Deep Learning Methods for Relation Extraction. 2017.
43. Nasar Z., Jaffry S. W., Malik M. Named Entity Recognition and Relation Extraction: State of the Art // ACM Computing Surveys. 2021. Vol. 54. Named Entity Recognition and Relation Extraction.
44. A neural network-based joint learning approach for biomedical entity and relation extraction from biomedical literature / L. Luo [et al.] // Journal of Biomedical Informatics. 2020. Vol. 103. P. 103384.
45. Joint Learning with Pre-trained Transformer on Named Entity Recognition and Relation Extraction Tasks for Clinical Analytics / M. Chen [et al.] // Proceedings of the 3rd Clinical Natural Language Processing Workshop Clinical NLP-EMNLP 2020. Online: Association for Computational Linguistics, 2020. P. 234–242.
46. Devisree V., Raj P. C. R. A Hybrid Approach to Relationship Extraction from Stories: International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST — 2015) // Procedia Technology. 2016. Vol. 24. P. 1499–1506.

## References

1. Musaev A. A., Grigoriev D. A. Extracting knowledge from text messages: overview and state-of-the-art. *Computer Research and Modeling*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1291–1315.
2. Yang Y, Wu Z, Yang Y, Lian S, Guo F, Wang Z. A Survey of Information Extraction Based on Deep Learning. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no. 19, pp. 9691.
3. Dikovickij V. V., Shishaev M. G., Pimeshkov V. K. Metod avtomatizirovannogo izvlechenija ponjatij i paradigmaticeskikh otnoshenij tezaurusa iz tekstov na estestvennom jazyke na baze leksiko-sintaksicheskikh shablonov [Method of automated extraction of concepts and paradigmatic relations of thesaurus from texts in natural language on the basis of lexico-syntactic templates]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2019, vol. 10, no. 9–9. (In Russ.).
4. Pimeshkov V. K., Dikovickij V. V., Shishaev M. G. Izvlechenie otnoshenij tezaurusa iz tekstov na estestvennom jazyke s ispol'zovaniem statisticheskikh i lingvisticheskikh metodov [Extraction of relation from natural language texts using statistical and linguistic methods]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2020, vol. 11, no. 8 (11). (In Russ.).

5. Zhou D., Zhong D., He Y. Biomedical Relation Extraction: From Binary to Complex. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2014, vol. 2014, pp. e298473.
6. Magueresse A., Carles V., Heetderks E. Low-resource Languages: A Review of Past Work and Future Challenges, 2020.
7. Fu S., Chen D., He H., Liu S., Moon S., Peterson K. J., Shen F., Wang L., Wang Y., Wen A., Zhao Y., Sohn S., Liu H. Clinical concept extraction: A methodology review. *Journal of Biomedical Informatics*, 2020, vol. 109, pp. 103526.
8. Astrakhantsev N. A., Fedorenko D. G., Turdakov D. Yu. Methods for automatic term recognition in domain-specific text collections: A survey. *Programming and Computer Software*, 2015, vol. 41, no. 6, pp. 336–349.
9. Sun P., Yang X., Zhao X. and Wang Z. An Overview of Named Entity Recognition. *2018 International Conference on Asian Language Processing (IALP), Bandung, Indonesia: IEEE, 2018*, pp. 273–278.
10. Chiticariu L., Li Y., Reiss F. R. Rule-Based Information Extraction is Dead! Long Live Rule-Based Information Extraction Systems! *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing EMNLP 2013*. Seattle, Washington, USA: Association for Computational Linguistics, 2013, pp. 827–832.
11. Ranka S., Cvetana K., Ivan O., Biljana L., Aleksandra T. Rule-based Automatic Multi-word Term Extraction and Lemmatization. *Proceedings of the 10th International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2016, Portorož, Slovenia, 23–28 May 2016, 2016*, pp. 507–514.
12. Riaz K. Rule-Based Named Entity Recognition in Urdu. *Proceedings of the 2010 Named Entities Workshop*. Uppsala, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2010, pp. 126–135.
13. Maria Teresa P., Pennacchiotti M., Zanzotto F. M. Terminology Extraction: An Analysis of Linguistic and Statistical Approaches. *Knowl Mining, journal Abbreviation: Knowl Mining*, 2006, vol. 185, pp. 255–279.
14. Salton G., Yang C. S., Yu C. T. A theory of term importance in automatic text analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, 1975, vol. 26, no. 1, pp. 33–44.
15. Jones L. P., Gassie Jr. E. W., Radhakrishnan S. INDEX: The statistical basis for an automatic conceptual phrase-indexing system. *Journal of the American Society for Information Science*, 1990, vol. 41, no. 2, pp. 87–97.
16. Richman A. E., Schone P. Mining Wiki Resources for Multilingual Named Entity Recognition. *Proceedings of ACL-08: HLT ACL-HLT 2008*, Columbus, Ohio: Association for Computational Linguistics, 2008, pp. 1–9.
17. Klein E., Alex B., Clifford J. Bootstrapping a historical commodities lexicon with SKOS and DBpedia. *Proceedings of the 8th Workshop on Language Technology for Cultural Heritage, Social Sciences, and Humanities (LaTeCH)*, Gothenburg, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2014, pp. 13–21.
18. Lample G., Ballesteros M., Subramanian S., Kawakami K., Dyer C. Neural Architectures for Named Entity Recognition. *arXiv:1603.01360 [cs]*, *arXiv*, 2016.
19. Li J., Sun A., Han J., Li C. A Survey on Deep Learning for Named Entity Recognition. *arXiv:1812.09449 [cs]*, *arXiv*, 2020.
20. Shen Y., Yun H., Lipton Z.C., Kronrod Y., Anandkumar A. Deep Active Learning for Named Entity Recognition. *arXiv:1707.05928 [cs]*, *arXiv*, 2018.
21. Yadav V., Bethard S. A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning models. *arXiv:1910.11470 [cs]*, *arXiv*, 2019.
22. Conrado M., Pardo T., Rezende S. A Machine Learning Approach to Automatic Term Extraction using a Rich Feature Set. *Proceedings of the 2013 NAACL HLT Student Research Workshop*, Atlanta, Georgia, Association for Computational Linguistics, 2013, pp. 16–23.
23. Foo J. Term extraction using machine learning, 2009.
24. Shi L., Campagne F. Building a protein name dictionary from full text: a machine learning term extraction approach. *BMC Bioinformatics*, 2005, vol. 6, no. 1, pp. 88.
25. Yuan Y., Gao J., Zhang Y. Supervised learning for robust term extraction. *2017 International Conference on Asian Language Processing (IALP)*, 2017, pp. 302–305.
26. Kim J.-H., Kang I.-H., Choi K.-S. Unsupervised Named Entity Classification Models and their Ensembles, 2002.

27. Roth D. Learning to Resolve Natural Language Ambiguities: A Unified Approach, pp. 8.
28. Shaalan K., Oudah M. A hybrid Approach to Arabic Named Entity Recognition. *Journal of Information Science*, 2014, vol. 40, pp. 67–87.
29. Kumar S., Sanjay S., Dandapat C. S., Sarkar S., & Mitra P. A hybrid approach for named entity recognition in Indian languages. 2008.
30. Lopez P., Romary L. HUMB: Automatic Key Term Extraction from Scientific Articles in GROBID. *Proceedings of the 5th International Workshop on Semantic Evaluation SemEval 2010*, Uppsala, Sweden, Association for Computational Linguistics, 2010, HUMB, pp. 248–251.
31. Home — GROBID Documentation, Available at: <https://grobid.readthedocs.io/en/latest/> (accessed 10.10.2022).
32. Lopez P., Romary L. GRISP: A Massive Multilingual Terminological Database for Scientific and Technical Domains, pp. 9.
33. Han X., Gao T., Lin Y., Peng H., Yang Y., Xiao C., Liu Z., Li P., Sun M., Zhou J. More Data, More Relations, More Context and More Openness: A Review and Outlook for Relation Extraction. More Data, More Relations, More Context and More Openness. *arXiv:2004.03186 [cs]*, *arXiv*, 2020.
34. Zhang, C., Zhang, X., Jiang, W., Shen, Q., & Zhang, S. Rule-Based Extraction of Spatial Relations in Natural Language Text. *2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, 2009, pp.1–4.
35. GATE.ac.uk — index.html. Available at: <https://gate.ac.uk/> (accessed 19.10.2022).
36. Cunningham H., Maynard D., Tablan V. JAPE: a Java Annotation Patterns Engine, 2000, JAPE.
37. Nebhi K. A Rule-Based Relation Extraction System using DBpedia and Syntactic Parsing. *Proceedings of the NLP-DBPEDIA-2013 Workshop co-located with the 12th International Semantic Web Conference (ISWC 2013)*, 2013.
38. Wehrli E. Fips, A “Deep” Linguistic Multilingual Parser. *ACL 2007 Workshop on Deep Linguistic Processing*, Prague, Czech Republic: Association for Computational Linguistics, 2007, pp. 120–127.
39. Huffman S. B. Learning information extraction patterns from examples. *Proceedings of the 1995 IJCAI Workshop on New Approaches to Learning for Natural Language Processing*, 1995.
40. Sanderson M., Croft W. Deriving Concept Hierarchies from Text. *Annual ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 1999.
41. Heist N., Hertling S., Paulheim H. Language-Agnostic Relation Extraction from Abstracts in Wikis. *Information*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 75.
42. Kumar S. A Survey of Deep Learning Methods for Relation Extraction, 2017.
43. Nasar Z., Jaffry S. W., Malik M. Named Entity Recognition and Relation Extraction: State of the Art. *ACM Computing Surveys*, 2021, vol. 54.
44. Luo L., Yang Z., Cao M., Wang L., Zhang Y., Lin H. A neural network-based joint learning approach for biomedical entity and relation extraction from biomedical literature. *Journal of Biomedical Informatics*, 2020, vol. 103, pp. 103384.
45. Chen M., Lan G., Du F., Lobanov V. Joint Learning with Pre-trained Transformer on Named Entity Recognition and Relation Extraction Tasks for Clinical Analytics. *Proceedings of the 3rd Clinical Natural Language Processing Workshop Clinical NLP-EMNLP 2020*, Online: Association for Computational Linguistics, 2020, pp. 234–242.
46. Devisree V., Raj P. C. R. A Hybrid Approach to Relationship Extraction from Stories: International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST-2015). *Procedia Technology*, 2016, vol. 24, pp. 1499–1506.

#### **Информация об авторах**

**В. К. Пимешков** — аспирант, стажер-исследователь;

**М. Г. Шишаев** — доктор технических наук, главный научный сотрудник.

#### **Information about the authors**

**V. K. Pimeshkov** — PhD student, Research Assistant;

**M. G. Shishaev** — Doctor of Science (Tech.), Chief Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 07.11.2022; принята к публикации 14.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 07.11.2022; accepted for publication 14.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.89, 004.94  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

## РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИТУАЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Андрей Григорьевич Олейник<sup>1</sup>**, **Андрей Владимирович Маслобоев<sup>2</sup>**,  
**Александр Яковлевич Фридман<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*oleynik@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

<sup>2</sup>*masloboev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

<sup>3</sup>*fridman@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

### Аннотация

Представлен краткий обзор результатов исследований по развитию интеллектуальных методов и технологий аналитической поддержки деятельности ситуационных центров Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Основной идеей проекта являлось использование обобщенного междисциплинарного концептуального пространства (КП), в рамках которого сложные объекты моделирования могут быть охарактеризованы с точки зрения различных предметных областей. Подробно результаты по разработке комплексного КП, а также его использования для классификации ситуаций на объектах управления и оценки ситуационной осведомленности лиц, принимающих решения при управлении объектами иерархической или сетевой структуры, представлены в ряде публикаций, часть из которых указана в списке источников.

### Ключевые слова:

ситуационный центр, ситуационная осведомленность, ситуационное моделирование, междисциплинарное концептуальное пространство, интеллектуальный анализ, когнитивная классификация, природно-промышленная система

### Благодарности:

работа выполнена в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук (научно-исследовательская работа «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации», проект № FMEZ-2022-0023).

### Для цитирования:

Олейник А. Г., Маслобоев А. В., Фридман А. Я. Развитие интеллектуальных методов анализа ситуаций для обеспечения работы ситуационных центров Арктической зоны Российской Федерации // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 46–58. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

Original article

## DEVELOPMENT OF INTELLIGENT METHODS FOR ANALYZING SITUATIONS TO SUPPORT THE OPERATION OF SITUATIONAL CENTERS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Andrey G. Oleynik<sup>1</sup>**, **Andrey V. Masloboev<sup>2</sup>**, **Alexander Ya. Fridman<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*oleynik@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

<sup>2</sup>*masloboev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

<sup>3</sup>*fridman@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

### Abstract

The article presents a brief overview of the research results on the development of intelligent methods and technologies for operation analytical support of the situational centers in the Arctic zone of the Russian Federation. The main idea of the project was the application of a generalized interdisciplinary conceptual space (CS), within which complex modeling objects can be characterized from the point of view of various subject areas. Detailed results on the development of a complex CP, as well as its application for classifying situations at control objects and assessing the situational awareness of decision makers when managing objects of a hierarchical or network structure are represented in a number of publications, some of which are indicated in the list of references.

**Keywords:**

situational center, situational awareness, situational modeling, interdisciplinary conceptual space, intellectual analysis, cognitive classification, natural-industrial system

**Acknowledgments:**

the study was carried out within the framework of the state research program of Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (research work "Development of theoretical, organizational and technical foundations of information support for managing the resilience of regional critical infrastructures in the Arctic zone of the Russian Federation", project No. FMEZ-2022-0023).

**For citation:**

Oleynik A. G., Masloboev A. V., Fridman A. Ya. Development of intelligent methods for analyzing situations to support the operation of situational centers in the Arctic zone of the Russian Federation // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 46–58. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

**Введение**

Ситуационные центры (СЦ) в настоящее время считаются одним из основных инструментов повышения эффективности управленческой деятельности в различных областях и на разных уровнях управления. Они призваны обеспечить информационно-аналитическую поддержку принятия решений, включая: мониторинг состояния, комплексную оценку и прогнозирование развития ситуаций на объектах управления, а также моделирование последствий вариантов принимаемых управленческих решений для их сравнительного анализа и оптимизации [1]. На интернет-порталах *tadviser.ru* [2] и «Росинформбюро» [3] представлена информация как о появлении в СССР в 1960-х гг. идеи прообраза современных СЦ — Общегосударственной автоматизированной системы учета и обработки информации (ОГАС), предложенной академиком В. М. Глушковым, так и о современных российских поставщиках решений для СЦ. Определение СЦ, данное, например, в Википедии [4], характеризует, в первую очередь, «внешней вид» СЦ: «...помещение, оснащённое средствами коммуникаций ..., предназначенное для оперативного принятия управленческих решений, контроля и мониторинга объектов различной природы, ситуаций и других функций». В этом определении остаются скрытыми основные программные инструменты, обеспечивающие реализацию аналитических и прогностических функций СЦ, без которых проблематично принятие обоснованных управленческих решений. В качестве теоретической основы таких инструментов широко используются различные методы искусственного интеллекта (ИИ) [5], в частности методы ситуационного управления [6].

В 2018–2021 гг. коллективом, объединившим ученых нескольких научных институтов, выполнялся поддержанный Российским фондом фундаментальных исследований проект № 18-29-03022 мк междисциплинарных фундаментальных исследований, направленный на развитие технологий и методов интеллектуального анализа ситуаций для информационно-аналитического обеспечения работы сети когнитивных ситуационных центров АЗРФ.

В состав коллектива входили: А. Г. Олейник, В. А. Путилов, А. В. Масlobоев, А. Я. Фридман (Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук); В. С. Мингалев, И. В. Мингалев, К. Г. Орлов (Полярный геофизический институт); Д. Б. Денисов (Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук); А. В. Булычев (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук).

Целью проекта являлось создание технологий и методов интеллектуального анализа и автоматизированной классификации ситуаций для использования в составе информационно-аналитического обеспечения работы сети когнитивных СЦ, осуществляющих стратегическое прогнозирование, планирование развития и оперативное управление функционированием пространственных систем различной природы (с учетом специфики АЗРФ). В проекте предложено проводить классификацию в рамках обобщенного междисциплинарного КП, основанного на размерностях качества, которые характеризуют сложные объекты моделирования с точки зрения различных предметных областей. Исследовательский прототип единого КП и методы оценки в его рамках ситуационной осведомленности (СО) разрабатывались на примере промышленно-природных систем и пресноводных экосистем АЗРФ с учетом их взаимного влияния и рисков возникновения нестандартных ситуаций, обусловленных крупномасштабными атмосферными явлениями, которые характерны для данных территорий.

Полученные результаты во многом обеспечили задел для развития исследований в направлении разработки теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур АЗРФ.

### **Состояние области исследований на начало реализации проекта**

Ситуационный подход и основанные на нем методы ситуационного управления используются в различных предметных областях, в том числе и в области моделирования и управления динамическими пространственными системами [6–8]. основоположником данного направления в нашей стране стал Д. А. Поспелов [6]. Ключевым понятием в рамках этого подхода является ситуация. В общем случае ситуация определяется знаниями о структуре объекта и окружающей среды, состоянии системы управления и технологии (стратегиях) управления [6] в этот момент. В предыдущий период при создании ситуационной системы моделирования (ССМ) [8] исполнителями проекта было дано формальное определение ситуации и основных аспектов ситуационного подхода для конкретной модели, а также предложены решения задачи классификации и обобщения ситуаций. Однако остались проблемы построения классов ситуаций. Это определило необходимость исследования возможности применения когнитивной категоризации для развития ситуационного подхода к исследованию динамики пространственных объектов на базе концептуальной модели, образующей ядро ССМ.

В качестве «среды», в рамках которой планировалось реализовать методы и процедуры категоризации ситуаций, были выбраны концептуальные пространства. КП представляют собой геометрические структуры, основанные на размерностях качества (quality dimensions — QD), которые определяют степень схожести или различия объектов [9–11]. В концептуальных пространствах объекты характеризуются набором атрибутов или качеств. Каждое качество принимает значения в определенном домене [12], которые могут быть непрерывными или дискретными. Таким образом КП представляет собой декартово произведение доменов, в котором объекты идентифицируются точками, а понятия «занимают» некоторую область в этом пространстве. Наделение концептуальных пространств мерой расстояния позволяет моделировать отношения сходства как отдельных объектов, так и понятий.

Геометрическая природа концептуальных пространств позволяет манипулировать размерностями независимо друг от друга и обеспечивает гибкое и практичное представление контекстно-зависимой категоризации. Степень типичности экземпляров определяется их расстоянием до прототипа. Соответственно, в каждой категории некоторые члены считаются более представительными, чем другие [9–13]. Классификация объектов осуществляется путем определения их сходства с прототипом. Экземпляры выше некоторого порога сходства с прототипом принимаются как члены категории, все остальные экземпляры не являются членами. Прототипом не всегда служит один из реальных экземпляров, входящих в категорию, это может быть и некоторый идеальный набор значений атрибутов.

Основная идея планируемого исследования заключалась в том, что прототипы и базовое отношение сходства с ними применимы для разбиения КП на категории, причем при использовании евклидовой метрики категории обладают свойством выпуклости.

Для оперативной выработки решения важную роль играет СО. Формальное определение СО разделяется на три сегмента: восприятие «значимых» элементов в окружающей среде, понимание ситуации и прогноз будущего статуса [7, 14]. Наличие полной, точной и актуальной СО особенно важно, когда сложность процесса и ситуации вызывает сомнения в возможностях лица, принимающего решение (ЛПР), самостоятельно справиться с этим. Представляется, что основные принципы СО, предложенные автором этого подхода М. Эндсли [14], становятся реалистичными только применительно к конкретной модели принятия решений в той или иной предметной области.

Анализ состояния исследований и разработок в области построения систем информационной поддержки принятия решений региональных ситуационных центров позволил сделать вывод о том, что эффективным средством реализации сетецентрического управления в условиях критических ситуаций являются агентные технологии [15]. Это обусловлено тремя решающими факторами: высокой динамичностью среды функционирования субъектов управления, необходимостью координации

децентрализованного принятия решений и учета человеческого фактора в процессе управления. Применение программных агентов с внутренней подсистемой имитационного моделирования обеспечивает адаптивное моделирование поведения субъектов управления с учетом их активности и кооперативности в условиях различных кризисных ситуаций.

Также при реализации проекта планировалось адаптировать для сетевых объектов ранее предложенный исполнителями принцип градиентной координации в иерархической системе управления [16].

Формирование единого КП, учитывающего специфические особенности АЗРФ, представляет собой объемную междисциплинарную задачу. В рамках проекта планировалась разработка методики его формирования и технологий работы с ним на основе рассмотрения ограниченного набора задач из нескольких предметных областей, играющих важную роль для ситуационного управления пространственными системами АЗРФ.

При планировании и реализации различных видов деятельности в АЗРФ необходимо учитывать возможное влияние состояния и динамики нижней атмосферы Земли, в частности полярных циклонов. Крупномасштабные атмосферные вихри могут быть причиной возникновения чрезвычайных ситуаций в системах различного типа, локализованных в АЗРФ [17]. Изучению циклонов различными методами, в том числе и методами компьютерного моделирования, посвящена обширная научная литература. Ряд таких публикаций указан в списках использованных источников печатных работ исполнительской части проекта, в частности статьи [18]. Несмотря на достигнутый в последние годы прогресс, проблема предсказания зарождения циклонов и ураганов, прогнозирования траекторий их движения, эволюции их характеристик остается нерешенной.

Многолетняя интенсивная промышленная деятельность в ряде регионов АЗРФ привела к резкому ухудшению качества природных вод региона, используемых в промышленных и бытовых целях. Для адекватной оценки и прогноза дальнейших изменений водоемов Арктики требуются не только знания о состоянии водных экосистем, но и данные о деятельности промышленных объектов, динамике объемов выбросов и сбросов, их составе, изменении климатических и метеорологических параметров [19], включая крупномасштабные атмосферные вихри. Значимыми также являются социально-экономические факторы, от которых зависят интенсивность и способы использования водных ресурсов. Это определяет актуальность планируемых в проекте исследований с точки зрения обеспечения СО о состоянии водных экосистем АЗРФ и управления их рациональным, «неразрушающим» использованием.

Для обеспечения единства методологии формирования и анализа концептуальных пространств в проекте был использован концепт промышленно-природной системы (ППС) [20].

## Методы

Междисциплинарный характер проводимых исследований предопределил широкий спектр используемых при реализации проекта подходов, методов и информационных технологий. Так, для определения факторов, характеризующих состояние пресноводных водоемов АЗРФ, использовались биохимические методы, включенные в состав Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater [21], а также методы многомерного статистического анализа результатов натурных наблюдений и лабораторных исследований. Для раннего предсказания зарождения полярных циклонов разработан и реализован оригинальный метод, основанный на использовании регулярных спутниковых наблюдений за формой арктического фронта в микроволновом и инфракрасном диапазонах. Данные спутниковых наблюдений используются в качестве начальных условий для выполнения прогностических расчетов на региональной трехмерной математической модели ветровой системы нижней атмосферы. Модель была разработана в Полярном геофизическом институте и ранее применялась для моделирования процессов зарождения тропических крупномасштабных вихрей [22]. В настоящей работе модель применена для исследования физических характеристик, структуры и особенностей поведения полярных циклонов с целью предсказания района их возникновения, возможных направления и скорости дальнейшего перемещения.

Большинство примененных при реализации проекта методов работы с концептуальными пространствами, числовой оценкой СО и координации на ее основе взаимодействий ЛПР разработаны участниками проекта и являются новыми [23–25].

Предложена модификация метрики Тверски для иерархических систем, что позволило уменьшить зависимость результатов классификации ситуаций от текущих значений переменных состояния и тем самым повысить эффективность обработки архива ситуаций при поиске аналогов сложившейся в ППС ситуации с целью определения такого варианта реализации структуры ППС, который в максимальной степени соответствует предпочтениям ЛПР.

Отличия разработанной системы моделирования состоят в интеграции средств, ориентированных на исследование ППК как трудно формализуемых сложных нестационарных пространственных объектов. К таким средствам относятся совместная логико-аналитическая обработка данных и ситуационный анализ состояния изучаемого объекта с применением экспертных знаний и с учетом пространственно-временных зависимостей в характеристиках ППК, которые выполняются с использованием картографической информации.

При разработке решений в области синтеза структуры систем поддержки принятия решений (СППР) СЦ и организации взаимодействия ее узлов использованы сетевые подходы и мультиагентные технологии. На их основе разработаны механизмы сетевого управления СО, обеспечившие возможность формирования оперативного контекста СО и координации децентрализованного управления.

### **Краткие результаты**

В ходе исследований сформированы и проанализированы базовые примеры концептуальных пространств для категоризации ситуаций в промышленно-природных комплексах (ППК) как важнейших компонентах региональных социально-экономических систем АЗРФ. Кроме этого, рассматривались связанные с деятельностью промышленных предприятий процессы в пресноводных экосистемах западной части АЗРФ, а также динамика нижней атмосферы Земли в высоких широтах, оказывающая влияние на ППК.

По результатам анализа многолетних наблюдений установлено, что массовому развитию токсичных цианобактерий (МРЦ) в крупных пресноводных водоемах АЗРФ способствовали процессы уменьшения антропогенного загрязнения вод тяжелыми металлами наряду с сохранением высокого содержания элементов биогенного питания фитопланктона. Выявленное влияние деятельности промышленных предприятий на процессы МРЦ вод подтверждает, что для адекватной оценки и прогноза изменений пресноводных водоемов Арктики требуются знания не только экологического характера, но и данные о деятельности промышленных объектов и метеорологических параметрах [26]. Это позволяет утверждать, что выработку системных решений по управлению рациональным, «неразрушающим» использованием пресноводных систем АЗРФ целесообразно осуществлять на основе комплексного КП, где собственно экологическая составляющая является одной из компонент.

Предложен эффективный метод раннего предсказания зарождения полярных циклонов [27], основанный на анализе данных спутниковых наблюдений за конфигурацией арктического фронта и использовании этих данных в прогностических расчетах по математической модели ветровой системы нижней атмосферы Земли, разработанной ранее участниками проекта [22]. Серии расчетов позволили выявить неизвестный ранее механизм зарождения полярных циклонов, физической причиной которого является развитие неустойчивости сдвигового воздушного течения, которая инициируется искривлением арктического фронта [28]. Полярные циклоны и арктические ураганы чаще всего возникают в осенне-зимний период над незамерзающими поверхностями Норвежского и Баренцева морей и могут смещаться на значительные расстояния. Учитывая угрозы, обусловленные полярными циклонами и арктическими ураганами, предсказание зарождения полярных циклонов, прогнозирование траекторий их движения, оценка изменений их характеристик за времена существования являются важными научными и практическими задачами в рамках работы СЦ АЗРФ.

Определены механизмы формирования на основе базовых «предметных» концептуальных пространств комплексного концептуального пространства (ККП) иерархической структуры, способного обеспечить классификацию ситуаций в ППК с междисциплинарной точки зрения [25]. В общем случае размерности КП, формируемого для ППК, могут использоваться и в других «проблемно ориентированных» КП. Вариант формирования иерархического ККП региона с декомпозицией интегральных показателей по трем критериям (отраслевому, территориальному и организационно-управленческому) рассмотрен в работе [25].

Разработаны общие принципы проецирования комплексных концептуальных пространств на типы ситуаций с целью автоматизированного формирования существенных концептуальных подпространств для определенных типов ситуаций. Для этого применена идеология ситуационного управления и ранее разработанный метод классификации ситуаций в ССМ, в том числе с учетом прототипических свойств ситуаций одного класса [29]. Для проецирования ККП на типы ситуаций используются алгоритмы ССМ, реализующие метод классификации ситуаций, позволяющий выяснить, к какому классу относится текущая ситуация, а также выявить пожелания ЛПР по дальнейшему управлению подчиненным ему объектом. На основе анализа структуры и параметров объекта управления системой моделирования «предлагается» управление, реализующее пожелания ЛПР с учетом состояния системы и имеющихся ограничений. Важным компонентом выработки «предложений» при наличии в системе нескольких ЛПР является оценка СО каждого из них и координация реализуемых ими управлений на объектах с иерархической и/или сетевидной структурами.

Концепция СО адаптирована и конкретизирована для ранее разработанной исполнителями ситуационной концептуальной модели ППК. Особенности разработанного подхода состоят в количественной оценке трёх основных аспектов (этапов) достижения СО и учете возможности перехода объекта моделирования из режима нормального функционирования в нештатную или чрезвычайную ситуацию. Создана формальная модель числовой оценки общей степени СО лиц, принимающих решения, и трех ее составляющих — восприятие ситуации, ее понимание и прогноз будущего [30, 31]. Модель позволяет объективизировать измерение уровня СО для всех ЛПР, участвующих в управлении составными частями комплекса, и реализовать процедуры координации действий нескольких ЛПР с различной зоной ответственности. Разработаны формальные процедуры масштабирования сигналов обратной связи с нижележащих уровней иерархии на основе числовой оценки СО ЛПР на этих уровнях. На основе использования оценок СО ЛПР для сетевидных структур управления предложены когнитивный подход к оперативному формированию зон ответственности различных узлов принятия решений, механизмы изменения ранга узлов в зависимости от ситуации и определения узла-координатора для текущей ситуации. Разработаны количественные соотношения, позволяющие объективно оценить важность решений данного ЛПР для всей системы и учитывать эту важность при поиске баланса интересов всех ЛПР, влияющих на функционирование ППК.

Предложен обобщенный подход к синтезу и конфигурированию СППР СЦ, обеспечивающий возможность оперативной реконфигурации СППР СЦ с учетом контекста исследуемой ситуации (спецификации задачи ситуационного управления) [32–35]. Синтез конфигураций СППР основывается на анализе информационной структуры управления, используемой в СЦ, и спецификаций решаемых задач. В процессе синтеза учитываются связи между всеми элементами информационной структуры управления СЦ и их соответствие целевому состоянию объекта управления. Конфигурирование предполагает оптимизацию или адаптацию СППР СЦ за счет изменения (расширения или редуцирования) функциональной структуры и подсистем СЦ, в том числе состава активных управляющих элементов СЦ (агентов) и информационных объектов (источников данных, веб-сервисов и других инфоресурсов). Для успешности реализации этого процесса система распределенных СЦ должна поддерживать принципы интероперабельности, самоорганизации и синергии, а также строится на единых стандартах информационно-коммуникационных технологий. Предложенный подход реализуется в рамках мультиагентной технологии динамического синтеза и конфигурирования виртуальных концептуальных пространств, основанной на использовании модифицированной модели самоорганизации в одноранговых распределенных системах на основе градиентных вычислительных полей. Технология предназначена для поддержки функционирования информационной среды региональных СЦ в условиях децентрализованного управления и высокой динамики СО в процессе принятия решений. Динамическое конфигурирование реализовано путем формирования коалиций агентов и ассоциированных с ними виртуальных сетей ресурсов и веб-сервисов.

### **Направления развития полученных результатов**

Полученные в ходе реализации проекта результаты нашли свое применение и получили развитие при разработке теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью критически важных объектов и инфраструктур АЗРФ. Качественное

определение критически важного объекта (КВО) [36] указывает, что нарушение его функционирования влечет негативные последствия для территориальной системы определенного «территориального» уровня (от страны в целом до административно-территориальной единицы). При этом как само понятие КВО, так и критерии их «идентификации» и классификации в настоящее время юридически не зафиксированы. Вместе с тем очевидно, что как уровни, виды и функции КВО, так и последствия нарушения их функционирования весьма разнообразны.

Следует отметить, что практически все ППК, локализованные на территории АЗРФ, по своим характеристикам могут быть отнесены к КВО. Так, нарушение / прекращение их функционирования не только влечет негативные социально-экономические последствия для непосредственно связанного с ними населения, но и вызывает негативную «цепную реакцию» в социально-экономической системе региона или даже страны в целом. В силу территориального масштаба ППК вызванные различными причинами аварийные ситуации на их «промышленной» составляющей могут нанести серьезный урон природной компоненте, устранение которого осложняется специфическими природно-климатическими условиями АЗРФ.

Реализуемые на практике процедуры управления региональными критическими объектами и инфраструктурами требуют повышения уровня согласованности и эффективности в процессах принятия решений. Для решения этой задачи проводятся исследования по развитию существующих и созданию новых моделей и методов, информационных технологий и программных средств в контексте современной теории безопасности сложных систем. Задача интеграции разных подходов и методов для организации информационно-аналитической поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур обладает самостоятельной научной значимостью для развития теории безопасности сложных динамических систем.

Разнородный характер критических объектов и инфраструктур, реализуемых ими «критических» функций, а также угроз их функционированию и возможных последствий реализации этих угроз предопределяет необходимость для управления эффективным функционированием таких объектов, включая обеспечение их жизнеспособности, использовать междисциплинарный подход. Формальным «каркасом» его применения являются разработанный аппарат формирования комплексных концептуальных пространств, реализуемые в его рамках процедуры ситуационного анализа и прогнозирования, а также согласования деятельности ЛПП с учетом их СО. Особенную важность такие исследования приобретают при обосновании безопасности включения новых ППС в сложившуюся структуру разнородных объектов. Для предотвращения или по крайней мере для снижения ущербов от наиболее опасных зависимых (комплексных, цепочечных) отказов представляется необходимым в ходе технико-экономического обоснования новых разработок уделить существенное внимание поиску с помощью предложенной информационной технологии так называемых «узких мест» в структуре ППС, которые могут вызвать подобные отказы. При этом на ситуационной модели требуется выполнять превентивную аналитику режимов работы ППС в двух направлениях: возможности негативных воздействий новых объектов на уже существующие и обратно — выявления нежелательных последствий работы существующих объектов на новую систему. По-видимому, единственная возможность такой аналитики — это детализированное исследование ситуационной модели регионального масштаба, построенной с помощью специализированных цифровых двойников ППС, которые в теории ситуационного моделирования являются исполнителями объектов и процессов, имитирующих работу ППС как в штатных, так и в нештатных режимах.

В плане апробации разработанных методов и технологий рассмотрены тестовые задачи формирования концептуальных пространств и координации на основе изменения СО ЛПП стратегий управления гидротехническими сооружениями (хвостохранилищами предприятий горной промышленности) как в условиях нормального функционирования, так и в случаях возникновения критических ситуаций. Выбор объектов обусловлен тем, что системное описание возможных ситуаций на объектах данной категории требует явного учета не только технологических, но и экологических и метеорологических факторов [37].

## Заключение

В проведенных исследованиях разрабатывались методы и технология формирования и практического использования комплексного междисциплинарного КП для оценки состояния и ситуационного моделирования развития сложных пространственных систем АЗРФ. Полученные решения обеспечивают как анализ и оптимизацию сценариев функционирования этих систем в нормальных условиях, так и выработку рекомендаций по реагированию на возможные нестандартные, включая кризисные, ситуации. Сформированы и проанализированы базовые примеры концептуальных пространств, предназначенные для категоризации ситуаций в ППК как в компонентах региональной социально-экономической системы с учетом их влияния на пресноводные экосистемы западной части АЗРФ, а также возможных воздействий на объекты ППК атмосферных явлений, характерных для высоких широт. Выявлены факторы, связывающие КП экологической ситуации на крупных пресноводных водоемах АЗРФ с динамикой нижней атмосферы и деятельностью в регионе предприятий горной промышленности. Усовершенствованы модели исследования пространственных распределений скорости, плотности и температуры воздуха в земной атмосфере. С их помощью получены новые результаты в области прогнозирования динамики атмосферных процессов в Арктической зоне Земли. Предложен подход к формированию на основе базовых «предметных» концептуальных пространств комплексного КП иерархической структуры, способного обеспечить междисциплинарную классификацию ситуаций в ППК. Разработаны методы и процедуры анализа полноты ККП с точки зрения представления состояния сложной пространственной системы, разработки и анализа различных сценариев ее развития при варьировании целей управления. Определены общие принципы и механизмы проецирования ККП на типы ситуаций с целью автоматизированного формирования подпространств, характеризующих конкретные типы ситуаций. Разработана методика и формальный аппарат автоматизированного поиска ситуаций-прототипов на основе оценки семантических расстояний между ситуациями в КП. Для систем, управляемых несколькими ЛПР, предложены количественные соотношения, позволяющие оценить важность решений каждого ЛПР для всей системы и учитывать эту важность при поиске баланса интересов всех ЛПР. На основе оценок СО для сетцентрических структур управления предложены когнитивный подход к оперативному формированию зон ответственности различных узлов принятия решений, механизмы изменения ранга узлов в зависимости от ситуации и определения узла-координатора для текущей ситуации. Разработаны технологические решения по конфигурированию коалиционных мультиагентных систем поддержки принятия решений на разных уровнях управления, обеспечению интероперабельности их компонентов и оценке качества структуры и состава используемых средств информационной поддержки. Рассмотрены тестовые задачи формирования концептуальных пространств и координации на основе изменения СО ЛПР, стратегий управления вариантами развития ситуаций на гидротехнических сооружениях (хвостохранилищах предприятий горной промышленности) с учетом технологических, экологических и метеорологических факторов.

В результате проведенных исследований впервые в совокупности реализованы методы и процедуры формирования и использования концептуальных пространств для представления состояния и анализа сценариев развития сложной пространственной системы. Их новизна, в частности, определяется использованием новых семантических мер близости категорий, моделируемых в концептуальных пространствах; применением оригинальных числовых оценок СО в целом и трех ее основных аспектов. Предложены числовые меры оценки СО в целом и трех основных ее аспектов, что позволяет объективизировать оценку достигнутой степени СО, что особенно важно в случае иерархических или сетцентрических структур объектов, когда различные составные части одного ППК входят в зоны ответственности различных ЛПР.

Для обеспечения СО на основе автоматизированной обработки и анализа информации, необходимой для подготовки и согласования управленческих решений в условиях региональных кризисных ситуаций в СППР, используемых в СЦ региона, разработаны формальные модели региональных кризисных ситуаций, обобщенные на задачи управления региональной безопасностью. Модели обеспечивают гибкий синтез структуры СППР по управлению безопасностью социально-экономических систем, а также служат основой для последующего онтологического и имитационного моделирования этих ситуаций в системах обеспечения безопасности. Компьютерные модели развития

региональных кризисных ситуаций в блоке моделирования СППР СЦ формируются в автоматизированном режиме из типовых модельных шаблонов на основе концептуальных и онтологических описаний этих ситуаций. Это обеспечивает вариабельность и оперативную настройку имитационных моделей кризисных ситуаций под задачи ситуационного управления с целью исследования динамических характеристик ситуаций.

Разработанная методология синтеза и конфигурирования СППР СЦ обеспечивает единообразие концептуального, математического и имитационного моделирования. В отличие от известных подходов предложенная методология реализует процедуры автоматизированного синтеза сетевой структуры виртуальной среды ситуационного управления с выделенными управляющими центрами. Это позволяет расширить функциональность распределенной системы физических СЦ за счет генерации сети виртуальных центров управления и их общей интеграции в единое информационное пространство. Синтез структуры и конфигурирование СППР виртуальных СЦ выполняются на основе совместного анализа семантического описания решаемых задач, информационно-вычислительных ресурсов и сервисов агентов, а всей распределенной СППР (сети СЦ) — за счет реализации моделей самоорганизации агентов в коалиции, основанных на методе градиентных вычислительных полей и ассоциированных с агентами сетей виртуальных ресурсов.

### Список источников

1. Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.
2. Портал TAdviser: Государство. Бизнес. Технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 27.10.2022).
3. Ситуационные центры: В России сегодня [Электронный ресурс]. URL: <https://rosinform.ru/security/930028-situatsionnye-tsentry-v-rossii-segodnya/> (дата обращения: 27.10.2022).
4. Ситуационный центр [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ситуационный\\_центр](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ситуационный_центр) (дата обращения: 27.10.2022).
5. Соколов И. А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 4. С. 365–370.
6. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
7. Endsley M. R. Situation awareness: Progress and directions // A cognitive approach to situation awareness: Theory and application / S. Banbury, S. Tremblay (Eds.). Aldershot, UK: Ashgate Publishing, 2004. P. 317–341.
8. Фридман А. Я. Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrücken, Germany: LAP, 2015. 540 с.
9. Gärdenfors P. Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 317 p.
10. Gärdenfors P. Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. Cambridge, MA: MIT Press. 2014. 343 p.
11. Applications of Conceptual Spaces. The Case for Geometric Knowledge Representation / Zenker F., Gärdenfors P. eds. Synthese Library. Springer, 2015. Vol. 359. 285 p.
12. Gärdenfors P., Lohndorf S. What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations // Cognitive Linguistics. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 437–456.
13. Decock L., Douven I. What is Graded Membership? // Noûs. 2014. No. 48. P. 653–682.
14. Endsley M. R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cognitive Engineering and Decision Making. 2015. Vol. 9, No. 1. P. 101–111.
15. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КНИЦ РАН, 2016. 222 с.
16. Фридман А. Я. Координация и планирование управлений в локально организованных иерархических системах // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (Светлогорск, 15–20 июня 2015 г.): тр. конф. В 2 т. М.: ИСА РАН, 2015. Т. 1. С. 115–124.

17. Tanaka H. L. et al. The structure and behavior of the Arctic cyclone in summer analyzed by the JRA-25/JCDAS data // *Polar Science*. 2012. Vol. 6, No. 1. P. 55–69.
18. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Results of Numerical Modeling of the Origin of Cyclones and Anticyclones in the Vicinity of the Intertropical Convergence Zone // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2019. No. 9. P. 213–228.
19. Kashulin N. A. et al. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk region, Russia // *Journal of Environmental Science and Health*. 2017. Part A, No. 52 (9). P. 921–929.
20. Фридман А. Я. Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой // Идентификация систем и задачи управления: Труды IV международной конференции (25–28 января 2005 г., Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва). М.: ИПУ РАН, 2005. С. 1075–1108.
21. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [Электронный ресурс]. URL: <https://www.standardmethods.org/> (дата обращения: 27.10.2022).
22. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Numerical Modeling of the Influence of the Relief of a Planet on the Global Circulation of the Earth's Stratosphere and Mesosphere // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 496–510.
23. Fridman A., Oleynik A. Situational Information System for Decision-Making Support Regarding Industry-Natural Complexes // *Proceedings of the 17th Annual Industrial Simulation Conference (ISC'2019)*, June 5–7, 2019, Lisbon, Portugal. EUROSIS-ETI Publication. P. 41–45.
24. Fridman A., Oleynik A. Modelling of situation awareness in net-centric commercial systems // *Modelling and Simulation 2020: Proceedings of the 34rd Annual European Simulation and Modelling Conference (ESM'2020)*, October 21–23, 2020. LAAS-CNRS, Toulouse, France: EUROSIS-ETI Publication, 2020. P. 64–67.
25. Олейник А. Г., Фридман А. Я. Структура комплексных концептуальных пространств в междисциплинарных проектах // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Информационные технологии. 2020. Вып. 11. С. 149–154.
26. Denisov D. B., Oleynik A. G. Current aspects of freshwater quality protection in the Arctic zone of the Russian Federation // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2021. Vol. 867 (1), Article No.: 012039.
27. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Initial Formation of Polar Lows in the High-latitude Atmosphere: A Modeling Based Study Approach // *Modern Advances in Geography, Environment and Earth Sciences*. 2021. Vol. 5. P. 86–101.
28. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Chapter 1: Numerical Modeling of the Global Circulation of the Earth's Middle Atmosphere for Different External Conditions // *International Research in Environment, Geography and Earth Science*. 2020. Vol. 1. P. 1–20.
29. Фридман А. Я., Олейник А. Г. Методы и средства поддержки принятия решений по обеспечению устойчивого функционирования промышленно-природных комплексов в Арктической зоне РФ // *История науки и техники*. 2019. № 4. С. 26–34.
30. Fridmsn A. Ya., Kulik B. A. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol. 95. P. 247–256.
31. Фридман А. Я. Опыт интеллектуализации методов ситуационного моделирования дискретных нестационарных пространственных объектов // *Автоматика и телемеханика*. 2022. Вып. 6. С. 151–168.
32. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 1. Анализ информационной структуры управления // *Информационные системы и технологии*. 2020. № 5 (121). С. 68–76.
33. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 2. Модели и методы оценки // *Информационные системы и технологии*. 2020. № 6 (122). С. 30–38.
34. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 3. Синтез конфигураций и нормативное обеспечение // *Информационные системы и технологии*. 2021. № 4 (126). С. 62–72.
35. Masloboev A. V. A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control // *Reliability and quality of complex systems*. 2020. No. 3 (31). P. 112–120.

36. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году». М.: МЧС России ; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 299 с.
37. Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S., Oleinik A. G. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 816 (1). Article No.: 012015.

## References

1. Il'in N. I., Demidov N. N., Novikova E. V. *Situatsionnye tsentry. Opyt, sostoyanie, tendentsii razvitiya* [Situational centers. Experience, state, development trends]. Moscow, MediaPress, 2011, 336 p. (In Russ.).
2. Portal TAdviser: Gosudarstvo. Biznes. Tekhnologii [TAdviser portal: State. Business. Technology]. (In Russ.). Available at: <https://www.tadviser.ru/> (accessed 27.10.2022).
3. Situatsionnye tsentry: V Rossii segodnya [Situational centers: In Russia today]. (In Russ.). Available at: <https://rosinform.ru/security/930028-situatsionnye-tsentry-v-rossii-segodnya/> (accessed 27.10.2022).
4. Situatsionnyy tsentr [Situational center]. (In Russ.). Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Situatsionnyy\\_tsentr](https://ru.wikipedia.org/wiki/Situatsionnyy_tsentr) (accessed 27.10.2022).
5. Sokolov I. A. Teoriya i praktika primeneniya metodov iskusstvennogo intellekta [Theory and practice of applying artificial intelligence methods]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2019, vol. 89, no. 4, pp. 365–370. (In Russ.).
6. Pospelov D. A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational control: theory and practice]. Moscow, Nauka, 1986, 288 p. (In Russ.).
7. Endsley M. R. *Situation awareness: Progress and directions. A cognitive approach to situation awareness: Theory and application*. S. Banbury, S. Tremblay (Eds.). Aldershot, UK, Ashgate Publishing, 2004, pp. 317–341.
8. Fridman A. Ya. *Situatsionnoe upravlenie strukturoy promyshlennno-prirodnykh sistem. Metody i modeli* [Situational management of the structure of industrial-natural systems. Methods and models]. Saarbrücken, Germany, LAP, 2015, 540 p. (In Russ.).
9. Gärdenfors P. *Conceptual Spaces: The Geometry of Thought*. A Bradford Book. Cambridge, MA, MIT Press, 2000, 317 p.
10. Gärdenfors P. *Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces*. Cambridge, MA, MIT Press, 2014, 343 p.
11. Applications of Conceptual Spaces. *The Case for Geometric Knowledge Representation*. Zenker F., Gärdenfors P. eds. Synthese Library. Springer, 2015, vol. 359, 285 p.
12. Gärdenfors P., Lohndorf S. What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations. *Cognitive Linguistics*, 2013, vol. 24, no. 3, pp. 437–456.
13. Decock L., Douven I. What is Graded Membership? *Noûs*, 2014, no. 48, pp. 653–682.
14. Endsley M. R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures. *J. of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2015, vol. 9, no. 1, pp. 101–111.
15. Masloboev A. V., Putilov V. A. *Informatsionnoe izmerenie regional'noy bezopasnosti v Arktike* [Information dimension of regional security in the Arctic]. Apatity, KSC RAS, 2016, 222 p. (In Russ.).
16. Fridman A. Ya. Koordinatsiya i planirovanie upravleniy v lokal'no organizovannykh ierarkhicheskikh sistemakh [Coordination and management planning in locally organized hierarchical systems]. *Shestaya Mezhdunarodnaya konferentsiya "Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii" SAIT-2015 (Svetlogorsk, 15–20 iyunya 2015 g.): tr. konf. V 2 t.* [Sixth International Conference "System Analysis and Information Technologies" SAIT-2015 (June 15–20, 2015, Svetlogorsk): Proceedings of the conference. In 2 volumes]. Moscow, ISA RAS, 2015, vol. 1, pp. 115–124. (In Russ.).
17. Tanaka H. L., Yamagamib A., Takahashib Sh. The structure and behavior of the Arctic cyclone in summer analyzed by the JRA-25/JCDAS data. *Polar Science*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 55–69.
18. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Results of Numerical Modeling of the Origin of Cyclones and Anticyclones in the Vicinity of the Intertropical Convergence Zone. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2019, no. 9, pp. 213–228.

19. Kashulin N. A., Dauvalter V. A., Denisov D. B., Valkova S. A., Vandysh O. I., Terentjev P. M., Kashulin A. N. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk region, Russia. *Journal of Environmental Science and Health*, 2017, part A, no. 52 (9), pp. 921–929.
20. Fridman A. Ya. Situatsionnyy podkhod k modelirovaniyu promyshlenno-prirodnykh kompleksov i upravleniyu ikh strukturoy [Situational approach to modeling industrial-natural complexes and managing their structure]. *Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya: Trudy IV mezhdunarodnoy konferentsii (25–28 yanvarya 2005 g., Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova, g. Moskva)* [Identification of systems and control tasks: Proceedings of the IV international conference (January 25–28, 2005, V. A. Trapeznikov Institute of Control Problems, Moscow)]. Moscow, ICS RAS, 2005, pp. 1075–1108. (In Russ.).
21. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (In Russ.). Available at: <https://www.standardmethods.org/> (accessed 27.10.2022).
22. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Numerical Modeling of the Influence of the Relief of a Planet on the Global Circulation of the Earth's Stratosphere and Mesosphere. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2017, vol. 7, pp. 496–510.
23. Fridman A., Oleynik A. Situational Information System for Decision-Making Support Regarding Industry-Natural Complexes. *Proceedings of the 17th Annual Industrial Simulation Conference (ISC'2019)*, June 5–7, 2019, Lisbon, Portugal. EUROSIS-ETI Publication, pp. 41–45.
24. Fridman A., Oleynik A. Modelling of situation awareness in net-centric commercial systems. Modelling and Simulation 2020. *Proceedings of the 34rd Annual European Simulation and Modelling Conference (ESM'2020)*, October 21–23, 2020. LAAS-CNRS, Toulouse, France, EUROSIS-ETI Publication, 2020, pp. 64–67.
25. Oleynik A. G., Fridman A. Ya. Struktura kompleksnykh kontseptual'nykh prostranstv v mezhdistsiplinarynykh proektakh [The structure of complex conceptual spaces in interdisciplinary projects]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Series “Information Technologies”], 2020, vol. 11, pp. 149–154. (In Russ.).
26. Denisov D. B., Oleynik A. G. Current aspects of freshwater quality protection in the Arctic zone of the Russian Federation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 867 (1), Article No.: 012039.
27. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Initial Formation of Polar Lows in the High-latitude Atmosphere: A Modeling Based Study Approach. *Modern Advances in Geography, Environment and Earth Sciences*, 2021, vol. 5, pp. 86–101.
28. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Chapter 1: Numerical Modeling of the Global Circulation of the Earth's Middle Atmosphere for Different External Conditions. *International Research in Environment, Geography and Earth Science*, 2020, vol. 1, pp. 1–20.
29. Fridman A. Ya., Oleynik A. G. Metody i sredstva podderzhki prinyatiya resheniy po obespecheniyu ustoychivogo funktsionirovaniya promyshlenno-prirodnykh kompleksov v Arkticheskoy zone RF [Methods and means of supporting decision-making on ensuring sustainable functioning of industrial-natural complexes in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology], 2019, no. 4, pp. 26–34. (In Russ.).
30. Fridman A. Ya., Kulik B. A. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, vol. 95, pp. 247–256.
31. Fridman A. Ya. Opyt intellektualizatsii metodov situatsionnogo modelirovaniya diskretnykh nestatsionarnykh prostranstvennykh ob"ektov [Experience of Intellectualization of Situational Modeling Methods for Discrete Time-Varying Spatial Objects]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 2022, no. 83 (6), pp. 946–959. (In Russ.).
32. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 1. Analiz informatsionnoy struktury upravleniya [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 1. Analysis of the information management structure]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2020, no. 5 (121), pp. 68–76. (In Russ.).

33. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 2. Modeli i metody otsenki [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 2. Models and methods of evaluation]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2020, no. 6 (122), pp. 30–38. (In Russ.).
34. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 3. Sintez konfiguratsiy i normativnoe obespechenie [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 3. Synthesis of configurations and regulatory support]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2021, no. 4 (126), pp. 62–72. (In Russ.).
35. Masloboev A. V. A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control. *Reliability and quality of complex systems*, 2020, no. 3 (31), pp. 112–120.
36. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera v 2010 godu” [State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2010”]. Moscow, EMERCOM of Russia, FGU VNII GOChS (FTs), 2011, 299 p. (In Russ.).
37. Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S., Oleinik A. G. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 816 (1), Article No.: 012015.

#### **Информация об авторах**

**А. Г. Олейник** — доктор технических наук, директор;

**А. В. Маслобоев** — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник;

**А. Я. Фридман** — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник.

#### **Information about the authors**

**A. G. Oleynik** — Doctor of Science (Tech.), Director;

**A. V. Masloboev** — Doctor of Science (Tech.), Leading Researcher;

**A. Ya. Fridman** — Doctor of Science (Tech.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 08.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 08.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.5  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.005

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

**Борис Михайлович Пилецкий<sup>1✉</sup>, Александр Владимирович Вицентий<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*gideon.stl@gmail.com<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-3141-9595>*

<sup>2</sup>*alx\_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

### Аннотация

Описывается обобщённая архитектура системы поддержки принятия решений в области управления промышленно-природными комплексами (ППК), особенностью которой является возможность учета специфических потребностей пользователей за счет интеграции модуля формирования профилей пользователей. Рассмотрены структура, взаимосвязь основных компонентов, информационные потоки и реализуемые в рамках данной архитектуры функции. В заключительной части статьи приводятся выводы, которые были сделаны при разработке обобщённой архитектуры системы, рассмотрены возможные пути дальнейшего исследования.

### Ключевые слова:

система поддержки принятия решений, профиль пользователя, архитектура СППР, картографический интерфейс, геовизуализация

### Для цитирования:

Пилецкий Б. М., Вицентий А. В. Разработка модуля формирования профилей пользователей для системы поддержки принятия решений в области управления промышленно-природными комплексами // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 59–65. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.005

Original article

## DEVELOPMENT OF A USER PROFILING MODULE FOR A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MANAGEMENT OF INDUSTRIAL AND NATURAL COMPLEXES

**Boris M. Pileckiy<sup>1✉</sup>, Aleksander V. Vicentiy<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*gideon.stl@gmail.com<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-3141-9595>*

<sup>2</sup>*alx\_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

### Abstract

This paper describes the generalized architecture of the decision support system in the field of management of industrial and natural complexes, the feature of which is the ability to take into account the specific needs of users through the integration of the module of formation of user profiles. The structure, the relationship of the main components, information flows and realized in the framework of this architecture functions are considered. In the conclusion the results, which were obtained during the development of the generalized architecture of the system, are presented and the possible directions of further research are considered.

### Keywords:

decision support system, user profile, DSS architecture, mapping interface, geo-visualization

### For citation:

Piletskii B. M., Vicentiy A. V. Development of a user profiling module for a decision support system for management of industrial and natural complexes // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 59–65. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.005

## Введение

В настоящее время промышленность переходит на новую ступень развития [1]. Цифровизация и внедрение технологий моделирования производственных процессов требуют пересмотра прежних подходов к организации управления. Сложность протекающих в промышленности процессов увеличивается, и всё более важным фактором становятся эффективные управленческие решения. Некоторые вопросы информационно-аналитического обеспечения управления ППК как сложной междисциплинарной области фундаментальных и прикладных исследований освещены в работах [2–4].

При решении задач по управлению ППК лицу, ответственному за принятие решений (ЛПР), необходимо учитывать ряд факторов, оказывающих существенное влияние на объекты управления. Поскольку ППК является сложной пространственно распределённой системой, учёт всех особенностей объекта управления требует наличия квалифицированных специалистов. Дополнительные сложности возникают из-за природно-климатических особенностей [5]. В связи с этим широкое распространение получили системы поддержки принятия решений (СППР). Данный инструмент позволяет облегчить принятие управленческих решений, помогает учесть различные факторы, связанные с потенциальным решением. В процессе управления сложными пространственно распределёнными системами решаются разноплановые задачи, поэтому разработка СППР, которая в автоматизированном режиме формирует адаптивный картографический интерфейс, учитывающий специфику задачи и потребности пользователя, является актуальной задачей.

Для СППР характерно, что в них поступают данные из различных источников. При этом эти данные, как правило, являются разнородными и поступают в систему в неформализованном виде, что повышает когнитивную нагрузку на ЛПР [6]. Одним из способов снижения такого типа нагрузки является визуализация. Получаемые данные представляют в виде наглядного изображения, картографического интерфейса, на котором отображены данные по текущей задаче.

В зависимости от задачи объёмы необходимых данных могут различаться, поэтому нет необходимости использовать для визуализации весь массив имеющихся данных. Учёт особенностей пользователей СППР является одним из способов повышения эффективности взаимодействия с системой, что, в свою очередь, позволяет более быстро принимать эффективные решения за счёт получения репрезентативного представления информации.

В рамках данной работы предложен модуль формирования профилей пользователей для СППР в области управления ППК, который интегрируется в структуру обобщённой архитектуры СППР и позволяет реализовать адаптивный подход к визуализации пространственной информации. Геоданные выбраны в качестве объекта визуализации, поскольку на сегодняшний день в большинстве документов, используемых в процессе принятия решений, в том или ином виде содержится географическая привязка [7].

## Материалы и методы

Информация, которая необходима для принятия решений, зачастую представлена в виде текстовых документов на естественном языке. Поэтому для принятия решений, связанных с управлением пространственно распределёнными объектами, к которым относится ППК, необходимо осуществлять лексико-синтаксический анализ текстов с целью выявления в них пространственных данных.

В данной работе мы используем подход Named Entity Recognition (NER) — распознавание именованных сущностей [8]. В рамках предыдущего этапа исследования были предложены технологии лексико-синтаксического анализа текстов на естественном языке, позволяющие учитывать контекст решаемой пользователем задачи [9, 10]. В частности, для извлечения пространственных данных из текстов предлагается использовать возможности Томита-парсера, анализирующего тексты на основе правил (rule-based approach) [11, 12]. Базовый набор правил в виде контекстно-свободных грамматик для решения задачи NER был предложен в одной из предыдущих работ [10].

При разработке обобщённой архитектуры СППР для задач в области управления ППК используются методы системного анализа, функционально-целевого анализа. Для получения пространственных координат геообъектов, выявленных при анализе текстов, используются методы обратного геокодирования

с помощью клиента Python «геору», который позволяет осуществлять взаимодействие с различными геоинформационными сервисами. Для решения задач построения картографических интерфейсов использованы возможности одной веб-версии географической информационной системы (ГИС).

Учет особенностей и информационных потребностей пользователей при работе с системой реализуется с помощью моделей пользователей. Синтез этих моделей осуществляется на основе применения метода стереотипов (профилей) [13]. Также при моделировании пользователей учитываются некоторые наработки из области когнитивной психологии и создания когнитивных интерфейсов, позволяющие повысить эффективность работы ЛПР в процессе принятия решений за счёт учёта его индивидуальных особенностей [14].

### **Обобщённая архитектура СППР**

Разрабатываемая обобщённая архитектура СППР в области управления ППК состоит из нескольких уровней, на которых реализуются различные функции для решения ряда задач. Данная архитектура описывает общую концепцию, определяет структуру модулей и их взаимосвязи в рамках системы.

Для того чтобы разработка обобщённой архитектуры была эффективной, предварительно необходимо выделить основные функции СППР: 1) сбор и обработка информации из различных источников, первичный анализ получаемых данных; 2) обеспечение работоспособности хранилища данных, осуществляющее организацию хранения и предоставления данных в соответствии с запросами пользователей; 3) создание пользовательских профилей на основе анализа поведения пользователя и информации, используемой им для принятия решений (сведения об используемой пользователем информации формируются на основе анализа запросов пользователя к хранилищу данных); 4) обработка данных согласно пользовательским запросам (для работы используются методы интеллектуального анализа данных); 5) предоставление ЛПР релевантной информации в удобной для восприятия форме с учётом особенностей каждого конкретного пользователя (для этого используются методы динамической когнитивной визуализации данных в рамках построения когнитивных геоинтерфейсов, используемых в СППР в области управления ППК); 6) иные функции, к которым относятся поддержка целостности накопленных данных, мероприятия по обеспечению информационной безопасности, включая защиту персональных данных пользователей системы, и т. д.

Принимая во внимание вышеперечисленный список функций, разработана обобщённая архитектура СППР в области управления ППК (рис. 1).

Представленная архитектура с модулем формирования профилей пользователей состоит из нескольких модулей, в которых реализованы различные функции. Разнородная информация поступает в СППР из внешних источников.

В рамках модуля ввода данных осуществляется сбор, агрегирование, хранение разнородных данных в произвольных форматах, полученных из гетерогенных внешних источников. Затем проводится валидация, в ходе которой информация проходит несколько проверок на корректность, согласно установленным ограничениям и критериям. Проведение валидации на предварительном этапе позволяет избежать попадания невалидных данных в модуль хранения данных СППР в области управления ППК.

После проведения валидации по-прежнему требуется привести данные к общему виду, поскольку они всё ещё будут оставаться разнородными. Для этого обычно проводят гармонизацию, в ходе которой используются функции предварительной обработки данных, например согласование их формата или метрических систем. В результате получается согласованный набор данных, который направляется в блок агрегирования и записи, входящий в модуль ввода данных в систему, после чего они отправляются в хранилище.

После выполнения вышеописанных мероприятий заготовленные данные направляются в модуль доступа к хранилищу данных и работы с данными. Основу этого модуля составляет хранилище данных. С целью повышения эффективности взаимодействия с пользователями ведётся запись истории их взаимодействия с системой. Предлагаемая архитектура разграничивает обработку и хранение данных, что позволяет вносить корректировки в механизмы и процедуры работы с ними, при этом сохраняется целостность модуля доступа к хранилищу данных и работы с данными. К этому хранилищу поступают запросы на получение необходимых данных для последующей визуализации.



Рис. 1. Обобщённая архитектура СППР с модулем формирования профилей пользователей

Наиболее важным модулем в представленной обобщённой архитектуре является модуль анализа данных. В его состав включаются основные методы и инструменты для манипуляции с данными в рамках системы. В основе модуля лежат технологии, подходы, модели и методы, которые были разработаны в рамках предыдущих исследований [9, 10]. В результате работы модуля получают подготовленные для визуализации данные.

Для взаимодействия с СППР в области управления ППК используется инструментарий для формирования и обработки пользовательских запросов к хранилищам данных системы, а также для анализа получаемой информации. Доступ пользователей к основному инструментарию системы осуществляется через веб-интерфейс. Это сделано с целью понижения когнитивной нагрузки на пользователя, поскольку устраняется необходимость осваивать новый интерфейс, предлагается работать в браузере, а большинство пользователей компьютером имеют опыт взаимодействия с аналогичными веб-интерфейсами в рамках иных систем и приложений. Помимо этого, использование веб-интерфейса понижает требования к аппаратному обеспечению и расширяет потенциальную пользовательскую базу. Это обуславливается тем, что веб-сервисы зачастую менее требовательные, чем полноценные приложения, реализованные на стороне клиента.

Учёт типов пользователей расширяет возможности по адаптации работы системы с целью повышения эффективности взаимодействия с пользователями. Наличие в представленной СППР хранилища профилей, в которое записывается информация о пользователях, позволяет обеспечить индивидуальный подход к ним. Учёт особенностей ЛПР повышает эффективность принимаемых решений при решении задач в области управления ППК за счёт корректирования работы системы согласно особенностям конкретного пользователя и, следовательно, предоставления ЛПР информации в наиболее доступной форме.

Запросы ЛПР проходят через модуль анализа запросов, откуда направляются в модуль доступа к хранилищу данных и в модуль формирования профилей.

Модуль формирования профилей записывает информацию о взаимодействии пользователя с системой в хранилище профилей. В результате формируются профили пользователей. Это позволяет на основе анализа данных сделать выводы о том, в каком наиболее предпочтительном для конкретного пользователя виде следует предоставлять информацию, например, в формате текстовых документов, видео или инфографики, а также позволяет адаптировать геоинтерфейсы согласно пользовательским предпочтениям. Для построения геоинтерфейсов в данной СППР предлагается использовать веб-технологии, что дает возможность оперативной адаптации изображений в соответствии с особенностями пользователя и контекста решаемой задачи.

В рамках данного исследования были определены некоторые типы пользователей (основой для классификации послужила их специализация): «промышленник», «эколог», «экономист», «кадастровый специалист», «универсальный», «базовый».

Пользователь типа «эколог» заинтересован в получении информации о различных объектах ППК и их влиянии на экологию, например уровень выброса предприятия и его близость к водоёмам. Пользователь типа «экономист» исследует влияние объектов ППК на экономику, собирает информацию о типах продукции и объёме производств, анализирует различные экономические показатели. Пользователю типа «кадастровый специалист» необходима информация о типе земель, представленных в ППК. Тип «базовый» присваивается пользователю при первом сеансе работы с системой, а тип «универсальный» предназначен для пользователей, которых нельзя отнести ни к одному из других типов.

Пользователь типа «промышленник» прежде всего заинтересован в получении геопространственной информации о расположении промышленных предприятий, их удалённости от ключевых объектов инфраструктуры (например, электростанций), наличии транспортной инфраструктуры вблизи предприятия. На рис. 2 представлен фрагмент прототипа картографического интерфейса для данного типа пользователей, на котором представлены некоторые промышленные объекты.



Рис. 2. Фрагмент картографического интерфейса для пользователя типа «промышленник»

## Заключение

Предложенный в работе модуль формирования профилей пользователей для СППР в области управления ППК позволяет усовершенствовать процесс принятия решений и реализовать адаптивный подход к визуализации пространственной информации за счёт учета особенностей и информационных потребностей пользователей при работе с системой. Также предложено интегрировать в обобщенную архитектуру СППР дополнительные процедуры лексико-синтаксического анализа данных, используемых в процессе принятия решений, с целью выявления в них пространственных данных.

Направление дальнейших исследований может быть связано с расширением набора моделей пользователей СППР по управлению ППК, а также их формализованного описания, позволяющего реализовать функции когнитивной геовизуализации в рамках существующих ГИС.

## Список источников

1. Santos B., Charrua-Santos F. et al. Industry 4.0: an overview // *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2018.
2. Yakovlev S., Shemyakin A., Oleinik A. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Round Table "Industry 4,0 Technologies in the Arctic"*. 2021. P. 012015.
3. Fridman A., Oleinik A. Situational information system for decision-making support regarding industry-natural complexes // *17th International Industrial Simulation Conference*. 2019. P. 41–45.
4. Fridman A., Kulik B. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol. 95. P. 247–256.
5. Bondareva N. N. Modern Approaches to Arctic Development in View of Synergy Potential in the New Risks and Challenges Environment // *Modernization Innovation Research*. 2021. № 12 (1). P. 23–33.
6. Solso R., Kimberly M., Maclin O. *Cognitive Psychology 7/e: International edition*, Boston, 2007. P. 624.
7. Hahmann S., Burghardt D. How much information is geospatially referenced? *Networks and cognition* // *International Journal of Geographical Information Science*. 2013. Vol. 27. P. 1171–1189.
8. Palshikar G. Techniques for Named Entity Recognition: A Survey // *Collaboration and the Semantic Web: Social Networks, Knowledge Networks and Knowledge Resources*. 2012. P. 191–217.
9. Vicentiy A. V., Dikovitsky V. V., Shishaev M. G. Automated Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Analyzing Texts about Projects of Arctic Transport // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. P. 419–433.
10. Pilecki B., Vicentiy A. Development of a method for extracting spatial data from texts for visualization and information decision-making support for territorial management // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 509.

11. Сулейманов Р. Извлечение метаданных из полнотекстовых электронных русскоязычных изданий при помощи Томита-парсера // Программные продукты и системы. 2016. № 29. С. 58–62.
12. Hardjojo A., Gunachandran A. Validation of a Natural Language Processing Algorithm for Detecting Infectious Disease Symptoms in Primary Care Electronic Medical Records in Singapore // JMIR Medical Informatics. 2018. № 6 (2). P. 36–51.
13. Kocsis O., Vildjiounaite E. User Modeling and Profiling: Stereotype-based and context-dependent modeling of individual and multi-user preferences. Amigo Project Workshop, Eindhoven, 2008.
14. Miller G. The magic number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. 1956. № 63 (2) P. 81–97.

## References

1. Santos B., Charrua-Santos F., Lima T. Industry 4.0: an overview. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2018.
2. Yakovlev S., Shemyakin A., Oleinik A. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Round Table “Industry 4.0 Technologies in the Arctic”*, 2021, pp. 012015.
3. Fridman A., Oleinik A. Situational information system for decision-making support regarding industry-natural complexes. *17th International Industrial Simulation Conference*, 2019, pp. 41–45.
4. Fridman A., Kulik B. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, vol. 95, pp. 247–256.
5. Bondareva N. N. Modern Approaches to Arctic Development in View of Synergy Potential in the New Risks and challenges Environment. *Modernization Innovation Research*, 2021, no. 12 (1), pp. 23–33.
6. Solso R., Kimberly M., Maclin O. *Cognitive Psychology 7/e*: International edition. Boston, 2007, p. 624.
7. Hahmann S., Burghardt D. How much information is geospatially referenced? Networks and cognition. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, vol. 27, pp. 1171–1189.
8. Palshikar G. Techniques for Named Entity Recognition: A Survey. *Collaboration and the Semantic Web: Social Networks, Knowledge Networks and Knowledge Resources*, 2012, pp. 191–217.
9. Vicentiy A V., Dikovitsky V. V., Shishaev M. G. Automated Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Analyzing Texts About Projects of Arctic Transport. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, pp. 419–433.
10. Pilecki B., Vicentiy A Development of a method for extracting spatial data from texts for visualization and information decision-making support for territorial management. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing, 2020, vol. 509.
11. Suleymanov R. Izvlechenie metadannix iz polnotekstovix elektronnix rysskoyazichnix izdaniy pri pomoshi Tomita-parsera [Extracting metadata from full-text electronic Russian-language publications using tomita parser]. *Programmnie produkty i sistemi* [Software Products and Systems], 2016, no. 29, pp. 58–62.
12. Hardjojo A., Gunachandran A. Validation of a Natural Language Processing Algorithm for Detecting Infectious Disease Symptoms in Primary Care Electronic Medical Records in Singapore. *JMIR Medical Informatics*, 2018, no. 6 (2), pp. 36–51.
13. Kocsis O., Vildjiounaite E. *User Modeling and Profiling: Stereotype-based and context-dependent modeling of individual and multi-user preferences*. Amigo Project Workshop, Eindhoven, 2008.
14. Miller G. The magic number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 1956, no. 63 (2), pp. 81–97.

## Информация об авторах

**Б. М. Пилецкий** — аспирант;

**А. В. Вицентий** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

## Information about the authors

**B. M. Pileckiy** — post-graduate student;

**A. V. Vicentiy** — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 09.11.2022; принята к публикации 14.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 09.11.2022; accepted for publication 14.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.5, 004.9, 004.81, 004.89  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.006

## ОБЗОР ПОДХОДОВ И УТОЧНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

**Александр Владимирович Вицентий**

*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия, alx\_2003@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

### Аннотация

Рассмотрены наиболее распространенные базовые подходы к созданию моделей пользователей в информационных системах, а также основные понятия, используемые в пользовательском моделировании, такие как ментальная модель пользователя и когнитивная модель пользователя. Статья носит постановочный характер и не имеет цели дать всеобъемлющий обзор подходов и технологий пользовательского моделирования. Основной целью является уточнение базовых понятий, их взаимного соотношения, а также их адаптация и выработка рабочих определений, соответствующих специфике текущей научно-исследовательской работы. Основными методами исследования являются сравнительный анализ и обзор научных источников. В результате сделан краткий обзор подходов к моделированию пользователей информационных систем, а также даны рабочие определения основных понятий, которые будут использоваться в последующих научно-исследовательских работах.

### Ключевые слова:

когнитивная модель пользователя, ментальная модель пользователя, когнитивный интерфейс, геовизуализация, информационная потребность, человеко-компьютерный интерфейс, географические информационные системы

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Вицентий А. В. Обзор подходов и уточнение основных понятий в области моделирования пользователей // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 66–77. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.006

Original article

## REVIEW OF APPROACHES AND CLARIFICATION OF THE BASIC CONCEPTS IN THE FIELD OF USER MODELING

**Alexander V. Vicentiy**

*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia, alx\_2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-4749>*

### Abstract

This paper is devoted to reviewing the most common basic approaches to creating user models in information systems. It also discusses the basic concepts used in user modeling, such as the mental user model and the cognitive user model. The paper is of a staged nature and is not intended to give a comprehensive overview of user modeling approaches and technologies. The main purpose is clarification of the basic concepts, its mutual correlation, as well as their adaptation and development of working definitions, corresponding to the specifics of the current research work. The main research methods are comparative analysis and review of scientific sources. The result is a brief overview of approaches to modeling users of information systems, as well as working definitions of basic concepts that will be used in subsequent research work.

### Keywords:

cognitive user model, mental user model, cognitive interface, geovisualization, information need, human-computer interface, geographic information systems

#### **Acknowledgments:**

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic “Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data” (registration number 122022800551-0).

#### **For citation:**

Vicentiy A. V. Review of approaches and clarification of the basic concepts in the field of user modeling // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 66–77. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.006

#### **Введение**

Данная статья является первой публикацией из серии работ, направленных на решение группы задач по созданию эффективных механизмов когнитивного человеко-машинного взаимодействия с учетом разнородности и динамичности прикладных задач, решаемых информационными системами в рамках общей тематики «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных».

Описывается начальный этап работ, связанный с проведением краткого обзора существующих подходов к моделированию пользователей для разработки эффективных человеко-компьютерных интерфейсов, в частности интерфейсов пользователя интеллектуальных информационных систем. Кроме того, в рамках данной работы проводится уточнение основных понятий из области пользовательского моделирования и синтез рабочих определений, которые будут использоваться в дальнейших научно-исследовательских работах.

#### **Человеко-машинный и человеко-компьютерный интерфейсы**

Если рассмотреть структуру универсальной десятичной классификации, которая является одной из широко распространенных в мире систем классификации информации, используемой также и для классификации научных работ, то можно найти несколько разделов, связанных с понятиями взаимодействия человека и машины, а также с понятием интерфейса. В частности, это раздел 004.5 «Человеко-машинное взаимодействие. Человеко-машинный интерфейс. Пользовательский интерфейс. Операционная среда пользователя», включающий в себя подразделы 004.51 «Дисплейный интерфейс», 004.52 «Звуковой интерфейс», 004.55 «Гипермедиа. Гипертекст», 004.58 «Помощь пользователю» [1].

Если принять во внимание, что этот раздел является подклассом класса 004 «Информационные технологии. Компьютерные технологии. Теория вычислительных машин и систем», все подклассы которого подразумевают цифровую технику вычислений, кроме тех, которые включают специальные определители, то становится понятно, что, несмотря на использование термина «человеко-машинное взаимодействие», фактически речь идет о человеко-компьютерном взаимодействии. Поэтому здесь и далее, говоря о взаимодействии человека с машиной и об интерфейсе, мы будем иметь в виду именно вычислительную машину (компьютер) и, соответственно, интерфейс человека и компьютера (пользовательский интерфейс), включая его аппаратную и программную компоненты.

Понятия человеко-машинного взаимодействия и человеко-машинного интерфейса имеют множество различных ситуативных определений, которые могут сильно отличаться в зависимости от предметной области, в рамках которой они используются. Так, в тексте международного стандарта ИЕС 60447-93 “Man-machine interface. Actuating principles” (последняя редакция 7 июня 2022 г.) человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) определяется следующим образом: «Человеко-машинный интерфейс — это технические средства, предназначенные для обеспечения непосредственного взаимодействия между оператором и оборудованием и дающие возможность оператору управлять оборудованием и контролировать его функционирование. Такие средства могут включать приводимые в действие вручную органы управления, контрольные устройства, дисплеи» [2]. Человеко-компьютерный интерфейс, о котором пойдет речь далее, является более узким понятием, чем ЧМИ. Однако, учитывая бурное развитие и распространение компьютерной техники в последние десятилетия, именно вопросы, связанные с разработкой и совершенствованием человеко-компьютерного интерфейса, становятся наиболее актуальными [3].

Понятие человеко-компьютерного интерфейса можно рассматривать в узком и широком значениях. Человеко-компьютерный интерфейс в узком значении — это, прежде всего, пользовательский интерфейс, обеспечивающий возможность передачи информации между человеком, являющимся пользователем компьютерной системы, и самой компьютерной системой, представляющей собой программно-аппаратный комплекс. Другими словами, это программно-аппаратное обеспечение компьютера, которое обеспечивает поддержку взаимодействия пользователя с компьютерной системой [4, 5]. Целью взаимодействия является обеспечение эффективной работы пользователя. Для ее достижения пользователю предоставляются средства ввода и вывода информации, а также методы интерфейса, реализованные в виде правил, описывающих реакции компьютерной системы на действия пользователя. Такой тип интерфейса также называют логическим интерфейсом [6].

В широком значении под человеко-компьютерным интерфейсом часто понимается отдельная ветвь эргономики, основная задача которой состоит в исследовании проблем, которые возникают при взаимодействии пользователей с компьютерными системами. Результатом этих исследований является разработка стандартов для различных аспектов программной реализации интерфейса пользователя, таких, например, как используемые цветовые схемы, рекомендуемое разрешение экрана, оптимальная структура навигационного интерфейса и т. п. [7, 8].

### **Адаптивные человеко-компьютерные интерфейсы**

Одним из важнейших критериев оценки качества интерфейса является его эффективность. Говоря простыми словами, эффективный интерфейс должен предоставлять пользователю доступ ко всем необходимым элементам и не отвлекать его от выполнения основной задачи. Разработка эффективных человеко-компьютерных интерфейсов является сложной проблемой. Ввиду того что сами пользователи обладают различными свойствами и решаемые ими задачи также постоянно меняются, невозможно предложить один, наилучший с точки зрения эффективности, интерфейс, который удовлетворил бы все потребности разнородных пользователей с учетом их целей и решаемых задач.

Так как действительно эффективный интерфейс должен учитывать особенности пользователя (включая его потребности, мотивацию и спектр решаемых задач), широкое развитие получили исследования в области создания адаптивных пользовательских интерфейсов (Adaptive User Interface), а также подходы проектирования интерфейсов, ориентированные на пользователя (User-centered design) [9]. Теоретические основы работ в этом направлении были заложены еще в 1980-х гг. [10, 11], однако практически значимые результаты были получены только спустя около тридцати лет.

Адаптивный интерфейс пользователя — это интерфейс, обладающий свойствами, позволяющими ему изменять свой состав и структуру так, чтобы наилучшим возможным образом соответствовать потребностям пользователя в момент решения задачи [12, 13]. Таким образом, адаптивный интерфейс позволяет выдавать более релевантную информацию на запрос пользователя. Повышение уровня релевантности происходит на основе учёта сведений о пользователе, содержащихся в информационной системе, а также о возможностях отображения информации системой [14, 15].

В разработке адаптивных пользовательских интерфейсов существует два основных направления: адаптация представления информации и адаптация (перестроение) навигационных структур интерфейса.

Адаптация представления информации чаще всего связана с изменением объема информации, предоставляемой пользователю. Объем выдаваемой информации рассчитывается таким образом, чтобы он, с одной стороны, был достаточен для решения задачи (этапа задачи), а с другой стороны, не был избыточен для данного пользователя, так как лишняя информация, который конкретный пользователь не в состоянии понять или воспринять, приводит к утомляемости пользователя и возникновению эффекта так называемой когнитивной перегрузки [16].

Адаптация (перестроение) навигационных структур направлена на то, чтобы оптимизировать путь к решению задачи для конкретного пользователя с помощью изменения элементного состава интерфейса путём введения одних элементов и сокрытия других. Для эффективной адаптации навигационной структуры интерфейса необходимо иметь представление о конечной цели пользователя. Поэтому такой тип адаптации часто применяется для обучающих систем или систем диагностики, то есть для таких систем, где заранее известна и может быть описана желаемая цель, к достижению которой посредством использования компьютерной системы стремится пользователь [17].

## **Модели пользователя в адаптивных человеко-компьютерных интерфейсах**

Одной из наиболее сложных проблем в создании адаптивных интерфейсов пользователей является проблема описания пользователя. Компьютерная система, реализующая адаптивный интерфейс, должна поддерживать различные уровни реализации интерфейса в зависимости от конкретных особенностей пользователя. Список таких особенностей существенно различается в зависимости от контекста использования системы и может включать в себя сведения об индивидуальных особенностях пользователя (поле, возрасте, биологических факторах, психологических и когнитивных особенностях и др.), социальных особенностях (образовании, наличии семьи, занимаемой должности и др.), профессиональных особенностях (уровне образования, опыте работы с подобными компьютерными системами и др.), культурных особенностях (национальных, особенностях социальной группы и др.) и многих других. Кроме того, необходимо также учитывать и контекст решения пользователем задач. В этом смысле актуализируются такие понятия, как: мотивация, цель, условия выполнения задачи, осведомленность пользователя, когнитивная нагрузка и др. [18]. Также стоит отметить, что получение и интерпретация информации о пользователях, в том числе и от самих пользователей, с целью определения и последующего прогнозирования вида и объема их потребностей также является сложной научной задачей, не имеющей стандартного решения на сегодняшний день.

В некоторой степени эти задачи можно решить с помощью подходов проектирования интерфейсов, ориентированных на пользователя. Под проектированием, ориентированным на пользователя (*user-centered design*) или *user-driven development*), понимается такой процесс проектирования, в котором большое внимание уделяется потребностям пользователя, его характеристикам, задачам, которые он будет решать посредством использования компьютерной системы, а также его опыту (*User eXperience, UX*), полученному при работе с подобными системами ранее [19]. В связи с этим одним из важнейших элементов проектирования, ориентированного на пользователя, является понятие персоны или персонажа, представляющего собой обобщенную модель (архетип) пользователя или группы пользователей. Такие персонажи могут включать в себя самые разные характеристики пользователей — от половозрастных до описания профессиональных навыков, привычек, моделей поведения и т. д. Персонажи обычно создаются для того, чтобы дать проектировщику общее представление о группе пользователей компьютерной системы, и требуют уточнения на этапе практической разработки интерфейсов.

Таким образом, для реализации эффективных адаптивных интерфейсов важнейшим элементом является адекватная и достаточно подробная модель пользователя, отражающая его основные характеристики, имеющие значение для человеко-компьютерного взаимодействия в процессе решения пользователем задач с помощью средств компьютерной системы.

Основы методологической базы в области моделирования пользователей были заложены довольно давно [20, 21]. В настоящее время для создания адекватных и полезных с практической точки зрения моделей существует ряд известных подходов в области пользовательского моделирования [22]. Все модели пользователя человеко-компьютерных систем можно условно разделить на четыре основных типа.

*Статические модели пользователей.* В основе этих моделей лежат статичные наборы данных о пользователях. Такие данные собираются один раз, например при регистрации пользователя в системе, и не изменяются на всем протяжении работы пользователя. Достоинством таких моделей является относительная простота и скорость их создания. Недостатком является невозможность учесть в модели изменения в поведении пользователей с течением времени. Это самый простой тип моделей, имеющий ограниченное применение и малую эффективность в сложных компьютерных системах.

*Динамические модели пользователей.* Эти модели поддерживают механизмы накопления информации о пользователе в процессе взаимодействия с системой и инструменты обновления используемой модели пользователя. Достоинством таких моделей является возможность поддержания модели пользователя в актуальном состоянии. Таким образом, модель может учитывать изменения, касающиеся опыта пользователя при работе с системой, его уровня квалификации, интересов, целей, потребностей и других значимых характеристик. Недостатками являются большая сложность по сравнению со статическими моделями и необходимость реализации сложных механизмов обновления информации о пользователе.

*Стереотипные модели.* Эти модели основаны на использовании стереотипов пользователей. Под стереотипом понимается обобщенная, типичная для некоторой группы модель пользователя. Стереотипные модели позволяют проводить классификацию пользователей по заданным стереотипам на основе собранной о них информации.

Одним из главных достоинств этого типа моделей является возможность строить прогнозы о характеристиках и поведении пользователя при отсутствии части информации о нем. При правильном определении стереотипа пользователя его характеристики и поведение будут соответствовать характеристикам и поведению других пользователей с таким же стереотипом. После определения множества стереотипов человеко-компьютерная система адаптирует интерфейс не для каждого конкретного пользователя, а для его стереотипа, что существенно упрощает используемые механизмы адаптации.

К недостаткам этого типа моделей можно отнести сложность решения задачи по созданию оптимального множества стереотипов. Множество стереотипов, с одной стороны, должно хорошо описывать всех пользователей системы, включая потенциальных. С другой стороны, множество стереотипов не должно быть избыточным, то есть в нем не должно быть неиспользуемых стереотипов или стереотипов со слишком малым количеством пользователей. Кроме того, в настоящее время нет четких правил или рекомендаций о том, как сформировать оптимальное множество стереотипов, какие характеристики необходимо включать в стереотипы, какие из них более важны и т. д. Также можно отметить, что ошибки, допущенные при формировании множества стереотипов, оказывают негативное влияние на эффективность работы человеко-компьютерной системы довольно длительное время. При этом изменение уже используемого множества стереотипов в работающей системе является сложной задачей, связанной с дополнительными издержками. Еще одним недостатком стереотипных моделей является то, что они не способны учитывать некоторые личные особенности пользователя, не укладывающиеся в стереотип, но имеющие существенное значения для решения пользователем задачи. Для большинства человеко-компьютерных систем эта проблема не является ключевой. Однако для таких систем, как, например, системы поддержки принятия решений, экспертные системы, советующие системы и для других сложных систем, подразумевающих привлечение экспертов, специалистов узкой предметной области, эта проблема становится актуальной.

*Высокоадаптивные модели.* Эти модели, в отличие от стереотипных моделей, нацелены на представление отдельных пользователей, то есть система оперирует индивидуальной моделью, созданной для каждого конкретного пользователя, а не для группы или класса пользователей. Достоинством таких моделей является возможность обеспечить максимальную адаптивность интерфейса человеко-компьютерной системы, предоставляя фактически индивидуальную реализацию интерфейса для каждого пользователя системы. Недостатком является самая большая сложность создания таких моделей по отношению ко всем другим типам. Высокоадаптивные модели предъявляют очень высокие требования к количеству, качеству, точности и адекватности информации о пользователе, которую необходимо получить для создания модели.

Полученные таким образом модели пользователя используются для разработки эффективных, адаптирующихся под пользователя и учитывающих его особенности и характеристики человеко-компьютерных интерфейсов. Способы и степень адаптации зависят от назначения системы и потребностей пользователя. Преобладающим подходом являются предварительная обработка информации, выдаваемой пользователю системой, и представление только той информации, которая, по мнению системы, соответствует задачам пользователя и его уровню квалификации и знаний. При этом информация и некоторые функции самой системы, которые, по мнению системы, не имеют отношения к решаемым пользователем задачам, не отображаются вовсе или отображаются при выполнении пользователем дополнительных действий [23]. Для практической реализации адаптивных интерфейсов, основанных на интерпретации системой модели пользователя, в настоящее время наибольшее распространение получили две группы методов — методы коллаборативной (совместной) фильтрации (collaborative filtering) и методы фильтрации на основе правил (rule-based filtering) [24].

### **Когнитивная и ментальная модели пользователя**

Во многих работах, посвященных разработке эффективных человеко-компьютерных интерфейсов, упоминаются такие понятия, как ментальная модель пользователя или когнитивная модель пользователя. Основное назначение этих моделей заключается в том, чтобы адаптировать работу информационной системы под конкретного пользователя. Адаптация происходит за счет того, что с помощью применения модели становится возможным учесть индивидуальные характеристики пользователя, связанные с особенностями восприятия и обработки информации.

Сопоставив различные определения понятий «ментальный» и «когнитивный», можно сказать, что они находятся в одном семантическом поле и связаны с умственной, мыслительной деятельностью человека, направленной на познание окружающего мира и получение новых знаний. При этом, несмотря на то что понятия «ментальная модель» и «когнитивная модель» используются в научных исследованиях, связанных с человеко-компьютерным взаимодействием уже довольно давно, они до сих пор не имеют универсального, четкого и однозначного определения. Более того, при анализе определений разных авторов, даже работающих в одной предметной области, можно заметить смешение понятий ментального и когнитивного. В связи с этим имеет смысл более подробно разобраться с основными определениями указанных понятий, прежде чем приступить к следующему этапу работ.

Можно отметить тот факт, что в работах различных авторов используются довольно близкие определения понятий ментальной и когнитивной моделей. Иногда одно из них определяется через другое, что вносит еще большую путаницу в понимание. Также некоторые авторы предпочитают давать свои собственные, ситуативные определения, удобные в рамках их текущей работы, не согласуя свои определения с аналогичными работами. Часто выбор в пользу употребления того или иного термина обуславливается традицией или научной школой, к которой принадлежит автор, или конкретной областью исследования, в которой уже закрепились одно из определений понятия, пусть даже и недостаточно полное и корректное. В результате мы имеем ситуацию, когда авторы используют разные термины, но имеют в виду одно и то же понятие или, наоборот, используют одинаковый термин для различных понятий.

В данной работе мы не ставим себе цели дать полное, универсальное, четкое и всеобъемлющее определение понятий «ментальный» и «когнитивный». С этой задачей гораздо лучше справятся специалисты в области философии, гносеологии, семиотики, психологии и различных когнитивных наук. Мы делаем попытку дать утилитарные, рабочие определения понятиям «ментальная модель пользователя» и «когнитивная модель пользователя» в контексте разработки адаптивных человеко-компьютерных интерфейсов для работы с пространственно-временными данными.

Так как наши исследования направлены прежде всего на разработку технологий формирования адаптивных геоинтерфейсов информационных систем, предназначенных для повышения эффективности работы пользователя с пространственно-временными данными, при определении рабочих понятий мы должны учитывать имеющийся опыт как в области информатики, так и в области географических и когнитивных наук.

Ментальные и когнитивные свойства присущи прежде всего живым организмам, но часть из них может быть перенесена и на искусственные системы, например, при создании когнитивных интерфейсов пользователя [25, 26]. Для успешного решения этой задачи необходимо иметь представление об основах взаимодействия человека с геоданными. Такое взаимодействие включает в себя множество различных аспектов, среди которых можно выделить восприятие пространственных данных пользователем, представления пользователя о пространстве в целом и об исследуемом фрагменте пространства, способы понимания и выражения пространственно-временных отношений между объектами и другие. В этом смысле интерес могут представлять некоторые элементы теории пространственного познания (*spatial cognition theory*). Под пространственным познанием (*spatial cognition*) понимается отрасль когнитивной психологии, которая изучает вопросы того, каким образом люди приобретают, хранят, обрабатывают и используют знания об окружающем их пространстве для решения таких базовых задач, как определение своего местонахождения, навигация в пространстве с целью получения необходимых ресурсов, поиск дороги к пункту назначения и т. п. [27]. В рамках данного направления разрабатывается система теоретических представлений о том, как люди воспринимают, обрабатывают, интерпретируют, используют пространственно-временную информацию и взаимодействуют с окружающим миром на её основе.

В России подобными проблемами занимаются научные направления когнитивной и гуманитарной географии, основы которой в нашей стране были заложены Д. Н. Замятиным [28]. Когнитивная география, с одной стороны, тесно связана с когнитивистикой, которая изучает широкий круг вопросов, связанных с теорией познания, интеллектом, когнитивной психологией и другими аспектами интеллекта и разума человека, а с другой стороны, с различными направлениями географии, такими как культурная география и гуманитарная география. В основе когнитивной географии лежит бихевиористский подход, обогащенный средствами и методами когнитивных наук. В сферу вопросов, изучаемых когнитивной географией, входят практически все вопросы, связанные с представлением пространства человеком, а также изучение механизмов формирования и способов использования этих представлений [29–31].

Гуманитарная география развивается на стыке традиционной географии, когнитивной науки, антропологии и других дисциплин. Предметом ее изучения являются способы, используемые человеком, для представления окружающего пространства и интерпретации как самого пространства, так и способов его представления. В отличие от других направлений географии, гуманитарная география уделяет большое внимание ментальной (в смысле, умственной, мыслительной) деятельности человека при работе с пространственно-временными данными [32, 33].

Однако, если сделать краткий обзор работ в области гуманитарной географии, можно легко заметить, что, когда речь заходит о восприятии пространственной информации человеком, понятия «ментальная модель» и «когнитивная модель» используются довольно неаккуратно [34]. Фактически авторы, изучая одно и то же явление (репрезентацию геоинформации в сознании человека), используют для его обозначения разные термины. Одна часть авторов использует термин ментальная модель / ментальная карта (*mental model / mental map*), в то время как другая часть авторов использует термин когнитивная модель / когнитивная карта (*cognitive model / cognitive map*). Такая ситуация наблюдается как в англоязычных [35–37], так и в русскоязычных статьях [38, 39], что вносит существенную путаницу при попытке использовать методы гуманитарной географии за пределами этой науки.

Для нашей дальнейшей работы очень важно разграничить понятия ментальной и когнитивной моделей пользователя, поэтому рассмотрим в качестве примера несколько определений.

Ментальная модель пользователя — это концептуализация или внутреннее объяснение пользователем того, как работает конкретная система [40].

Ментальные модели — это убеждения пользователя о любой системе или взаимодействии. В большинстве случаев убеждение будет до некоторой степени напоминать реальную модель. Ментальные модели важны, потому что пользователи будут планировать и прогнозировать будущие действия в системе на основе своих ментальных моделей [41].

Ментальная модель — это то, что пользователь думает о системе. Она основана на убеждениях, а не на фактах, то есть это модель того, что пользователи знают (или думают, что знают) о системе [42].

Когнитивная модель представляет собой аппроксимацию одного или нескольких когнитивных процессов у людей в целях понимания и прогнозирования [43].

Когнитивная модель является способом описания или прогнозирования эффективности работы пользователя посредством обобщенного представления того, как тот или иной тип пользователя будет взаимодействовать с системой. Модель позволяет разработчику рассмотреть последствия проектных решений и примерно определить возможные подходы к проектированию до получения прямой обратной связи от пользователя. Она должна быть основана на предварительном анализе пользователей для того, чтобы разработчик мог иметь некоторую уверенность в способности модели представлять то, как пользователь может думать (рассуждать) или взаимодействовать [44].

Когнитивные модели — это компьютерные программы, которые имитируют работу человека. Они полезны для разработки человеко-компьютерного взаимодействия, так как позволяют предсказывать время выполнения задач, помогая пользователям и выступая в качестве суррогатных пользователей [45].

Из приведенных определений видно, что понятия ментальной и когнитивной моделей пользователя довольно схожи между собой. Несмотря на то что отдельные отличия в указанных определениях всё же существуют, различить, о каком именно понятии идет речь, по этим определениям без учета контекста может быть довольно сложно, так как оба понятия связаны с мыслительной

деятельностью человека или познавательными механизмами сознания пользователя. Однако, на наш взгляд, ментальная модель пользователя и когнитивная модель пользователя не являются синонимами и при разработке человеко-компьютерного интерфейса их следует четко различать.

С учетом контекста и тематики наших работ, на данном этапе мы предлагаем ввести следующие рабочие определения, которые мы планируем использовать в дальнейшей работе. Под ментальной моделью пользователя мультипредметной географической информационной системы мы будем понимать общую ментальную картину мира пользователя, которая включает в себя не только представления пользователя о программной системе, с которой он работает в данный момент, но и все доступные представления и убеждения обо всей окружающей действительности, включая профессиональную деятельность, в сознании пользователя. Под когнитивной моделью пользователя мультипредметной географической информационной системы мы будем понимать описание способов, механизмов, процедур и привычек в области когнитивных процессов пользователя. То есть когнитивная модель пользователя позволяет получить представление о том, каким образом пользователь осмысливает происходящее вокруг, обрабатывает поступающую информацию, получает новые знания, строит выводы, для обеспечения лучшего понимания ожиданий пользователя от системы и прогнозирования его действий.

### **Заключение**

Рассмотрены наиболее распространенные подходы к созданию пользовательских моделей в информационных системах, а также некоторые вопросы, связанные с созданием моделей пользователя, имеющие важное значение для последующей работы. В частности, рассмотрены и уточнены понятия человеко-машинного и человеко-компьютерного интерфейсов, адаптивных человеко-компьютерных интерфейсов, моделирования пользователя в адаптивных человеко-компьютерных интерфейсах, когнитивной и ментальной моделей пользователя.

### **Список источников**

1. Справочник по УДК [Электронный ресурс]. URL: <https://teacode.com/online/udc> (дата обращения: 05.11.2022).
2. Стандарт IEC 60447:2004. Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification — Actuating principles. Введен 2004–01–12. International Standard, 2004. 45 p.
3. Blanchard H. International Standards on Human-Computer Interaction: What is Out There and How Will it be Implemented? // Seventh International Conference on Human-Computer Interaction (San Francisco, USA, August 24–29, 1997). San Francisco: Elsevier, 1997. Vol. 1. P. 599–602.
4. Стандарт ISO/IEC/IEEE 26514:2022. Systems and software engineering — Requirements for designers and developers of user documentation. Введен 2022–01–14. International Standard, 2022. 64 p.
5. Стандарт ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering — Vocabulary. Введен 2017–09–06. International Standard, 2017. 522 p.
6. Cooper A. et al. About Face: The Essentials of Interaction Design. 4th ed. Wiley, 2014. 720 p.
7. Human-computer interface [Электронный ресурс] // A Dictionary of Computing. Encyclopedia.com. 2022. URL: <https://www.encyclopedia.com/computing/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/human-computer-interface> (дата обращения: 05.11.2022).
8. Wesolko D. Peter Morville’s User Experience Honeycomb [Электронный ресурс] // Medium.com, 2016. URL: <https://danewesolko.medium.com/peter-morvilles-user-experience-honeycomb-904c383b6886> (дата обращения: 05.11.2022).
9. Shishaev M., Dikovitsky V., Lapochkina L. The experience of building cognitive user interfaces of multidomain information systems based on the mental model of users // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 574. P. 281–290.
10. Pea R. User Centered System Design-New Perspectives on Human/Computer Interaction // Journal of Educational Computing Research. 1997. Vol. 3 (1). P. 129–134.
11. Norman D. A., Draper S. W. User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1986. 544 p.

12. Schneider-Hufschmidt M. et al. Adaptive User Interfaces: Principles and Practice. Maarssen, Netherlands: Elsevier Gezondheidszorg, 1993. 365 p.
13. Dix A., Finlay J., Abowd G. D. et al. Human-Computer Interaction. Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship. N. Y.: Springer, 2013. 869 p.
14. Oppermann R. Adaptive User Support: Ergonomic Design of Manually and Automatically Adaptable Software. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 268 p.
15. Miraz M. H., Excell P. S., Ali M. Culturally Inclusive Adaptive User Interface (CIAUI) Framework: Exploration of Plasticity of User Interface Design // International Journal of Information Technology and Decision Making. 2021. Vol. 20. P. 199–224.
16. Kortschot S. W., Jamieson G. A., Prasad A. Detecting and Responding to Information Overload with an Adaptive User Interface. Human Factors // The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. 2020. Vol. 64 (4). P. 675–693.
17. Tagirova L. F., Subbotin A. V., Zubkova T. M. Software development system for creation adaptive user interfaces // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2022. Vol. 22 (4). P. 751–759.
18. Solso R., MacLin K., MacLin O. Cognitive Psychology. 8th Edition. Allyn & Bacon, 2008. 592 p.
19. Rubin J., Chisnell D., Spool J. Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests. 2nd Edition. Hoboken, NJ, United States: Wiley, 2011. 384 p.
20. Fischer G. User Modeling in Human-Computer Interaction // User Modeling and User-Adapted Interaction. 2001. Vol. 11. P. 65–86.
21. Hothi J., Hall W. An Evaluation of Adapted Hypermedia Techniques Using Static User Modelling // Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia (Pittsburgh, USA, June 20–24, 1998). P. 45–50.
22. Piao G., Breslin J. G. Inferring User Interests in Microblogging Social Networks: A Survey // User Modeling and User-Adapted Interaction. 2018. Vol. 28 (3). P. 277–329.
23. Johnson A., Taatgen N. User Modeling. Handbook of human factors in Web desig. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2005. P. 424–438.
24. Montaner M., López B., de la Rosa J. L. A Taxonomy of Recommender Agents on the Internet // Artificial Intelligence Review. 2003. Vol. 19. P. 285–330.
25. Шишаев М. Г. Методические основы когнитивных интерфейсов мультипредметных ИС // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 3 (29). С. 33–42.
26. Vicentiy A., Vicentiy I. The Method of Dynamic Visualization of Spatial Data for Cognitive Interfaces of Information Systems Supporting Regional Management // International Multidisciplinary Scientific GeoConference “Surveying Geology and Mining Ecology Management”. 2019. Vol. 19. P. 667–672.
27. Waller D., Nadel L. Handbook of spatial cognition / American Psychological Association. 2013. 294 p.
28. Замятин Д. Н. Моделирование географических образов: Пространство гуманитарной географии. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.
29. Митин И. И. От когнитивной географии к мифогеографии: интерпретации пространства и места // Первая российская конференция по когнитивной науке (Казань, 9–12 октября 2004 г.). Тезисы докладов. Казань: КГУ, 2004. С. 163–165.
30. Замятина Н. Ю. Когнитивная география. Программа учебной дисциплины // Гуманитарная география: Научный и культурно-просветительский альманах / Белоусов С., Вахрушев В., Глушкова И. и др. ; отв. ред. И. И. Митин; сост. Д. Н. Замятин. Вып. 5. М.: Институт наследия, 2008. С. 406–412.
31. Замятина Н. Ю. Когнитивная география: предмет и основные понятия // Вопросы экономической и политической географии зарубежных стран / под ред. А. С. Фетисова, И. С. Ивановой, И. М. Кузиной. М.; Смоленск: Ойкумена, 2009. С. 57–69.
32. Замятин Д. Н. Гуманитарная география (Материалы к словарю гуманитарной географии) // Гуманитарная география: Научный и культурно-просветительский альманах / Андреева Е., Белоусов С., Галкина Т. и др. ; сост., отв. ред. Д. Н. Замятин. Вып. 2. М.: Институт Наследия, 2005. С. 332–334.

33. Гладкий Ю. Н., Петров А. Н. Гуманитарная география: понятийный статус и самоидентификация // Известия РАН. Сер. геогр. 2008. № 3. С. 15–25.
34. Mitin I. I. Mental maps as an instrument of complex cultural geographical research: the analysis of approaches // Geographical Bulletin. 2018. № 4 (47). P. 21–33.
35. Kitchin R. M. Cognitive maps: What are they and why study them? // Journal of Environmental Psychology. 1995. Vol. 14. P. 1–19.
36. Росоцк D. Some characteristics of mental maps: an empirical study // Transactions of the Institute of British Geographers. 1976. Vol. 1. P. 493–512.
37. Waterman S., Gordon D. A Quantitative-comparative Approach to Analysis of Distortion in Mental Maps // Professional Geographer. 1984. Vol. 36 (3). P. 326–337.
38. Тимофеева Т. Н. Когнитивные карты города Кяхта // Культурная и гуманитарная география. 2013. Т. 2, № 1. С. 53–64.
39. Коваленко И. М. Ментальные карты административного устройства Украины и Крыма (по пространственным знаниям жителей г. Симферополя) // Записки общества геоэкологов. 2000. Вып. 3. С. 23–30.
40. Hartson R., Pyla P. The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience. San Diego: Morgan Kaufmann, 2013. 968 p.
41. Mental models in UX [Электронный ресурс] // Diegovz. 5 ноября 2020. URL: <https://diegovz.com/en/blog/mental-models-in-ux> (дата обращения: 05.11.2022).
42. Nielsen J. Mental Models [Электронный ресурс] // NN/g. October 17, 2010. URL: <https://www.nngroup.com/articles/mental-models> (дата обращения: 05.11.2022).
43. Sun R. The Cambridge Handbook of Computational Psychology. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2008. 768 p.
44. Cognitive Models [Электронный ресурс] // Usability Body of Knowledge. URL: <https://www.usabilitybok.org/cognitive-models> (дата обращения: 05.11.2022).
45. Ritter F., Baxter G., Young R. User interface evaluation: How cognitive models can help. MA: Addison-Wesley, 2001. P. 125–147.

## References

1. *Spravochnik po UDK* [Reference book on UDC]. (In Russ.). Available at: <https://teacode.com/online/udc> (accessed 05.11.2022).
2. IEC 60447:2004. Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification — Actuating principles. Introduced 2004–01–12, International Standard, 2004, 45 p.
3. Blanchard H. International Standards on Human-Computer Interaction: What is Out There and How Will it be Implemented? *Seventh International Conference on Human-Computer Interaction* (San Francisco, USA, August 24–29, 1997). San Francisco, Elsevier, 1997, vol. 1, pp. 599–602.
4. ISO/IEC/IEEE 26514:2022. Systems and software engineering — Requirements for designers and developers of user documentation. Introduced 2022–01–14, International Standard, 2022, 64 p.
5. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering — Vocabulary. Introduced 2017–09–06, International Standard, 2017, 522 p.
6. Cooper A., Reimann R., Cronin D., Noessel C. *About Face: The Essentials of Interaction Design*. 4th ed. Wiley, 2014, 720 p.
7. Human-computer interface. A Dictionary of Computing, 2022. Available at: <https://www.encyclopedia.com/computing/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/human-computer-interface> (accessed 05.11.2022).
8. Wesolko D. Peter Morville’s User Experience Honeycomb. Available at: <https://danewesolko.medium.com/peter-morvilles-user-experience-honeycomb-904c383b6886> (accessed 05.11.2022).
9. Shishaev M., Dikovitsky V., Lapochkina L. The experience of building cognitive user interfaces of multidomain information systems based on the mental model of users. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 574, pp. 281–290.

10. Pea R. User Centered System Design-New Perspectives on Human/Computer Interaction. *Journal of Educational Computing Research*, 1997, vol. 3 (1), pp. 129–134.
11. Norman D. A., Draper S. W. *User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction*. New Jersey, USA, Lawrence Erlbaum Associates, 1986, 544 p.
12. Schneider-Hufschmidt M., Kühme T., Malinowski U. *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*. Maarssen, Netherlands, Elsevier Gezondheidszorg, 1993, 365 p.
13. Dix Alan, Finlay Janet, Abowd Gregory D. et al. *Human-Computer Interaction. Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship*. New York, Springer, 2013, 869 p.
14. Oppermann R. *Adaptive User Support: Ergonomic Design of Manually and Automatically Adaptable Software*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 268 p.
15. Miraz M. H., Excell P. S., Ali M. Culturally Inclusive Adaptive User Interface (CIAUI) Framework: Exploration of Plasticity of User Interface Design. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 2021, vol. 20, pp. 199–224.
16. Kortschot S. W., Jamieson G. A., Prasad A. Detecting and Responding to Information Overload with an Adaptive User Interface. Human Factors. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2020, vol. 64 (4), pp. 675–693.
17. Tagirova L. F., Subbotin A. V., Zubkova T. M. Software development system for creation adaptive user interfaces. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2022, vol. 22 (4), pp. 751–759.
18. Solso R., MacLin K., MacLin O. *Cognitive Psychology*. Allyn & Bacon, 2008, 592 p.
19. Rubin J., Chisnell D., Spool J. *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. Hoboken, NJ, United States, Wiley, 2011, 384 p.
20. Fischer G. User Modeling in Human-Computer Interaction. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 2001, vol 11, pp. 65–86.
21. Hothi J., Hall W. An Evaluation of Adapted Hypermedia Techniques Using Static User Modelling. *Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia* (Pittsburgh, USA, June 20–24, 1998), pp. 45–50.
22. Piao G., Breslin J. G. Inferring User Interests in Microblogging Social Networks: A Survey. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 2018, vol. 28 (3), pp. 277–329.
23. Johnson A., Taatgen N. User Modeling. *Handbook of human factors in Web design*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 2005, pp. 424–438.
24. Montaner M., López B., de la Rosa J. L. A Taxonomy of Recommender Agents on the Internet. *Artificial Intelligence Review*, 2003, vol. 19, pp. 285–330.
25. Shishaev M. G. *Metodicheskie osnovy kognitivnykh interfejsov mul'tipredmetnykh IS* [Methodological foundations of cognitive interfaces of multi-subject IS]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, no. 3 (29), pp. 33–42. (In Russ.).
26. Vicentiy A., Vicentiy I. The Method of Dynamic Visualization of Spatial Data for Cognitive Interfaces of Information Systems Supporting Regional Management. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference "Surveying Geology and Mining Ecology Management"*, 2019, vol. 19, pp. 667–672.
27. Waller D., Nadel L. *Handbook of spatial cognition*. American Psychological Association, 2013, 294 p.
28. Zamjatin D. N. *Modelirovanie geograficheskikh obrazov: Prostranstvo gumanitarnoj geografii* [Modeling of geographical images: The space of humanitarian geography]. Smolensk, Oikumena, 1999, 256 p. (In Russ.).
29. Mitin I. I. *Ot kognitivnoj geografii k mifogeografii: interpretacii prostranstva i mesta* [From cognitive geography to mythogeography: interpretations of space and place]. *Pervaja Rossijskaja konferencija po kognitivnoj nauke (Kazan', 9–12 oktjabrja 2004 g.). Tezisi dokladov* [First Russian Conference on Cognitive Science (Kazan, October 9–12, 2004). Abstracts of reports]. Kazan, KSU, 2004, pp. 163–165. (In Russ.).
30. Zamjatina N. Ju. *Kognitivnaja geografija. Programma uchebnoj discipliny* [Cognitive geography. Academic discipline program]. *Gumanitarnaja geografija: Nauchnyj i kul'turno-prosvetitel'skij al'manah* [Humanitarian Geography: Scientific, Cultural and Educational Almanac]. Belousov S., Vakhrushev V., Glushkova I. et al. Vol. 5. Moscow, Heritage Institute, 2008, pp. 406–412. (In Russ.).

31. Zamjatina N. Ju. *Kognitivnaja geografija: predmet i osnovnye ponjatija* [Cognitive geography: subject and basic concepts]. *Voprosy jekonomicheskoy i politicheskoy geografii zarubezhnyh stran* [Issues of Economic and Political Geography of Foreign Countries]. A. S. Fetisova, I. S. Ivanova, I. M. Kuzina. Moscow, Smolensk, Oikumena, 2009, pp. 57–69. (In Russ.).
32. Zamjatin D. N. *Gumanitarnaja geografija (Materialy k slovarju gumanitarnoj geografii)* [Humanitarian geography (Materials for the dictionary of humanitarian geography)]. *Gumanitarnaja geografija: Nauchnyj i kul'turno-prosvetitel'skij al'manah* [Humanitarian Geography: Scientific, Cultural and Educational Almanac]. Andreeva E., Belousov S., Galkina T. et al. Vol. 2. Moscow, Heritage Institute, 2005, pp. 332–334. (In Russ.).
33. Gladkij Ju. N., Petrov A. N. *Gumanitarnaja geografija: ponjatijnyj status i samoidentifikacija* [Humanitarian geography: conceptual status and self-identification]. *Izvestia RAS, Ser. geogr.* [Proceedings of RAS. Series: Geography], 2008, no. 3, pp. 15–25. (In Russ.).
34. Mitin I. I. Mental maps as an instrument of complex cultural geographical research: the analysis of approaches. *Geographical Bulletin*, 2018, no. 4 (47), pp. 21–33.
35. Kitchin R. M. Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, 1995, vol. 14, pp. 1–19.
36. Pocock D. Some characteristics of mental maps: an empirical study. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 1976, vol. 1, pp. 493–512.
37. Waterman S., Gordon D. A Quantitative-comparative Approach to Analysis of Distortion in Mental Maps. *Professional Geographer*, 1984, vol. 36 (3), pp. 326–337.
38. Timofeeva T. N. *Kognitivnye karty goroda Kjahta* [Cognitive maps of the city of Kyakhta]. *Kul'turnaja i gumanitarnaja geografija* [Cultural and Human Geography], 2013, vol. 2, no. 1, pp. 53–64. (In Russ.).
39. Kovalenko I. M. *Mental'nye karty administrativnogo ustrojstva Ukrainy i Kryma (po prostranstvennym znanijam zhitelej g. Simferopolja)* [Mental maps of the administrative structure of Ukraine and Crimea (according to the spatial knowledge of residents of Simferopol)]. *West Societies of Geoecologists*, 2000, vol. 3, pp. 23–30. (In Russ.).
40. Hartson R., Pyla P. *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. San Diego, Morgan Kaufmann, 2013, 968 p.
41. Mental models in UX. November 5, 2020. Available at: <https://diegovz.com/en/blog/mental-models-in-ux> (accessed 05.11.2022).
42. Nielsen J. Mental Models. October 17, 2010. Available at: <https://www.nngroup.com/articles/mental-models> (accessed 05.11.2022).
43. Sun R. *The Cambridge Handbook of Computational Psychology*. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press, 2008, 768 p.
44. Cognitive Models. Usability Body of Knowledge. Available at: <https://www.usabilitybok.org/cognitive-models> (accessed 05.11.2022).
45. Ritter F., Baxter G., Young R. *User interface evaluation: How cognitive models can help*. MA, Addison-Wesley, 2001, pp. 125–147.

#### **Информация об авторе**

**А. В. Вицентий** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

#### **Information about the author**

**A. V. Vicentiy** — Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 11.11.2022; принята к публикации 16.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 11.11.2022; accepted for publication 16.11.2022.

Научная статья  
УДК 519.711, 004.94  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Дарья Николаевна Халиуллина<sup>1✉</sup>, Виталий Викторович Быстров<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*khaliullina@iimm.ru*<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>

<sup>2</sup>*bystrov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

### Аннотация

Поднимаются вопросы создания теоретического фундамента оценки жизнеспособности социально-экономических систем, оказывающих влияние на региональное развитие. Авторы предлагают подход к измерению состояния региональных социально-экономических систем на основе адаптации принципов управления жизнеспособностью критических инфраструктур. В качестве базисной структуры оценки жизнеспособности предлагается использовать многомерный куб данных, принцип построения которого также приводится в статье. Описывается общий алгоритм вычисления жизнеспособности социально-экономических систем с указанием специфических особенностей реализации отдельных его этапов. В качестве примера работоспособности предлагаемого подхода рассматривается процесс вычисления жизнеспособности учреждения высшего образования.

### Ключевые слова:

критическая инфраструктура, жизнеспособность, индикаторная оценка, многомерный куб данных, социально-экономическая система

### Благодарности:

статья выполнена по теме государственного задания № 122022800547-3 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Для цитирования:

Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Теоретические основы оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 78–92. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

Original article

## THEORETICAL FOUNDATIONS TO ASSESS THE RESILIENCE OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

**Darya N. Khaliullina<sup>1✉</sup>, Vitaliy V. Bystrov<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*khaliullina@iimm.ru*<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>

<sup>2</sup>*bystrov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

### Abstract

The article raises problems of designing a theoretical foundation to assess the resilience of socio-economic systems that influence regional development. The authors propose an approach to measuring the state of regional socio-economic systems based on the adaptation of the principles of managing the critical infrastructures resilience. It is proposed to use a multidimensional data cube as a basic structure for assessing resilience. The principle of construction of data cube is also given in the article. The authors describe a general algorithm for measuring the resilience of socio-economic systems, indicating the specific features of the implementation of its individual stages. As an example of the efficiency of the proposed approach, the process of measuring the resilience of a higher education institution is considered.

### Keywords:

critical infrastructure, resilience, indicator assessment, multidimensional data cube, socio-economic system

### Acknowledgments:

the article was written on the topic of state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122022800547-3.

### For citation:

Khaliullina D. N., Bystrov V. V. Theoretical foundations to assess the resilience of regional socio-economic systems // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 78–92. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

## Введение

Управление региональными социально-экономическими системами (РСЭС) все еще остается актуальной практической задачей, поскольку ошибочное решение в сфере управления может привести к непоправимым последствиям. Одним из возможных путей преодоления таких трудностей может стать использование специализированных систем поддержки принятия решений.

Одним из мировых трендов управления сложными системами является концепция жизнеспособности систем и критических инфраструктур. Анализ открытых источников по данной тематике позволяет сделать вывод о разнородности подходов к определению термина «жизнеспособность» [1–5]. В текущем исследовании под жизнеспособностью понимается способность системы, подвергающейся негативным событиям, сопротивляться, поглощать, приспосабливаться и восстанавливаться после последствий данных событий своевременным и эффективным образом, в том числе путем сохранения и восстановления ее основных структур и функций [6].

Основной идеей текущего исследования является применение концепции жизнеспособности для разработки средств информационно-аналитической поддержки управления РСЭС. В частности, предлагается создать систему поддержки принятия решений, которая позволила бы выполнять следующие ключевые задачи: 1) оценивать жизнеспособность РСЭС в определенный момент времени на протяжении всего жизненного цикла жизнеспособности системы; 2) прогнозировать состояние РСЭС и ее жизнеспособность при реализации различных сценариев развития системы (на основе имитационного моделирования); 3) вырабатывать рекомендации для формирования корректирующих воздействий на РСЭС (реализуемых посредством определенных мероприятий).

В рамках данной статьи делается акцент на разработку теоретического базиса для оценки жизнеспособности региональной социально-экономической системы с позиции управления критическими инфраструктурами. Предложенный подход к оценке жизнеспособности тестируется на примере системы кадрового обеспечения Мурманской области.

## РСЭС и критические инфраструктуры

Предполагается, что основными объектами, от функционирования которых зависит жизнеспособность всей региональной системы, являются критические инфраструктуры. В рамках данного исследования под критической инфраструктурой (КИ) понимается многокомпонентная распределенная система, состоящая из множества взаимозависимых подсистем, нарушение работоспособности хотя бы одной из которых может привести к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения (в широком смысле) и оказать значительное влияние на функционирование других подсистем и жизнеспособность КИ в целом [7].

В общем виде региональную социально-экономическую систему можно представить, как совокупность критических инфраструктур и вспомогательных подсистем:

$$S = \left( \bigcup_i^N CI_i \right) \cup \left( \bigcup_j^K E_j \right), \quad (1)$$

где  $CI_i$  —  $i$ -я критическая инфраструктура РСЭС;  $E_j$  —  $j$ -я вспомогательная подсистема РСЭС;  $N$  — количество критических инфраструктур, входящих в РСЭС;  $K$  — количество вспомогательных подсистем, входящих в РСЭС.

В частных случаях влияние вспомогательных систем на жизнеспособность РСЭС может быть ничтожно мало, поэтому:

$$\bigcup_j^K E_j = \emptyset. \quad (2)$$

Отметим, что под вспомогательной подсистемой понимается система, нарушение работоспособности которой не приводит к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения (в широком смысле).

В качестве критических инфраструктур в региональной социально-экономической системе выделим следующие подсистемы: экономическую ( $КИ_1$ ); экологическую ( $КИ_2$ ); промышленную ( $КИ_3$ ); кадровую — система кадрового обеспечения ( $КИ_4$ ) и другие подсистемы ( $КИ_i, \dots, КИ_k$ ).

## Оценка жизнеспособности критических инфраструктур

Для разработки системы оценки жизнеспособности региональной социально-экономической системы предлагается использовать многомерный куб данных из OLAP-систем [8] (рис. 1).

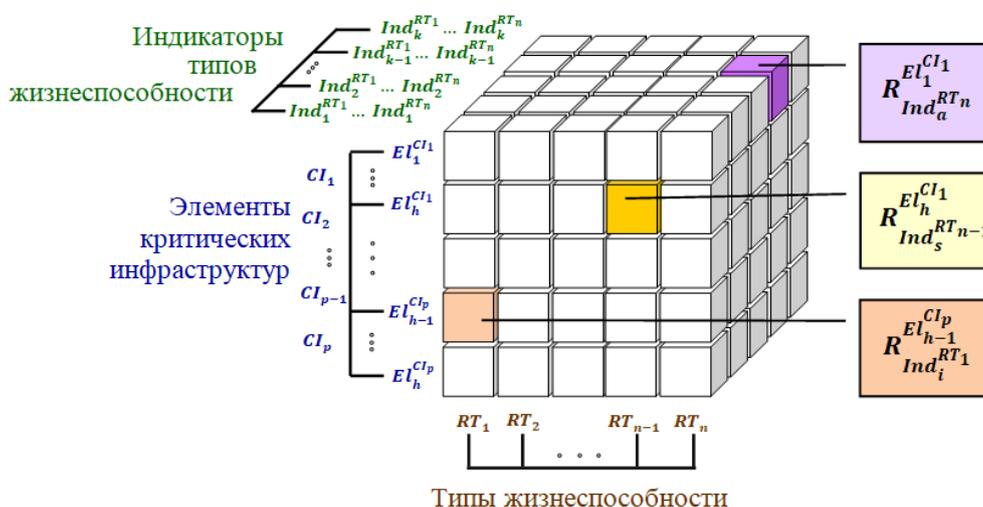


Рис. 1. Многомерный куб оценки жизнеспособности РСЭС

Согласно предлагаемому подходу (см. рис. 1), оценка жизнеспособности региональной социально-экономической системы проводится по следующим измерениям.

1. Ось  $Y$  отражает структурный состав критических инфраструктур ( $CI$ ), которые формируют РСЭС. При декомпозиции (развертывании) каждой КИ получаем совокупность элементов всех входящих в РСЭС критических инфраструктур  $\{El_1^{CI_1}, \dots, El_h^{CI_1}, El_1^{CI_2}, \dots, El_h^{CI_2}, \dots, El_1^{CI_p}, \dots, El_h^{CI_p}\}$ .

2. На ось  $X$  отображаются различные категории (типы) жизнеспособности ( $< RT_1, RT_2, \dots, RT_n >$ ): общественная ( $RT_1$ ), экономическая ( $RT_2$ ), экологическая ( $RT_3$ ), технологическая ( $RT_4$ ), организационная ( $RT_5$ ), информационная ( $RT_6$ ) и другие.

3. На оси  $Z$  представлено распределение индикаторов по каждому типу жизнеспособности  $\{Ind_1^{RT_1}, \dots, Ind_k^{RT_1}, \dots, Ind_1^{RT_n}, \dots, Ind_k^{RT_n}\}$ .

Предлагаемый подход позволяет рассчитывать жизнеспособность региональной социально-экономической системы, жизнеспособность выделенной КИ и, более того, жизнеспособность отдельного элемента любой КИ, которая входит в состав РСЭС.

Таким образом,  $R_{Ind_i^{RT_z}}^{El_j^{CI_f}}$  — содержимое каждой ячейки куба с информацией о конкретном значении определенного индикатора конкретного типа жизнеспособности для оценки выделенного элемента КИ, входящей в состав РСЭС. При этом:  $R$  — жизнеспособность элемента КИ, входящей в РСЭС;  $Ind_i^{RT_z}$  —  $i$ -й индикатор  $z$ -й категории жизнеспособности;  $RT_z$  —  $z$ -я категория жизнеспособности;  $El_j^{CI_f}$  —  $j$ -й элемент  $f$ -й КИ, входящей в РСЭС;  $CI_f$  —  $f$ -я КИ, входящая в РСЭС.

## Апробация подхода оценки жизнеспособности РСЭС

Одним из примеров КИ, входящей в региональную социально-экономическую систему и имеющей повышенную важность для регионального развития арктического региона, является система кадрового обеспечения. С позиции жизнеспособности РСЭС значимость данной системы подтверждается тем, что изменения, происходящие в кадровой подсистеме, существенно влияют на другие подсистемы, формирующие РСЭС. В свою очередь, для обеспечения жизнеспособности кадровой подсистемы на требуемом уровне необходимо стремиться к балансу спроса и предложения на региональном рынке труда.

Основными элементами кадровой подсистемы являются такие критические инфраструктуры, как система формирования спроса на трудовые ресурсы (СФС) и система формирования предложений для регионального рынка труда (СФП). В рамках предлагаемого подхода данные системы будут элементами первого уровня декомпозиции КИ на элементы (на рис. 1 ось  $Y$  — «Элементы критических инфраструктур»). Необходимо принимать во внимание, что полученные элементы КИ также можно детализировать, в результате чего появятся новые элементы — второй уровень декомпозиции. Количество уровней декомпозиции КИ определяется экспертно в зависимости от решаемой прикладной задачи.

Для получения оценки жизнеспособности кадровой подсистемы необходимо провести расчеты по всем индикаторам всех типов жизнеспособности всех уровней декомпозиции КИ. Одним из возможных вариантов оценки жизнеспособности является использование ее интегрального показателя, расчет которого можно проводить по-разному: 1) приведение многомерной структуры к одному значению с помощью вычисления взвешенных сумм (достоинством метода является относительная простота и понятность организации вычислительной процедуры при наличии адекватных значений весовых коэффициентов); 2) получение интегрального индикатора за счет организации нечеткого вывода (достоинством данного метода является возможность использовать в оценке качественные показатели наряду с количественными).

Оба подхода к вычислению интегрального показателя жизнеспособности связаны с необходимостью использования экспертных знаний. В первом случае экспертные знания применяются для определения важности индикаторов через весовые коэффициенты, а во втором — для фаззификации нечетких переменных и определения правил нечеткого вывода.

### Пример формирования системы индикаторов

Для проведения оценки жизнеспособности элемента КИ, входящей в региональную социально-экономическую систему, необходимо иметь данные о системе индикаторов (с указанием конкретных значений) по каждому типу жизнеспособности.

В качестве примера расчета элементарной ячейки многомерного куба данных рассмотрим задачу оценки элемента КИ — региональной системы высшего образования. С точки зрения иерархии элементов КИ рассматриваемая система высшего образования (ВО) является системой 3-го уровня декомпозиции системы кадрового обеспечения [7]:

- региональная система кадрового обеспечения
  - система подготовки кадров
    - **система высшего образования**
      - учреждение (организация) высшего образования.

В качестве элемента системы ВО рассматривается конкретное высшее учебное заведение (например, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение ВО «Мурманский государственный технический университет»).

Для формирования групп индикаторов по типам жизнеспособности учреждений ВО рационально использовать уже существующие подходы и системы оценки качества образовательных организаций. В частности, в работе использовались информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций ВО [9].

Прежде чем обсуждать перечень конкретных индикаторов того или иного типа жизнеспособности РСЭС, предлагается определиться с семантическим наполнением каждого вида жизнеспособности. Ниже приводится взгляд авторов исследования на содержание отдельных категорий жизнеспособности с позиции решения вопросов кадрового обеспечения региона. Отметим, что это мнение носит субъективный характер и может расходиться с экспертными мнениями других исследователей.

В работе под общественной жизнеспособностью понимается тип жизнеспособности РСЭС, который связан с вопросами социального взаимодействия РСЭС с различными сообществами (отдельными категориями регионального населения, органами муниципальной и региональной государственной власти, представителями бизнес-структур и промышленности и др.) и с их влиянием на состояние РСЭС.

Экономическая жизнеспособность представляет собой такой тип жизнеспособности РСЭС, который рассматривает проблемы экономического взаимодействия РСЭС с хозяйствующими субъектами региональной экономики и их влияние на состояние РСЭС.

Под экологической жизнеспособностью понимается тип жизнеспособности РСЭС, который сосредотачивается на вопросах взаимного влияния РСЭС и окружающей среды, а также вопросах применения зеленых технологий для защиты окружающего мира.

В качестве технологической жизнеспособности выступает такой тип жизнеспособности РСЭС, в котором рассматриваются проблемы технологической оснащённости РСЭС применительно к процессам преодоления кризисных ситуаций. В рамках ниже приведенного примера технологическая жизнеспособность в основном характеризуется процессами обеспечения инфраструктурными возможностями и техническими средствами.

Организационная жизнеспособность представляет собой такой тип жизнеспособности РСЭС, в которой внимание уделяется рассмотрению вопросов функционирования РСЭС как единой организации (либо совокупности организаций) с акцентом на проблемах организационного управления.

В таблице 1 представлены индикаторы по типам жизнеспособности организаций высшего образования (ОВО), которые были выделены в ходе анализа критериев оценки качества образовательных учреждений Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с точки зрения их применимости к концепции жизнеспособности. В результате проведенного анализа 117 критериев оценки качества было отобрано 47 индикаторов жизнеспособности, сгруппированных по четырем категориям. Стоит отметить, что проведенный анализ показал отсутствие в применяемой системе оценки качества образования показателей, связанных с экологией и защитой окружающей среды. В связи с этим индикаторы оценки экологической жизнеспособности на данный момент отсутствуют, что требует проведения дополнительного исследования.

Предлагаемая авторским коллективом система индикаторов оценки жизнеспособности не является абсолютно полной. Но рассматриваемый подход оценки жизнеспособности позволяет расширять перечень индикаторов по каждому типу жизнеспособности без значительных изменений в вычислительных процедурах.

### **Процедура вычисления компонентов многомерного куба данных**

Для расчета компонентов многомерного куба необходимо провести ряд операций. Общий алгоритм вычисления жизнеспособности РСЭС представлен на рис. 2.

Этап «Получение исходных данных» является сложной процедурой, так как он связан с анализом информации из открытых источников и экспертных знаний. Результатом данного этапа является набор конкретных значений (как количественных, так и качественных) по всем индикаторам системы оценивания (по типам жизнеспособности, элементам, критическим инфраструктурам).

Этап «Нормализация значений индикаторов» предназначен для приведения значений всех индикаторов к сопоставимому виду. В частности, значение любого индикатора отображается на 100-балльную шкалу. Нормализация проводится по следующей формуле:

$$\widehat{Ind} = \frac{Ind - min}{max - min} \times 100, \quad (3)$$

где  $\widehat{Ind}$  — нормализованное значение индикатора;  $Ind$  — исходное значение индикатора;  $min$  — минимально допустимое значение индикатора;  $max$  — максимально допустимое значение индикатора.

Отметим, что определение граничных значений для каждого индикатора является нетривиальной задачей и обычно требует проведения дополнительного исследования. Сложность этой подзадачи обусловлена наличием зависимости между граничными значениями и контекстом решаемой прикладной задачи.

Этап «Определение весовых коэффициентов» проводится экспертно, так как отсутствует в явном виде информация о важности индикаторов в соответствии с их влиянием на жизнеспособность системы. Реализация данного этапа может осуществляться различными методами извлечения коллективных экспертных знаний.

Таблица 1

Перечень индикаторов по типам жизнеспособности

№	Название индикатора	Допустимый диапазон	Комментарии
1	2	3	4
<i>1. Общественная жизнеспособность</i>			
1.1	Средний балл ЕГЭ студентов, принятых на обучение по программам бакалавриата и специалитета, по всем формам обучения, балл	0–100	Характеризует входное качество человеческого ресурса организации высшего образования (ОВО)
1.2	Усредненный минимальный балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ на обучение по очной форме на программы бакалавриата и специалитета	0–100	Определяет образовательный потенциал человеческого ресурса ОВО
1.3	Удельный вес численности студентов, принятых по результатам целевого приема, в общей численности студентов, принятых на первый курс по программам бакалавриата и специалитета на очную форму обучения, %	0–100	Характеризует степень взаимодействия ОВО с работодателями региона
1.4	Общая численность иностранных студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры, человек	0 — установленная квота	Характеризует международные имидж и конкурентоспособность ОВО
1.5	Доля студентов, не обеспеченных собственным общежитием, в числе студентов, нуждающихся в общежитии, %	0–100	Отражает степень привлекательности ОВО для иногородних обучающихся
1.6	Удельный вес численности обучающихся, по программам магистратуры и подготовки научно-педагогических кадров в общей численности приведенного контингента обучающихся по основным образовательным программам высшего образования, %	0–100	Отражает степень привлекательности ОВО для продолжения профессионального обучения

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
	<i>2. Экономическая жизнеспособность</i>		
2.1	Объем средств, полученных образовательной организацией от выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее — НИОКР) от иностранных граждан и иностранных юридических лиц, тыс. рублей	0–∞	Характеризует международную научную и экономическую деятельность ОВО
2.2	Доходы образовательной организации из всех источников в расчете на численность студентов (приведенный контингент), тыс. рублей	0–∞	Характеризует уровень привлечения финансирования за счет основной образовательной деятельности
2.3	Численность студентов, принятых по результатам целевого приема на первый курс на очную форму обучения по программам бакалавриата и специалитета, человек	0 — установленная квота	Характеризует степень финансового взаимодействия ОВО с заказчиками образовательных услуг
2.4	Общий объем НИОКР, тыс. рублей	0–∞	Отражает уровень привлечения дополнительного финансирования от научной деятельности
2.5	Удельный вес доходов от НИОКР в общих доходах образовательной организации, %	0–100	Отражает уровень привлечения финансирования от научной деятельности
2.6	Количество лицензионных соглашений, единица	0–∞	Косвенно характеризует работу ОВО по коммерциализации инновационной деятельности
2.7	Удельный вес средств, полученных образовательной организацией от использования результатов интеллектуальной деятельности, в общих доходах образовательной организации, %	0–100	Отражает уровень привлечения финансирования от научной и инновационной деятельности
2.8	Количество полученных грантов за отчетный год в расчете на 100 научно-педагогических работников (НПР), единица	0–∞	То же

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
2.9	Объем средств от образовательной деятельности, полученных образовательной организацией от иностранных граждан и иностранных юридических лиц, тыс. рублей	0–∞	Характеризует международную экономическую деятельность ОВО
2.10	Доходы образовательной организации из средств от приносящей доход деятельности в расчете на одного НПР, тыс. рублей	0–∞	Является косвенной характеристикой производительности одного сотрудника ОВО по привлечению дополнительного финансирования
2.11	Доля доходов из средств от приносящей доход деятельности в доходах по всем видам финансового обеспечения (деятельности) образовательной организации, %	0–100	Отражает степень финансовой самостоятельности ОВО относительно государства
2.12	Число предприятий, с которыми заключены договоры на подготовку специалистов, единица	0–∞	Косвенно характеризует финансовое взаимодействие с работодателями
2.13	Доходы вуза из всех источников, тыс. рублей	0–∞	Характеризует финансовую успешность ОВО
2.14	Доходы вуза из внебюджетных источников, тыс. рублей	0–∞	То же
<i>3. Экологическая жизнеспособность</i>			
Не выявлено			
<i>4. Технологическая жизнеспособность</i>			
4.1	Количество доступной вычислительной техники (ПК) в расчете на одного обучающегося, единица	0–∞	Характеризует доступность компьютерных средств для образовательной деятельности ОВО
4.2	Количество организаций инновационной деятельности (технопарков, малых предприятий, бизнес-инкубаторов, центров коллективного пользования научным оборудованием и др.), единица	0–∞	Характеризует инфраструктурные возможности осуществления инновационной деятельности ОВО
4.3	Общая площадь зданий (помещений), м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность деятельности ОВО
4.4	Площадь учебно-лабораторных зданий, м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность образовательной деятельности ОВО

Продолжение табл. 1

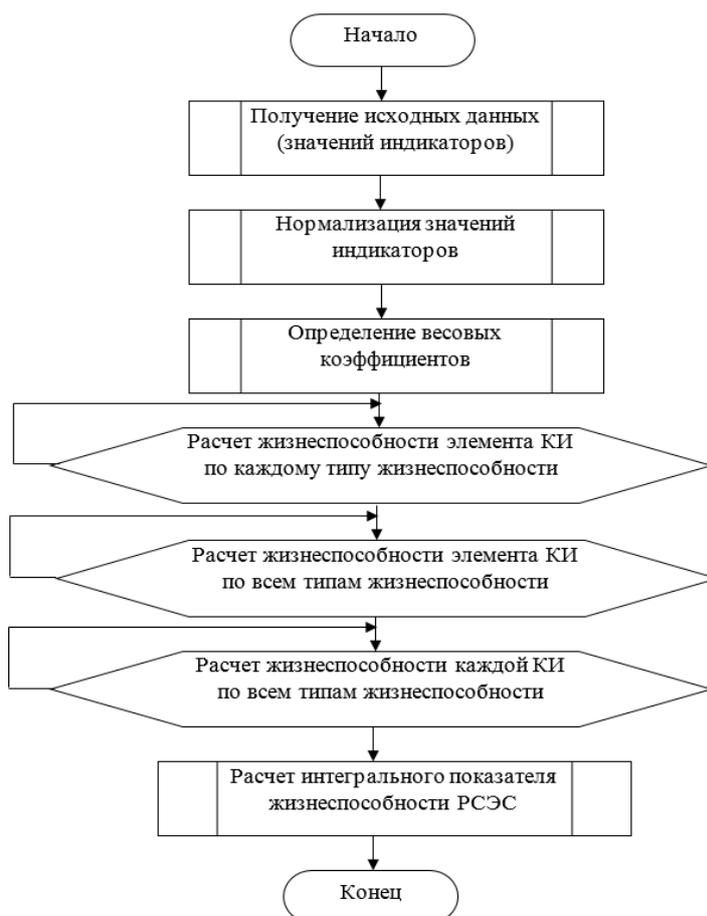
1	2	3	4
4.5	Площадь, предназначенная для научно-исследовательских подразделений, м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность образовательной и научно-конструкторской деятельности ОВО
4.6	Площадь общежитий, м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует доступность жилищного фонда для размещения контингента ОВО
4.7	Площадь крытых спортивных сооружений, м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность физкультурно-спортивной деятельности ОВО
4.8	Доля вычислительной техники (ПК), обеспеченной выходом в глобальную сеть (Интернет), %	0–100	Характеризует доступность сетевых информационных ресурсов для деятельности ОВО
4.9	Общая площадь учебно-лабораторных помещений в расчете на одного студента, м <sup>2</sup>	0–∞	Характеризует степень обеспеченности ОВО учебно-лабораторными помещениями
4.10	Количество экземпляров печатных учебных изданий из общего количества единиц хранения библиотечного фонда, состоящих на учете, в расчете на одного студента, единица	0–∞	Характеризует доступность получения информации из библиотечных систем ОВО
4.11	Наличие доступа к электронной библиотечной системе (ЭБС), да / нет	–	То же
<i>5. Организационная жизнеспособность</i>			
5.1	Отношение средней заработной платы НПП в образовательной организации (из всех источников) к средней заработной плате по экономике региона, %	0–∞	Характеризует степень финансового стимулирования труда НПП в ОВО
5.2	Средняя заработная плата профессорско-преподавательского состава (ППС) (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), тыс. рублей	0–∞	То же

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
5.3	Средняя заработная плата научных работников (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), тыс. рублей	0–∞	Характеризует степень финансового стимулирования труда штатных научных работников в ОВО
5.4	Численность аспирантов, ординаторов, ассистентов-стажеров образовательной организации в расчете на 100 студентов, единица	0–∞	Характеризует качественный состав обучающихся ОВО
5.5	Удельное количество публикаций, аффилированных с ОВО, в расчете на 100 НПР, единица	0–∞	Характеризует результативность организации научно-исследовательской деятельности ОВО
5.6	Удельный вес НИОКР, выполненных собственными силами (без привлечения соисполнителей), в общих доходах образовательной организации от НИОКР, %	0–100	Отражает степень самостоятельности ОВО в проведении научно-конструкторских работ
5.7	Удельный вес численности НПР без ученой степени до 30 лет, кандидатов наук до 35 лет, докторов наук до 40 лет в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует возрастной состав кадрового обеспечения ОВО
5.8	Удельный вес научно-педагогических работников, защитивших кандидатские и докторские диссертации за отчетный период в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует качество кадрового состава ОВО
5.9	Удельный вес численности иностранных граждан из числа НПР в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует международную самостоятельность ОВО в научной и образовательной деятельности
5.10	Удельный вес НПР, имеющих ученую степень кандидата и доктора наук, в общей численности НПР образовательной организации (совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), %	0–100	Характеризует независимость и качество кадрового состава ОВО

Окончание табл. 1

1	2	3	4
5.11	Доля штатных работников ИПС в общей численности ИПС, %	0–100	Характеризует независимость кадрового состава ОВО
5.12	Число предприятий, являющихся базами практики, с которыми оформлены договорные отношения, единица	0–∞	Характеризует степень организационного взаимодействия с партнерами ОВО
5.13	Общая численность работников образовательной организации (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует кадровый потенциал ОВО
5.14	Общая численность ИПС (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует кадровый потенциал ИПС ОВО
5.15	Общая численность научных работников (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует научный кадровый потенциал ОВО
5.16	Количество научных журналов, в том числе электронных, издаваемых образовательной организацией, единица	0–∞	Характеризует результативность организации научно-исследовательской деятельности ОВО



**Рис. 2.** Общий алгоритм вычисления жизнеспособности РСЭС

Этап «Расчет жизнеспособности элемента КИ по каждому типу жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по каждому типу жизнеспособности:

$$R_l^{Ind} = \sum_{z=1}^k (w_z^{RTl} \cdot Ind_z^{RTl}), \quad (4)$$

где  $w_z^{RTl}$  — весовой коэффициент для конкретного индикатора  $l$ -го типа жизнеспособности;  $Ind_z^{RTl}$  — значение  $z$ -го индикатора  $l$ -го типа жизнеспособности.

Этап «Расчет жизнеспособности элемента КИ по всем типам жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по всем типам жизнеспособности:

$$R_j^{RT} = \sum_{l=1}^n (w_l^{RT} \cdot R_l^{Ind}), \quad (5)$$

где  $R_l^{Ind}$  — взвешенная сумма индикаторов по  $j$ -му типу жизнеспособности;  $w_l^{RT}$  — весовой коэффициент для конкретного типа жизнеспособности.

Этап «Расчет жизнеспособности каждой КИ по всем типам жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по всем типам жизнеспособности для каждой КИ:

$$R_i^{CI} = \sum_{j=1}^h w_j^{CIi} \cdot R_j^{RT}, \quad (6)$$

где  $R_j^{RT}$  — взвешенная сумма индикаторов по всем типам жизнеспособности;  $w_j^{CIi}$  — весовой коэффициент для  $j$ -го элемента  $i$ -й КИ.

Этап «Расчет интегрального показателя жизнеспособности» предназначен для расчета интегрального показателя ( $RII$  — resilience integral indicator), представляющего собой взвешенную сумму индикаторов по всем типам жизнеспособности по всем КИ, входящим в состав РСЭС:

$$RII = \sum_{i=1}^p w_i^{CI} \cdot R_i^{CI}, \quad (7)$$

где  $R_i^{CI}$  — взвешенная сумма индикаторов по всем типам жизнеспособности для  $i$ -й КИ;  $w_i^{CI}$  — весовой коэффициент для конкретной КИ.

В качестве примера использования предлагаемого подхода к оценке жизнеспособности РСЭС рассмотрим частную задачу анализа жизнеспособности ведущих образовательных ОВО Мурманской области. К таким объектам исследования относятся два крупнейших региональных вуза — Мурманский государственный технический университет и Мурманский арктический государственный университет. Остальные образовательные организации не рассматриваются, так как являются филиалами и существенно уступают представленным вузам по показателям.

В таблице 2 приводятся некоторые результаты вычисления жизнеспособности двух рассматриваемых вузов. В частности, приводится пример рассчитанных индикаторов и весовых коэффициентов для одного типа жизнеспособности (общественная жизнеспособность). Также приводятся оценки каждого типа жизнеспособности для вузов. В результате дается оценка жизнеспособности вузов как элементов КИ РСЭС.

Отметим, что вычисления выполнялись в соответствии с приводимым на рис. 2 общим алгоритмом вычисления жизнеспособности РСЭС. При этом в качестве исходных данных для системы индикаторов использовались результаты мониторинга качества образования вузов Российской Федерации за 2021 г. Для проведения процедур вычисления весовых коэффициентов как для индикаторов, так и для каждого типа жизнеспособности привлекались три эксперта в области подготовки кадров и системы ВО. Расчет весовых коэффициентов осуществлялся с помощью метода ранжирования по степени важности для жизнеспособности.

Таблица 2

Результаты вычисления жизнеспособности элемента КИ (пример)

№ индикатора	Значение индикатора		Нормализованное значение		Весовой коэффициент
	вуз № 1	вуз № 2	вуз № 1	вуз № 2	
1.1	63,48	63,79	63,48	63,79	0,17
1.2	43,88	52,35	43,88	52,35	0,19
1.3	1,96	5,02	1,96	5,02	0,11
1.4	53	19	53	19	0,14
1.5	0	0	0	0	0,21
1.6	11,14	6,83	11,14	6,83	0,18
Жизнеспособность				вуз № 1	вуз № 2
1. Общественная				4,98	4,37
2. Экономическая				17,73	15,83
3. Экологическая				0	0
4. Технологическая				23,08	12,78
5. Организационная				19,9	19,47
Жизнеспособность элемента КИ				65,68	52,44

В результате проделанных вычислений были получены оценки жизнеспособности двух региональных вузов. Оценка представляет собой вещественную величину, которая может принимать значение от 0 до 100 и содержательно может быть интерпретирована как балльная оценка жизнеспособности. Чем выше значение оценки жизнеспособности, тем лучше система приспособлена к преодолению кризисных событий.

Тестирование подхода оценки жизнеспособности показало, что присутствуют нерешенные вопросы, которые требуют дополнительных изысканий и конкретизации вычислительных схем. В частности, вопрос определения крайнего допустимого значения индикаторов остается открытым, так как в перечне индикаторов есть показатели, интервал значений которых содержит бесконечность. На данном этапе исследования граница допустимых значений конкретного индикатора определялась как максимальное значение данного индикатора по всем оцениваемым элементам КИ.

## Заключение

В современных условиях всеобщей цифровизации общества и экономики Российской Федерации проблемы регионального развития по-прежнему остаются актуальными. Для их решения целесообразно использовать технологии искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных. В частности, системы поддержки принятия решений в сфере регионального управления могут найти практическое применение в органах исполнительной власти разных уровней государственного управления.

Текущее исследование направлено на создание теоретических и программных средств информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием на базе актуальной концепции жизнеспособности критических инфраструктур. В статье рассматриваются вопросы измерения жизнеспособности РСЭС. Предлагается использовать понятие многомерного куба данных из OLAP-технологий для организации вычислительных механизмов оценивания жизнеспособности систем. По мнению авторов, предлагаемый подход оценки жизнеспособности обладает свойствами универсальности, так как позволяет оценивать жизнеспособность как системы в целом, так и отдельных ее компонентов в разрезе различных типов жизнеспособности.

Приводимые в статье система индикаторов и расчеты на ее основе жизнеспособности компонента региональной социально-экономической системы носят показательный характер. Они используются в качестве примера для демонстрации применимости предлагаемого подхода оценки жизнеспособности, но могут обладать эффектом субъективности, требующим дальнейшей проработки вопросов с привлечением экспертов из разных отраслей знаний.

## Список источников

1. Villagran de Leon J. C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review [Электронный ресурс] // Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. URL: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
2. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses // *Global Environmental Change*. 2006. Vol. 16 (3). P. 253–267.
3. Liu H. J. et al. Conceptual framework of life-cycle performance measurement: Ensuring the resilience of transport infrastructure assets // *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2019. Vol. 77. P. 615–626.
4. Aldrich D. P., Meyer M. A. Social Capital and Community Resilience // *Am. Behav. Sci.* 2014. Vol. 59. P. 254–269.
5. Quanyan Zhu, Dong Wei, Kun Ji. Hierarchical Architectures of Resilient Control Systems: Concepts, Metrics, and Design Principles. 32 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b19629-11/hierarchical-architectures-resilient-control-systems-concepts-metrics-design-principles-quanyan-zhu-dong-wei-kun-ji/> (дата обращения: 27.10.2022).
6. Pursiainen C. Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? // *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2018. Vol. 27. P. 632–641.
7. Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Жизнеспособность критических инфраструктур региональной безопасности // *Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии*. 2022. Т. 13, № 5. С. 104–116.
8. Noh B., Park H., Yeo H. Analyzing vehicle-pedestrian interactions: Combining data cube structure and predictive collision risk estimation model // *Accident Analysis and Prevention*. 2022. Vol. 165. P. 106539.
9. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования [Электронный ресурс]. URL: <https://monitoring.miccedu.ru> (дата обращения: 27.10.2022).

## References

1. Villagran de Leon J. C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review. Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. Available at: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (accessed 27.10.2022).
2. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 2006, vol. 16, no. 3, pp. 253–267.
3. Liu H. J., Love Peter E. D., Sing Michael C. P., Niu B., Zhao J. Conceptual framework of life-cycle performance measurement: Ensuring the resilience of transport infrastructure assets. *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, 2019, vol. 77, pp. 615–626.
4. Aldrich D. P., Meyer M. A. Social Capital and Community Resilience. *Am. Behav. Sci.*, 2014, vol. 59, pp. 254–269.
5. Quanyan Zhu, Dong Wei, Kun Ji. Hierarchical Architectures of Resilient Control Systems: Concepts, Metrics, and Design Principles. 32 p. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b19629-11/hierarchical-architectures-resilient-control-systems-concepts-metrics-design-principles-quanyan-zhu-dong-wei-kun-ji/> (accessed 27.10.2022).
6. Pursiainen C. Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? *Int. J. Disaster Risk Reduct*, 2018, vol. 27, pp. 632–641.
7. Khaliullina D. N., Bystrov V. V. Zhiznesposobnost' kriticheskikh infrastruktur regional'noj bezopasnosti [Resilience of critical infrastructure of regional security]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Informacionnye tekhnologii* [Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies], 2022, vol. 13, no. 5, pp. 104–116. (In Russ.).
8. Noh B., Park H., Yeo H. Analyzing vehicle-pedestrian interactions: Combining data cube structure and predictive collision risk estimation model. *Accident Analysis and Prevention*, 2022, vol. 165, pp. 106539.
9. Informacionno-analiticheskie materialy po rezul'tatam provedeniya monitoringa deyatel'nosti obrazovatel'nyh organizacij vysshego obrazovaniya [Information and analytical materials on the results of monitoring the activities of educational institutions of higher education]. (In Russ.). Available at: <https://monitoring.miccedu.ru> (accessed 27.10.2022).

## Информация об авторах

**Д. Н. Халиуллина** — кандидат технических наук, научный сотрудник;

**В. В. Быстров** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

## Information about the authors

**D. N. Khaliullina** — Candidate of Science (Tech.), Researcher;

**V. V. Bystrov** — Candidate of Science (Tech.), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 16.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 16.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.9  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.008

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ОБНОВЛЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

**Сергей Юрьевич Яковлев<sup>1</sup>, Алексей Сергеевич Шемякин<sup>2</sup>, Андрей Григорьевич Олейник<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

<sup>2</sup>*shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

<sup>3</sup>*oleynik@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>*

### Аннотация

Рассмотрены некоторые проблемы нормативного регулирования безопасности критически важных объектов, отражающие недавние изменения в законодательстве. Особое внимание уделено вопросам идентификации и классификации объектов, а также показателям и критериям регулирования техногенно-экологической безопасности. Показано, что концептуальные основы идентификации и классификации в целом соответствуют прежним нормам. Как в прежнем, так и в новом законодательствах отмечено отсутствие показателей риска, а также недостаточность методической базы исследования безопасности критически важных объектов.

### Ключевые слова:

критически важные объекты, нормативно-методическая база, промышленно-природная безопасность

### Благодарности:

работа выполнена в рамках темы научно-исследовательской работы 122022800547-3 «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации».

### Для цитирования:

Яковлев С. Ю., Шемякин А. С., Олейник А. Г. Регулирование техногенно-экологической безопасности критически важных объектов инфраструктуры: обновление нормативной базы // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 93–102. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.008

Original article

## REGULATION OF TECHNOGENIC AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES: REGULATORY UPDATING

**Sergey Yu. Yakovlev<sup>1</sup>, Alexey S. Shemyakin<sup>2</sup>, Andrey G. Oleynik<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*yakovlev@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6433-2096>*

<sup>2</sup>*shemyakin@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5308-5456>*

<sup>3</sup>*oleynik@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>*

### Abstract

The article discusses certain regulatory challenges for the critical facilities safety, reflecting recent changes in legislation. Particular attention is paid to the issues of identification and classification of objects, as well as indicators and criteria for regulating technogenic and environmental safety. It is shown that the conceptual foundations of identification and classification generally correspond to the previous standards. Both the old and the new legislation note the absence of risk indicators, as well as the insufficiency of the methodological base for studying the safety of critical facilities.

### Keywords:

critical infrastructure, technogenic and environmental safety, normative and methodological base

### Acknowledgments:

the work was carried out within the framework of the research topic 122022800547-3 "Development of theoretical, organizational and technical foundations of information support for the management of the viability of regional critical infrastructures of the Arctic zone of the Russian Federation".

### For citation:

Yakovlev S. Yu., Shemyakin A.S., Oleynik A.G. Regulation of technogenic and environmental safety of critical infrastructure facilities: regulatory updating // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 93–102. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.008

## Введение

В период 2020–2022 гг. в сфере правового обеспечения промышленно-природной безопасности Российской Федерации (РФ) произошли значительные изменения. Был отменён целый ряд нормативных документов федерального и ведомственного уровней, вышли новые постановления. Одним из затронутых этим процессом актуальных направлений явилось регулирование безопасности критически важных объектов (КВО). В статье проводится сопоставительный анализ изменений, особое внимание уделяется вопросам идентификации и классификации КВО.

## Прежняя нормативно-правовая база

Вопросы правовой и информационно-методической поддержки безопасности КВО при наличии разнородных угроз освещаются, например, в [1, 2]. Дадим краткое описание состояния проблемы до 2020 г.

Понятие «критически важный объект» введено в оборот после заседания Совета безопасности и Президиума Госсовета РФ от 13 ноября 2003 г., протокол утверждён президентом РФ 4 декабря 2003 г., приказ № 2192. Однако юридически закреплённого толкования этого термина не было. В [2, 3] даётся определение КВО как такого объекта, ущерб которому может иметь последствия для страны, субъекта РФ или административно-территориальной единицы (АТЕ). Это определение носило качественный характер и не было подкреплено иными количественными показателями.

Классификация КВО осуществлялась по различным признакам [4], а классы, в свою очередь, разбивались на категории

Перечень КВО был утверждён на федеральном уровне. Поскольку чётко не были определены критерии отнесения объектов к КВО, в перечень попали объекты самого разного уровня и значения, некоторые — необоснованно.

На рисунке 1 представлено распределение КВО (в процентах) по федеральным округам [3]. Таблица отражает распределение КВО (в процентах) по видам потенциальных опасностей [5].

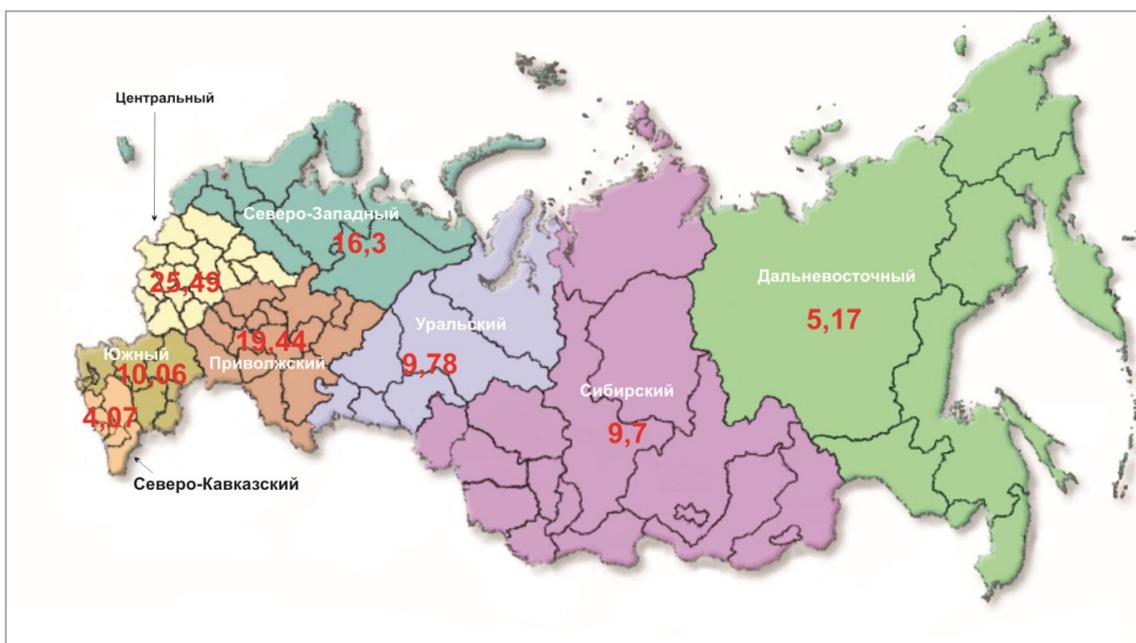


Рис. 1. Распределение КВО по федеральным округам, %

Основным документом, характеризующим безопасность КВО, являлся План повышения защищенности КВО (План КВО). Он представлял собой, главным образом, комплекс разнородных мероприятий, направленных на повышение защищенности КВО [6]. Отметим отсутствие методических рекомендаций по количественной оценке уровня защищенности КВО.

Распределение КВО по видам потенциальных опасностей, % [5]

Округ	Вид опасных объектов									
	Итого	радиационно опасные	химические опасные	биологически опасные	техногенно опасные	пожаро-, взрывоопасные	экономичес- кие	информацион- ные	телекоммуника- ционные	
Дальневосточный	7,26	0,18	0,12	–	3,08	0,82	0,57	1,79	0,70	
Приволжский	15,64	0,35	1,81	0,06	6,55	3,22	0,92	1,48	1,25	
Северо-Западный	15,58	0,64	0,60	0,12	8,27	1,14	0,70	3,20	0,90	
Сибирский	11,95	0,39	0,80	0,06	4,60	1,99	0,84	2,11	1,15	
Уральский	9,79	0,29	0,99	–	4,15	2,30	0,41	1,07	0,60	
Центральный	23,40	0,11	1,56	0,21	10,14	3,04	1,38	3,49	2,46	
Южный	16,38	0,16	1,44	0,12	7,88	3,92	0,80	1,07	0,99	
<i>Итого</i>	100	3,14	7,32	0,57	44,66	16,43	5,62	14,21	8,05	

### **Новая нормативно-правовая база**

Как в старой, так и в новой правовых базах КВО представлены «параллельно» с потенциально опасными объектами (ПОО), основным планирующим документом для которых является паспорт безопасности. В постановлении [7] приводятся правила разработки и форма паспорта безопасности ПОО. Для КВО постановлением [8] утверждены правила, согласно которым должны разрабатываться критерии КВО. Это в том числе подразумевает, что необходимо чёткое разделение КВО и ПОО. В целом упрощённо КВО — более важные и значимые для экономики объекты, нежели ПОО.

В постановлении [8] органам власти и ведомствам предписывается разработка правовых актов по критериям, а МЧС России — методическое руководство обоснованием критериев КВО. В [8] даны определения основных понятий: категории значимости КВО; объект; объекты, подлежащие отнесению к КВО. Выделены следующие категории КВО: федерального уровня значимости (когда последствия нарушений на объекте могут привести к потере управления экономикой двух и более субъектов РФ); регионального уровня значимости (последствия могут привести к потере управления экономикой одного субъекта РФ); муниципального уровня значимости (к потере управления экономикой АТЕ РФ). Объекты, относимые к КВО, могут быть любых форм собственности, в результате чрезвычайных ситуаций (ЧС) может возникнуть потеря управления экономикой РФ, субъектов РФ или АТЕ. Указано, что критерии должны включать в себя конкретные показатели и соответствующие им значения, а также что на основе этих критериев КВО относятся к одной из категорий значимости. Рассмотрим некоторые критерии, разработанные в соответствии с [8].

В [9] категории значимости КВО дополнены количественными показателями. КВО федерального уровня значимости — объекты, на которых в результате ЧС социальный ущерб составляет свыше 500 человек либо экологический и материальный ущерб составляет свыше 1,2 миллиардов рублей. К КВО регионального уровня значимости относят объекты, для которых зона ЧС находится в пределах территории одного субъекта РФ, при этом социальный ущерб находится в диапазоне от 50 до 500 человек, либо материальный ущерб — в диапазоне от 12 миллионов рублей до 1,2 миллиардов рублей. КВО муниципального уровня — это объекты, для которых зона ЧС находится в пределах одного муниципального образования, при этом социальный ущерб составляет не более 50 человек либо материальный ущерб — не более 12 миллионов рублей. Отметим, что в постановлении [10] чрезвычайные ситуации федерального, регионального и муниципального характера имеют количественные показатели, указанные в [9] для КВО соответствующего уровня значимости. В [10] также приведены ЧС межрегионального, межмуниципального и локального характера, не имеющие аналогов в категориях значимости КВО. Таким образом, в [9] постановление [8] дополнено показателями социального, экологического и материального ущерба.

В [11] уровни значимости определяются несколько по-иному. Наряду с числом затронутых территорий (число субъектов РФ, АТЕ) для всех уровней значимости выставляется также требование продолжительности нарушения или прекращения функционирования объекта в результате ЧС — более чем на 24 часа. Таким образом, здесь появляется ещё и временной показатель.

Разработка планов КВО, субъектов РФ и муниципальных образований в дальнейшем не предполагается. В настоящее время в МЧС России готовится проект документа о порядке разработки и форме нового планирующего документа — предположительно паспорта безопасности КВО.

### **Сравнительный анализ внесённых изменений**

Обратимся к вопросам идентификации и классификации КВО. Качественное определение КВО осталось прежним. Классификация КВО на «верхнем» уровне по-прежнему основана на возможном масштабе территории, для которой потеряно управление: выделяется потеря управления экономикой РФ, субъектов РФ или АТЕ субъекта РФ. Уровни значимости КВО претерпели изменения и дополнились количественными показателями социального, экологического и материального ущерба. Сложившаяся на текущий момент схема идентификации и классификации опасных объектов приведена на рис. 2. Под опасными объектами здесь подразумеваются как КВО, так и ПОО.

Во всех упомянутых нормах отсутствуют показатели риска, а именно ожидаемая вероятность (частота) той или иной ЧС. Отметим, что этот критерий нашёл отражение в нормах, посвящённых безопасности ПОО, где наряду с показателями ущерба подлежат оценке и показатели риска. В частности, выделяются наиболее опасный (максимальный ущерб) и наиболее вероятный сценарий ЧС.

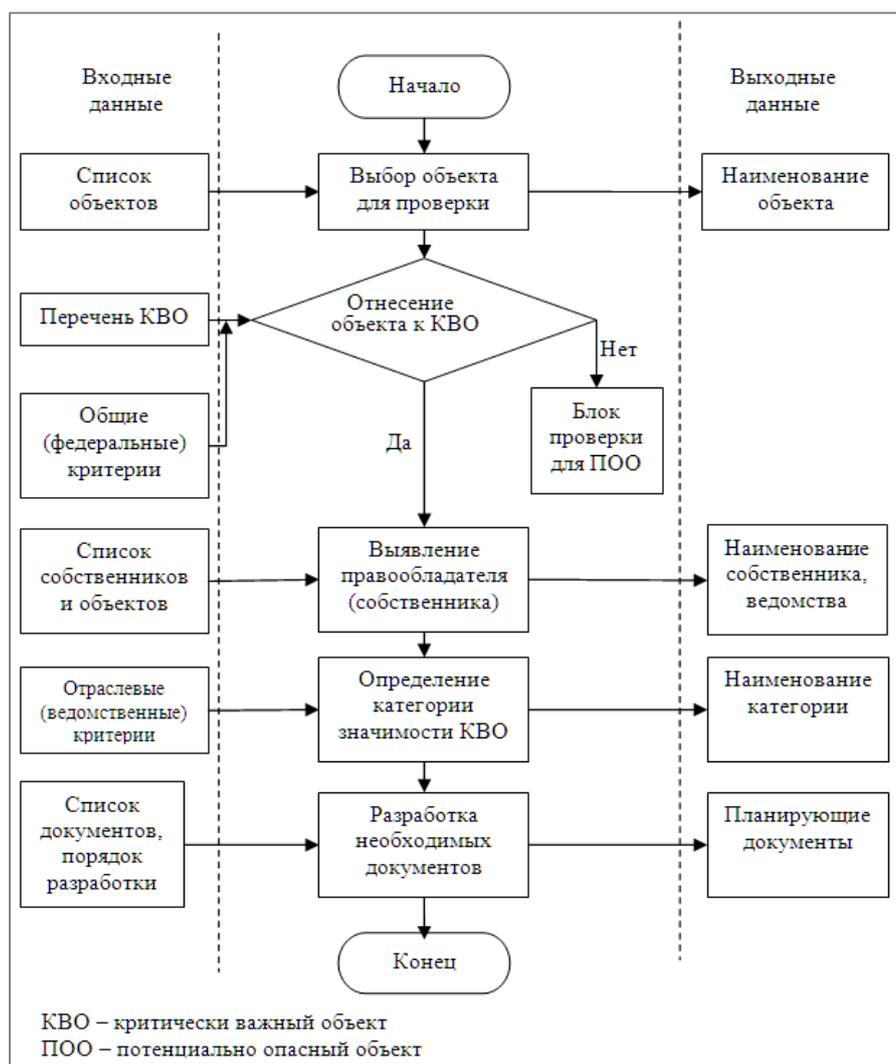


Рис. 2. Схема идентификации и классификации опасных объектов

Рассмотрим некоторые работы последних лет, касающиеся определения и категорирования КВО.

В [12] представлены различные подходы к идентификации и классификации КВО. Рассмотрены особенности применения различных математических методов для отнесения объекта к критически важному и определения уровней значимости КВО: алгебры логики, распознавания образов, экспертных оценок, а также методов логического анализа и синтеза. Рассмотрены проблемы защиты КВО и рекомендации ООН в этой области.

В [13] обсуждаются проблемные вопросы формирования критериев КВО для объектов всех форм собственности, предложены различные методические подходы к разработке критериев, а также к категорированию объектов по степени значимости.

В [14] выполнен анализ правовых норм, применяемых для толкования понятия «критически важный объект», с учетом нововведений в законодательстве 2020–2021 гг. Рассмотрены подходы к раскрытию содержания данного термина с помощью конкретных категорий, понятий и норм.

В [15] особое внимание уделено террористическим угрозам для КВО, выполнен анализ типов и тенденций терроризма. Для уменьшения террористических рисков предложена двухэтапная концепция снижения уязвимости КВО. На первом этапе производится выявление и защита критических элементов КВО и тем самым предупреждение локальных повреждений в системе. На втором этапе осуществляется модификация структуры КВО (резервирование, локализация отказов, прогноз и предупреждение последствий локальных повреждений).

### **Задачи информационно-аналитической поддержки в области регулирования КВО**

Среди «основополагающих принципов» при разработке критериев отнесения объекта к той или иной категории КВО автор [13] называет, в частности, объективность и прозрачность. Под объективностью им понимается обоснованность аргументов, на основе которых делаются выводы, а под прозрачностью — минимизация возможных различий в толковании критерия. Автор [12] также отмечает, что «для оценки уровня значимости различных критически важных объектов целесообразно иметь адекватный методический аппарат, однозначно трактуемый в различных министерствах и ведомствах».

Решению данной задачи может способствовать использование современных информационных технологий. Так, для согласования понятийного аппарата в рамках рассматриваемой предметной области и выявления «ведомственных» противоречий в толковании понятий применимы формальные онтологии. Например, в работе [16] авторами предложен вариант формирования с использованием онтологий интегрированного пространства знаний мультидисциплинарного научного центра, где также стоит проблема согласования понятийного аппарата исследователей различных научных областей. В работе [17] представлена технология поддержки создания и согласования нормативно-правовых документов на основе онтологического подхода, которая может быть полезна при создании общей методической базы формирования и использования критериев отнесения объектов к категориям КВО.

В 2021 г. постановлением Правительства Российской Федерации были утверждены Правила формирования и утверждения перечня критически важных объектов [18]. В этом документе указывается, что «Перечень формируется и ведется в целях: а) сбора, обработки, анализа и хранения информации о критически важных объектах; б) создания информационной основы для разработки и выполнения требований к критически важным объектам в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; в) информационного обеспечения федерального государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Для достижения этих целей, кроме прочего, необходимо наличие единой специализированной информационно-аналитической системы, обеспечивающей эффективную работу с информацией по КВО, включая категоризацию КВО.

Объекты, которые являются «кандидатами» на отнесение к КВО, выполняют различные функции по обеспечению управления и функционирования социально-экономическими системами различного уровня и относятся к разным субъектам управления. Это существенно осложняет решение задачи формирования единой согласованной системы критериев, по которой оценивается критичность объектов и делаются выводы, свободные от отраслевой и/или ведомственной предвзятости.

На рисунке 3 представлена укрупненная информационная структура, которая может быть положена в основу не только категорирования КВО, но и достижения других целей, заявленных в [18]. Схема разработана в результате обобщения суждений и предложений, высказанных в работах [12–15].

Для проведения категорирования в первую очередь необходимо выявить и зафиксировать общее множество реализуемых объектами «критических функций», нарушение и (или) прекращение выполнения которых может привести к негативным последствиям различного типа [13].

Для каждого подлежащего категорированию объекта определяется подмножество реализуемых им «критических функций», а также идентифицируются компоненты (элементы) объекта, которые обеспечивают реализацию свойственных этому объекту «критических функций».

При определении КВО [18] указывается, что нарушение или прекращение функционирования таких объектов приводит к нарушению управляемости определенных территориальных социально-экономических систем и/или существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения. Поэтому в рамках системы категорирования КВО необходимо учитывать «сферы влияния» категорируемого объекта. Реализация определенного риска / угрозы может в пределе приводить к нарушению всех выполняемых объектом критических функций (полное нарушение функционирования объекта). При реализации ряда ЧС может иметь место частичное нарушение функционирования объекта (нарушение только части критических функций). Поэтому для более детального понимания роли КВО и возможных последствий нарушения его функционирования целесообразно явно связать конкретные «критические функции» объекта с определенными сферами влияния. В качестве примера рассмотрим такие «реализуемые функции» объекта топливно-энергетического комплекса, как «производство моторного топлива» и «хранение нефтепродуктов». Для первой функции основной «сферой влияния» будет транспорт

без обязательной привязки к территории, а для второй в «сферу влияния» обязательно должна быть включена окружающая объект территория с ее населением и инфраструктурой, на которую могут оказать негативное влияние последствия ЧС на хранилище нефтепродуктов.

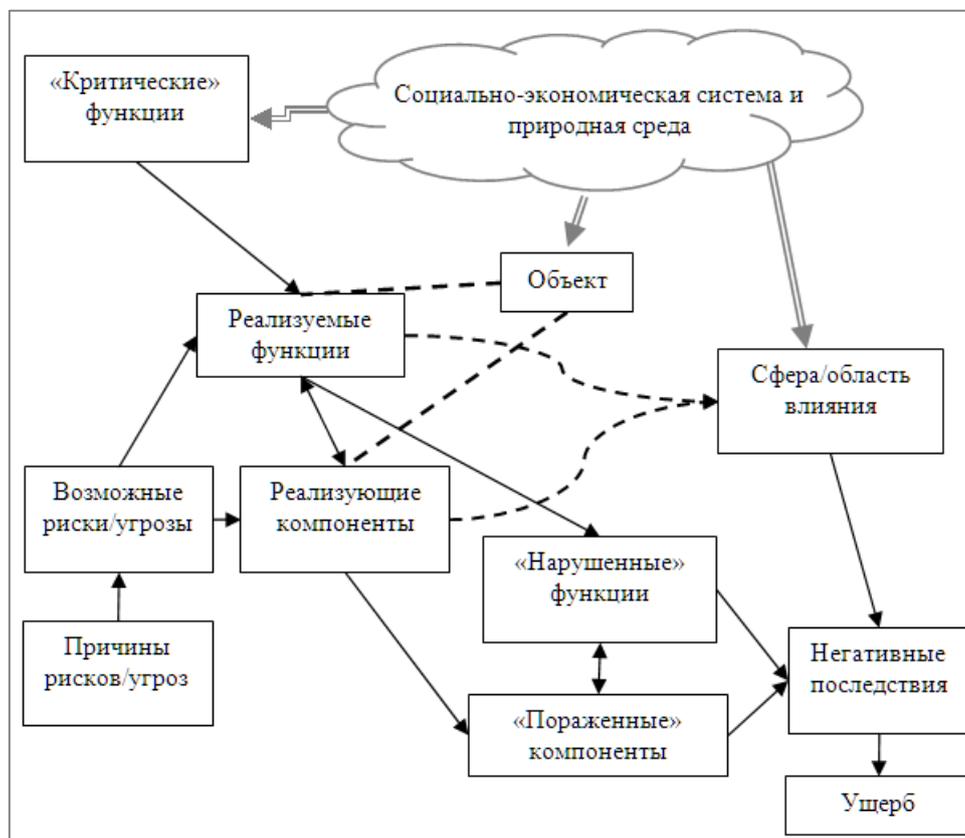


Рис. 3. Укрупненная информационная структура системы категорирования КВО

Из общего множества рисков / угроз для конкретного категорируемого объекта может быть выделено подмножество возможных именно для этого объекта рисков / угроз. Реализация каждого элемента из этого подмножества влечет «поражение» одного или нескольких критических компонентов объекта. В результате происходит нарушение выполнения связанных с этими компонентами «критических функций» объекта, что, в свою очередь, приводит к негативным последствиям в зонах влияния нарушенных функций. В зависимости от видов негативных последствий и свойств сфер влияния для оценки ущерба могут применяться различные методики расчета ущерба. Полученные оценки являются нейтральным и понятным [13] основанием выводов об отнесении объекта к определенной категории КВО или о том, что данный объект не стоит считать КВО.

### Заключение

Рассмотрены некоторые проблемы нормативного регулирования безопасности КВО, отражающие новации в законодательстве. Охарактеризована правовая основа, существовавшая до 2020 г., приведены данные по определению и классификации КВО. Основным планирующим документом являлся План повышения защищённости КВО.

Для обновлённой нормативной базы представлены пока ещё немногие утверждённые документы. Описаны некоторые отраслевые критерии отнесения объектов к КВО, отражающие показатели социального и материального ущерба.

Можно констатировать, что концептуальные основы идентификации и классификации КВО в целом соответствуют прежним нормам. Как в прежнем, так и в новом законодательствах отмечено отсутствие показателей риска, а также методической базы исследования безопасности КВО.

Общей тенденцией внесённых изменений является унификация правовой основы регулирования безопасности как потенциально опасных, так и критически важных объектов.

Необходимым условием достижения целей по эффективному управлению КВО, защитой населения и территорий от связанных с КВО чрезвычайных ситуаций различной природы являются создание и использование единой проблемно ориентированной информационно-аналитической среды. Эта среда должна обеспечивать объективный анализ свойств КВО, поддерживать обоснованную выработку рекомендаций по разработке требований к обеспечению устойчивости функционирования и безопасности КВО.

#### Список источников

1. Яковлев С. Ю., Исакевич Н. В. Информационное обеспечение разработки планов повышения защищённости критически важных объектов // IV Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики» (Апатиты, 29–31 марта 2011 г.). Труды конференции. Апатиты, КНЦ РАН, 2011. С. 170–175.
2. Костров А. В. Проблемы правового обеспечения защищённости критически важных объектов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВНИТИ, 2010. № 3. С. 4–11.
3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году: Государственный доклад. М.: МЧС России, 2011.
4. Типовые планы повышения защищённости критически важных объектов, территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2007. 34 с.
5. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008 году: Государственный доклад. М.: МЧС России, 2009.
6. Типовые макеты планов и рекомендации по составлению планов повышения защищённости критически важных объектов регионального, территориального, местного и объектового уровней на 2004–2008 годы. М.: МЧС России, 2004. 25с.
7. Об утверждении правил разработки и формы паспорта безопасности потенциально опасного объекта: Постановление Правительства РФ от 14.07.2022 № 1265 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207150028> (дата обращения: 23.01.2023).
8. Об утверждении Правил разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к критически важным объектам: Постановление Правительства Российской Федерации от 14.08.2020 № 1225 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008190041> (дата обращения: 23.01.2023).
9. Об утверждении критериев отнесения объектов всех форм собственности, правообладателями которых являются Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека или организации, в отношении которых Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека осуществляет координацию и регулирование деятельности, к критически важным объектам: Приказ Роспотребнадзора от 26.05.2022 № 277 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208100012> (дата обращения: 23.01.2023).
10. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 // ГАРАНТ: сайт. URL: <https://base.garant.ru/12153609/> (дата обращения: 23.01.2023).
11. Об утверждении критериев отнесения объектов всех форм собственности, правообладателями которых являются Федеральное агентство водных ресурсов или организации, в отношении которых Федеральное агентство водных ресурсов осуществляет координацию и регулирование деятельности, к критически важным объектам: Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 22.11.2021 № 301 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202240021> (дата обращения: 23.01.2023).
12. Подрезов Ю. В. Особенности функционирования и защиты критически важных объектов в современных условиях // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сборник. 2021. № 4. С. 131–139.

13. Глебов В. Ю. К проблеме разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к критически важным объектам и их категорированию // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сборник. 2021. № 5. С. 45–49.
14. Назаренко Е. К. К вопросу о трактовке термина «критически важный объект» // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сборник. 2021. № 5. С. 5–10.
15. Махутов Н. А., Дубинин Е. Ф., Куксова В. И. Особенности террористических угроз для критически важных объектов и меры по снижению террористических рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сборник. 2019. № 6. С. 87–103.
16. Олейник А. Г., Ломов П. А. Разработка онтологии интегрированного пространства знаний // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 465–474. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-465-474
17. Ломов П. А., Олейник А. Г. Разработка технологии проверки и согласования нормативно-правовой базы на основе онтологий // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2013. Т. 63, № 2. С. 62–69.
18. Об утверждении Правил формирования и утверждения перечня критически важных объектов: Постановление Правительства Российской Федерации от 24.06.2021 г. № 981. URL: <http://government.ru/docs/all/135153/>.

## References

1. Yakovlev S. Yu., Isakevich N. V. Informacionnoe obespechenie razrabotki planov povysheniya zashchishchyonnosti kriticheski vazhnyh ob"ektov [Information support of development of critical infrastructure safety reinforce plans]. *IV Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya "Teoriya i praktika sistemnoj dinamiki" (Apatity, 29–31 marta 2011 g.). Trudy konferencii* [IV All-Russian Scientific Conference "Theory and Practice of System Dynamics". Proceedings of the conference]. Apatity, KNC RAN, 2011, pp. 170–175. (In Russ.).
2. Kostrov A. V. Problemy pravovogo obespecheniya zashchishchyonnosti kriticheski vazhnyh ob"ektov [Issues of legal support of critical infrastructure safety]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij* [Issues of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI, 2010, no. 3, pp. 4–11. (In Russ.).
3. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera v 2010 godu: Gosudarstvennyj doklad [On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2010: State Report]. Moscow, MCHS Rossii, 2011. (In Russ.).
4. Tipovye plany povysheniya zashchishchennosti kriticheski vazhnyh ob"ektov, territorij sub"ektov Rossijskoj Federacii i municipal'nyh obrazovanij [Standard plans for improving the security of critical facilities, territories of the constituent entities of the Russian Federation and municipalities]. Moscow, FGU VNII GOCHS, 2007, 34 p. (In Russ.).
5. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera v 2008 godu: Gosudarstvennyj doklad [On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2008: State Report]. Moscow, MCHS Rossii, 2009. (In Russ.).
6. Tipovye makety planov i rekomendacii po sostavleniyu planov povysheniya zashchishchennosti kriticheski vazhnyh ob"ektov regional'nogo, territorial'nogo, mestnogo i ob"ektovogo urovnej na 2004–2008 gody [Standard layouts of plans and recommendations for drawing up plans to improve the security of critical facilities at the regional, territorial, local and facility levels for 2004–2008]. Moscow, MCHS Rossii, 2004, 25 p. (In Russ.).
7. Ob utverzhdenii pravil razrabotki i formy pasporta bezopasnosti potencial'no opasnogo ob"ekta. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14.07.2022 No. 1265. (In Russ.). Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207150028> (accessed 23.01.2023).
8. Ob utverzhdenii Pravil razrabotki kriteriev otneseniya ob"ektov vsekh form sobstvennosti k kriticheski vazhnyh ob"ektam. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 14.08.2020 No. 1225. (In Russ.). Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008190041> (accessed 23.01.2023).
9. Ob utverzhdenii kriteriev otneseniya ob"ektov vsekh form sobstvennosti, pravoobladatelyami kotoryh yavlyayutsya federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitelej i blagopoluchiya

- человека или организации, в отношении которых федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека осуществляет координацию и регулирование деятельности, к критически важным объектам. Приказ Роспотребнадзора от 26.05.2022. No. 277. (In Russ.). Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208100012> (accessed 23.01.2023).
10. O klassifikacii chrezvychajnyh situacij prirodного i tekhnogenного характера. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.05.2007 No. 304. (In Russ.). Available at: <https://base.garant.ru/12153609/> (accessed 23.01.2023).
  11. Ob utverzhdenii kriteriev otneseniya ob"ektov vsekh form sobstvennosti, pravoobladatelyami kotoryh yavlyayutsya federal'noe agentstvo vodnyh resursov ili organizacii, v otnoshenii kotoryh federal'noe agentstvo vodnyh resursov osushchestvlyayet koordinaciyu i regulirovanie deyatel'nosti, k kriticheski vazhnym ob"ektam. Priказ Federal'nogo agentstva vodnyh resursov ot 22.11.2021 No. 301. (In Russ.). Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202240021> (accessed 23.01.2023).
  12. Podrezov Yu. V. Osobennosti funkcionirovaniya i zashchity kriticheski vazhnyh ob"ektov v sovremennyh usloviyah [Features of functioning and protection of critical infrastructure under current conditions]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. Nauchnyj informacionnyj sbornik* [Issues of Safety and Emergency Situations. Scientific and information collection], 2021, no. 4, pp. 131–139. (In Russ.).
  13. Glebov V. Yu. K probleme razrabotki kriteriev otneseniya ob"ektov vsekh form sobstvennosti k kriticheski vazhnym ob"ektam i ih kategorirovaniyu [On the issue of developing criteria for classifying objects of all forms of ownership as critical objects and their categorization]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. Nauchnyj informacionnyj sbornik* [Issues of Safety and Emergency Situations. Scientific and information collection], 2021, no. 5, pp. 45–49. (In Russ.).
  14. Nazarenko E. K. K voprosu o traktovke termina “kriticheski vazhnyj ob"ekt” [On the issue of interpretation of the term “critical infrastructure”]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. Nauchnyj informacionnyj sbornik* [Issues of Safety and Emergency Situations. Scientific and information collection], 2021, no. 5, pp. 5–10. (In Russ.).
  15. Mahutov N. A., Dubinin E. F., Kuksova V. I. Osobennosti terroristicheskikh ugroz dlya kriticheski vazhnyh ob"ektov i mery po snizheniyu terroristicheskikh riskov [Features of terrorist threats to critical infrastructure and measures to reduce terrorist risks]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. Nauchnyj informacionnyj sbornik* [Issues of Safety and Emergency Situations. Scientific and information collection], 2019, no. 6, pp. 87–103. (In Russ.).
  16. Olejnik A. G., Lomov P. A. Razrabotka ontologii integrirovannogo prostranstva znaniy [Development of integrated knowledge space ontology]. *Ontologiya proektirovaniya* [Design Ontology], 2016, vol. 6, no. 4 (22), pp. 465–474. (In Russ.). DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-465-474
  17. Lomov P. A., Olejnik A. G. Razrabotka tekhnologii proverki i soglasovaniya normativno-pravovoj bazy na osnove ontologij [Development of technology for verification and coordination of the regulatory ontology-based framework]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 63, no. 2, pp. 62–69. (In Russ.).
  18. Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i utverzhdeniya perechnya kriticheski vazhnyh ob"ektov Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 24.06.2021 g. No. 981. (In Russ.). Available at: <http://government.ru/docs/all/135153/>.

#### **Информация об авторах**

**С. Ю. Яковлев** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
**А. С. Шемякин** — младший научный сотрудник;  
**А. Г. Олейник** — доктор технических наук, главный научный сотрудник.

#### **Information about the authors**

**S. Yu. Yakovlev** — Candidate of Science (Tech.), Senior Researcher;  
**A. S. Shemyakin** — Junior Researcher;  
**A. G. Oleynik** — Doctor of Science (Tech.), Chief Researcher.

Статья поступила в редакцию 14.10.2022; одобрена после рецензирования 01.11.2022; принята к публикации 07.11.2022.  
The article was submitted 14.10.2022; approved after reviewing 01.11.2022; accepted for publication 07.11.2022.

Научная статья  
УДК 622.27  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.009

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**Олег Владимирович Белогородцев<sup>1</sup>**, **Григорий Олегович Наговицын<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

<sup>1</sup>[o.belogorodcev@ksc.ru](mailto:o.belogorodcev@ksc.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4358-7046>

<sup>2</sup>[g.nagovitsyn@ksc.ru](mailto:g.nagovitsyn@ksc.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4671-540X>

### Аннотация

На примере результатов поисково-оценочных работ и компьютерного моделирования объектов открыто-подземной геотехнологии определены первоочередные задачи и их практическое решение на стадии предпроектного исследования рудного месторождения для целесообразности его вскрытия и отработки запасов. В среде горно-геологической информационной системы (ГГИС) MINEFRAME создана цифровая геологическая модель рудного месторождения, в том числе каркасная и блочная. Произведен автоматизированный анализ горно-геологических условий залегания рудного месторождения с подсчетом балансовых и забалансовых запасов. Определены параметры и границы предохранительного целика под охраняемыми водными объектами на земной поверхности, создана его цифровая модель и подсчитаны рудные запасы в его пределах. Рассчитана годовая производственная мощность и срок отработки первой очереди строительства при отработке рудных запасов подземными горными работами. На основе анализа мощности налегающих пород над рудным месторождением и рельефа топоверхности выявлены рациональные места заложения основных вскрывающих подземных горных выработок на земной поверхности. В ГГИС MINEFRAME создана цифровая схема вскрытия и подготовки запасов к очистной выемке. Объем строительства горно-капитальных выработок определен с помощью автоматизированного модуля планирования горных работ. Для обеспечения безопасной и комфортной среды при ведении подземных горных работ в условиях Крайнего Севера и отработке запасов системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород определена необходимость создания предохранительной и термоизоляционной подушки.

### Ключевые слова:

месторождение, вскрытие и отработка запасов, система разработки, породная подушка, горно-геологическая информационная система, компьютерное моделирование, автоматизация, MINEFRAME

### Благодарности:

статья выполнена по теме государственного задания FMEZ-2022-0005 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Для цитирования:

Белогородцев О. В., Наговицын Г. О. Моделирование отработки запасов рудного месторождения в условиях Крайнего Севера // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 103–110. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.009

Original article

## MODELING OF AN ORE DEPOSIT DEVELOPMENT UNDER THE FAR NORTH CONDITIONS

**Oleg V. Belogorodtsev<sup>1</sup>**, **Grigory O. Nagovitsyn<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

<sup>1</sup>[o.belogorodcev@ksc.ru](mailto:o.belogorodcev@ksc.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4358-7046>

<sup>2</sup>[g.nagovitsyn@ksc.ru](mailto:g.nagovitsyn@ksc.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4671-540X>

### Abstract

The article presents a solution to the practical problem of ore deposit opening-up and mining. A digital geological model of the ore deposit was created in the mining and geological information system (MGIS) MINEFRAME. The authors carried out an automated analysis of mining and geological conditions of the deposit and calculated balance and off-balance reserves. Parameters and boundaries of a protective pillar under protected surface water objects were determined; its digital model was created and ore reserves within its limits were calculated. The annual production capacity and the mining period of the first stage of underground mining of deposit area were calculated. Based on the analysis of the thickness of the overlying rocks above the ore deposit and surface, rational locations for the main underground mine openings on the surface were identified. The authors created a digital scheme of opening-up and reserves preparation for stope excavation in MGIS MINEFRAME. The construction volume of mine workings was defined using an automated mining planning module. To ensure safe and comfortable environment when conducting underground mining under the Far North conditions with caving of ore and host rocks the authors determined the need to create a safety and thermal insulating pillar.

**Keywords:**

ore deposit, opening-up, mining method, pillar, mining and geological information system, computer modelling, automation, MINEFRAME

**Acknowledgments:**

the article was written on the topic of state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FMEZ-2022-0005.

**For citation:**

Belogorodtsev O. V., Nagovitsyn G. O. Modeling of an ore deposit development under the Far North conditions // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 103–110. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.009

**Введение**

Мировая потребность в минеральных ресурсах постоянно увеличивается, что заставляет горнорудные предприятия рассматривать варианты вовлечения в разработку руд с более низким содержанием полезных компонентов на новых или действующих рудниках. Таким образом, приоритетное значение имеет реализация технологических решений, позволяющих снизить себестоимость добычи руды.

В настоящее время происходит изменение соотношения объемов открытой и подземной добычи (с увеличением последней). Это связано с тем, что для поддержания сырьевой базы возникает необходимость вовлечения в отработку запасов рудных месторождений на глубине до 1000 м и более от дневной поверхности [1]. В связи с этим нередко информация о поисково-оценочных работах, проведенных до внедрения ГГИС на ранее разведанном месторождении, содержится на бумажных носителях и растровых изображениях, следовательно, возникает необходимость ее цифровизации для оперативного решения инженерных задач.

С этой целью на примере рудного месторождения в Горном институте Кольского научного центра Российской академии наук, следуя мировому тренду применения в горном деле современных программных средств [2–6], в ГГИС MINEFRAME с помощью программного инструментария создана цифровая компьютерная 3D-модель рудных тел и объектов подземно-открытой геотехнологии для выбора рациональной технологии отработки первой очереди отработки запасов подземными горными работами.

**Цифровая 3D-модель рудного месторождения**

Каркасное моделирование рудных тел месторождения выполнялось в следующей последовательности: формирование базы данных опробования скважин; оконтуривание рудных тел на вертикальных разрезах (профилях) и по плану блокировки запасов месторождения; построение каркасных моделей на основе векторных моделей оконтуренных рудных тел.

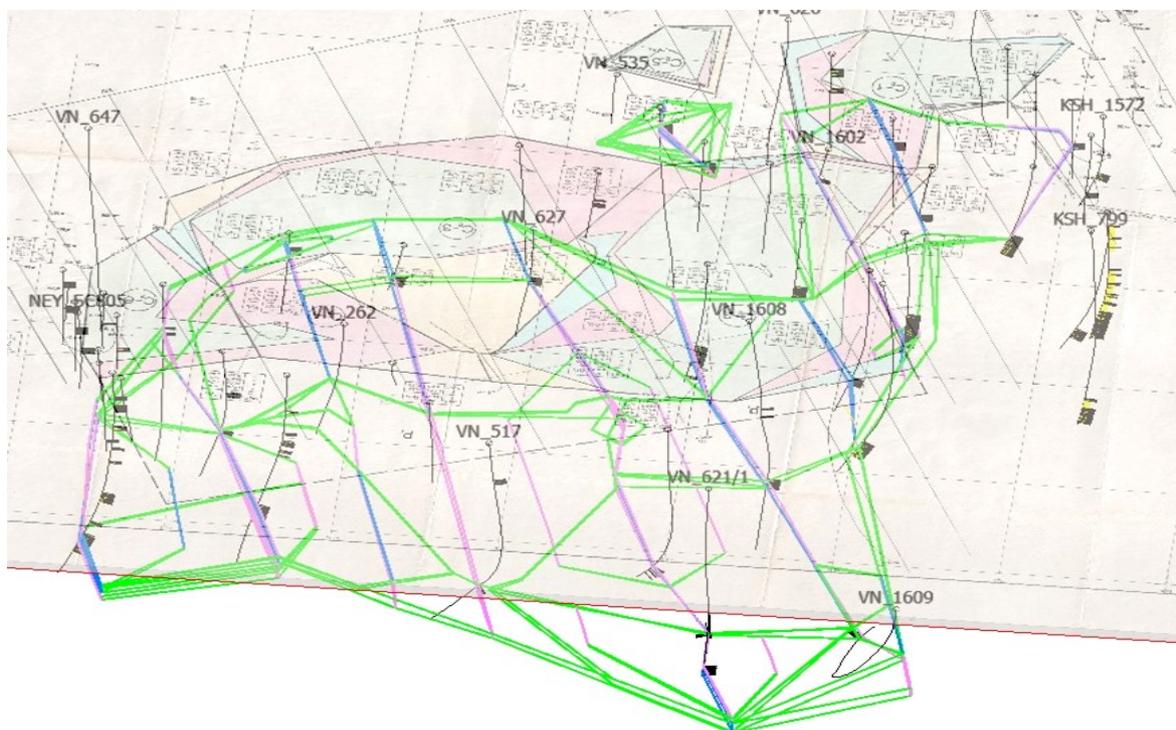
Исходные данные были преобразованы в таблицы Excel. Для импорта исходных данных по скважинам в ГГИС MINEFRAME были сформированы три основных типа файлов, характеризующих необходимую структуру вводимой информации: устья — созданные поля: номер скважины, X, Y, Z, глубина, профиль; инклинометрия — созданные поля: номер скважины, глубина, азимут, угол; опробование — созданные поля: номер скважины, номер пробы, от, до, длина, содержание полезных компонентов.

Все полученные в результате импорта данные легли в основу 3D-моделирования геологических параметров рудной залежи.

Основой для оконтуривания запасов на вертикальных разрезах стали контуры, показанные на геологических разрезах и профилях. Базовые контуры были представлены в файле растрового формата. Данные включали в себя геологическое строение, литологию месторождения и принадлежности к категории по степени разведанности.

При оконтуривании в трехмерной среде ГГИС MINEFRAME учитывалось пространственное положение скважин, линии контактов рудных тел проводились с привязкой точек контуров к границам краевых рядовых проб, составляющих кондиционные рудные интервалы. Это позволило учесть трехмерное положение данных опробования, а не их проекцию на плоскость разреза. В остальном форма и площадь полученных контуров получились практически идентичными тем, что использовались при ручном подсчете запасов. Оконтуривание произведено по 11 вертикальным профилям.

Из-за достаточно сложного расположения разведочных скважин в пространстве создать каркасную модель, позволяющую полностью учитывать трехмерное положение скважин и получать корректные оценки объемов, основываясь только на вертикальных разрезах, весьма сложно. Поэтому дополнительно было произведено оконтуривание на плане блокировки запасов, что позволило наиболее точно учесть границы рудных тел и приблизиться к их истинной геометрической форме (рис. 1).



**Рис. 1.** Оконтуривание рудных тел по плану подсчета запасов

Для построения каркасных моделей рудных тел были использованы векторные модели оконтуривания запасов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Для получения наиболее реалистичной поверхности применялся метод Кунса, который обеспечивает формирование поверхностей с учетом контактов, принадлежащих разной системе разрезов. Поверхность, полученная таким способом моделирования, является более гладкой, плавной, детальной, что делает ее схожей с реальными поверхностями (рис. 2).

### **Автоматизированный анализ горно-геологических условий залегания и подсчет запасов рудного месторождения**

На основе геологической каркасно-блочной цифровой модели рудного месторождения и программного инструмента ГГИС MINEFRAME — автоматизированного анализа горно-геологических условий залегания рудных тел — определены условия залегания (нормальная и горизонтальная мощности, углы падения в лежачем и висячем боках), распределение полезных компонентов в рудных телах месторождения, а также выполнен подсчет запасов (рис. 3).

Геологические запасы рудного месторождения, оконтуренные по бортовому содержанию  $n_i$  %, — 67,0 млн м<sup>3</sup>, или 201,0 млн тонн; среднее содержание полезного компонента при бортовом содержании  $n_i$  % — 6,05 %; средняя горизонтальная мощность рудных тел, оконтуренных по бортовому содержанию  $n_i$  %, равна 32 м; средняя нормальная мощность рудных тел, оконтуренных по бортовому содержанию  $n_i$  %, равна 17 м; средний угол падения лежачего бока рудных тел, оконтуренных по бортовому содержанию  $n_i$  %, равен 43 °; средний угол падения висячего бока рудных тел, оконтуренных по бортовому содержанию  $n_i$  %, равен 38 °.

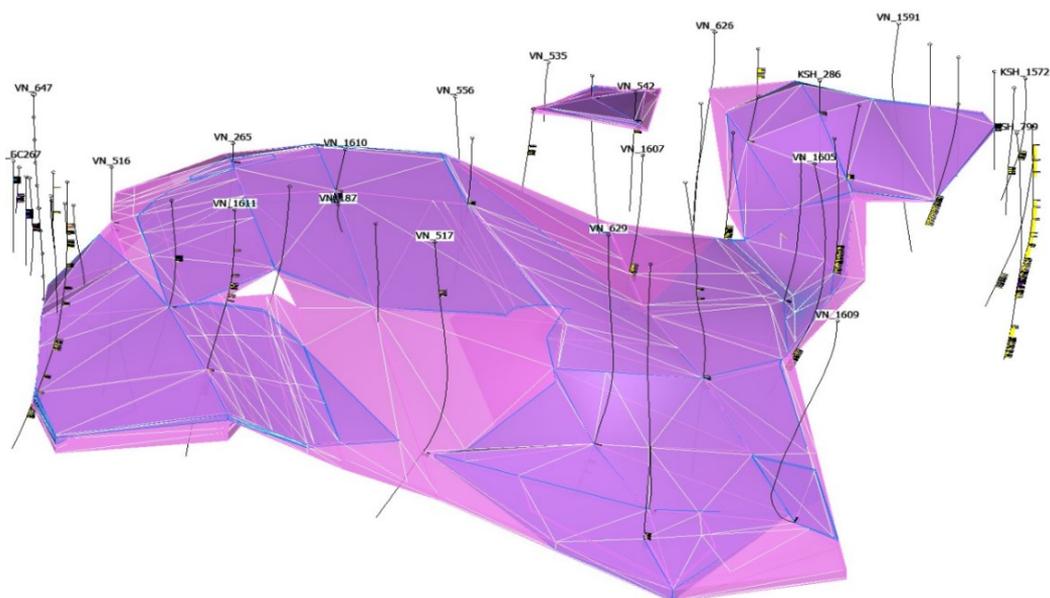


Рис. 2. Каркасная модель рудных тел рудного месторождения

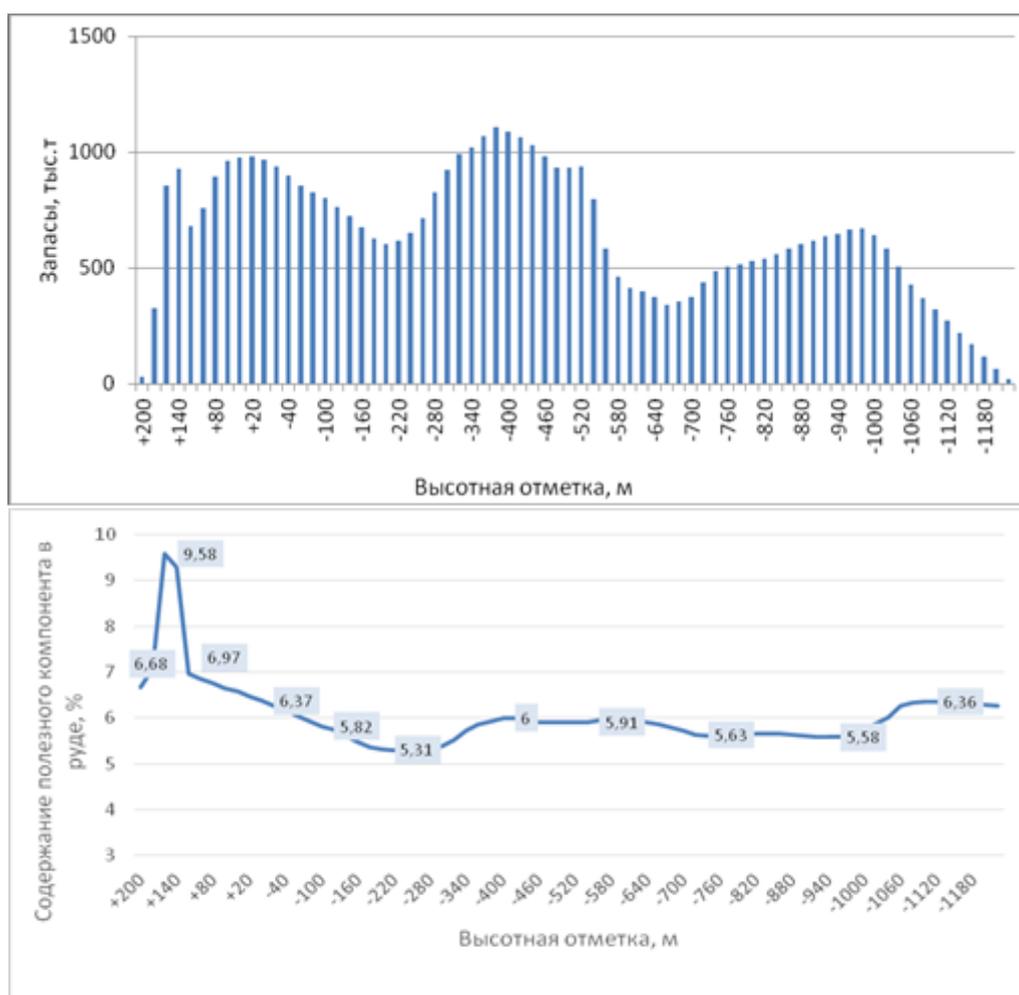


Рис. 3. Распределение запасов и полезных компонентов в пределах рудного месторождения

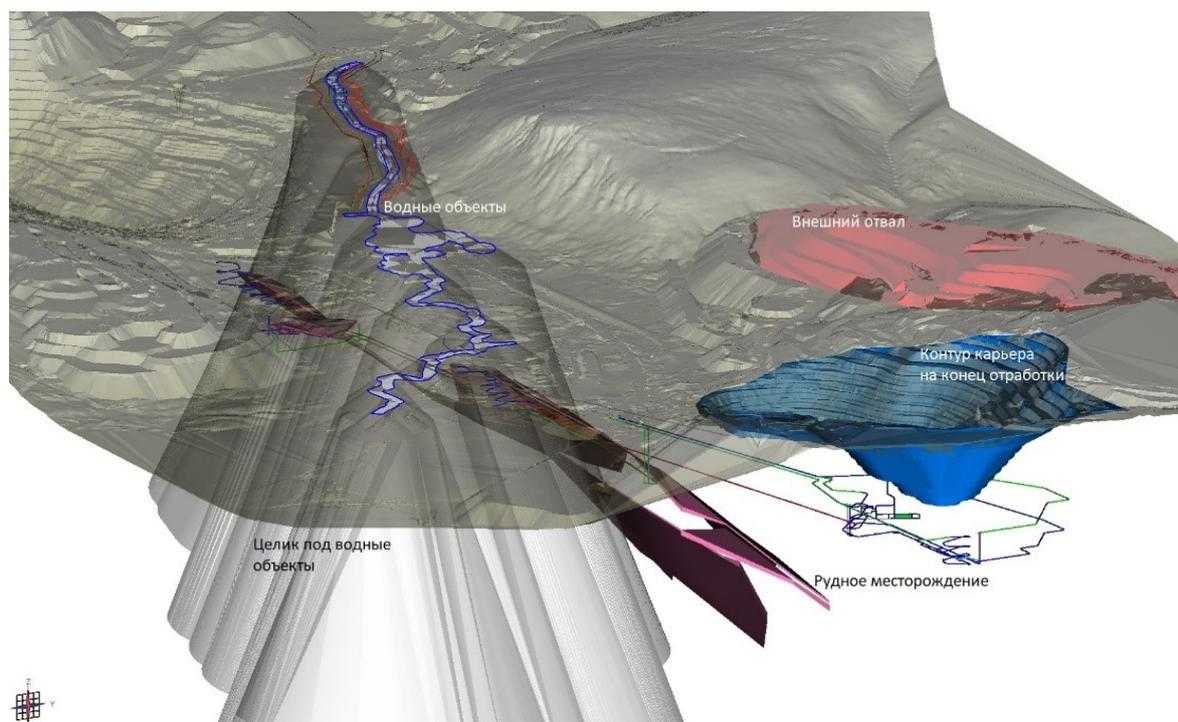
Расхождение в результатах подсчета геологических запасов, проведенного в период поисково-оценочных работ (зафиксированных на бумажных носителях) и в пределах цифровой геологической модели, созданной в среде ГГИС, составило около 4 %.

### Моделирование предохранительного целика под водными объектами на земной поверхности

Участок отработки запасов рудного месторождения приурочен к бассейну реки на земной поверхности, в котором выделены два водоносных комплекса: четвертичных отложений и трещиноватых кристаллических пород. По результатам гидрогеологических работ выявлены сложные гидрогеологические условия участка, заключающиеся в большой мощности четвертичных отложений, содержащих безнапорный и напорный водоносные горизонты, наличии напорного горизонта жильных вод в коренных породах. Четвертичные отложения в бассейне реки имеют значительное распространение до 80 м.

Отработка запасов рудного месторождения подземными горными работами повлечет необходимость создания предохранительного целика под водными объектами на земной поверхности, необходимого для исключения их подработки и затопления мульды сдвижения горных пород.

Построение границ предохранительного целика в ГГИС MINEFRAME (рис. 4) произведено с учетом угла сдвижения горных пород в обводненных четвертичных отложениях (наносах)  $35^\circ$  [7; Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1988], мощности обводненных четвертичных отложений (наносов) 80 м, угла сдвижения коренных пород  $70^\circ$  [7], мощности скальных пород до 1140 м, ширины предохранительной бермы у водных объектов 20 м.



**Рис. 4.** Моделирование предохранительного целика под водными объектами, расположенными на земной поверхности, в районе рудного месторождения

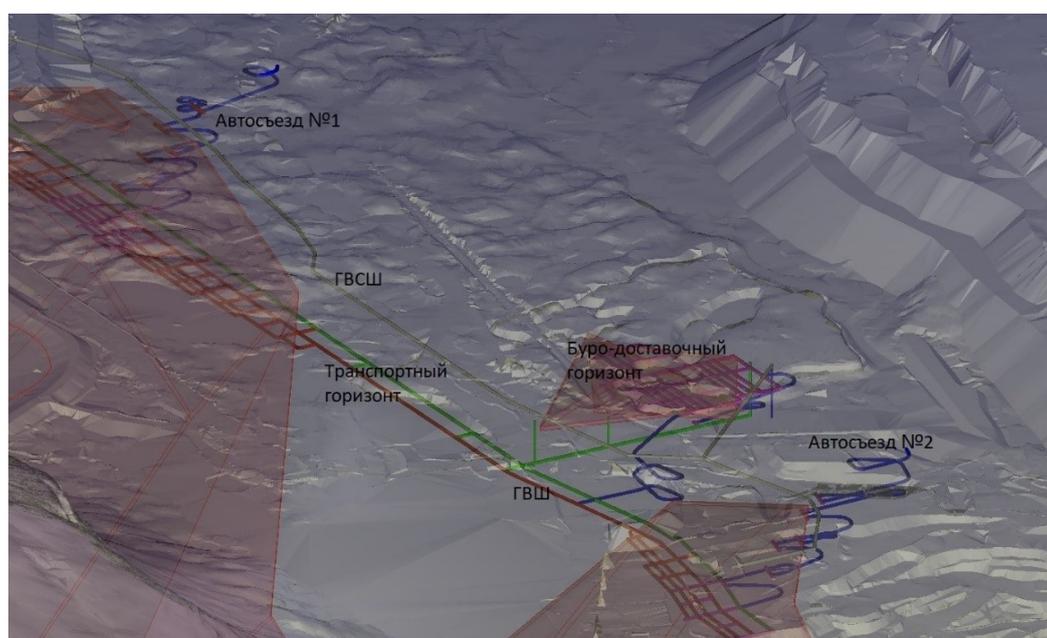
Геологические запасы рудного месторождения в пределах предохранительного целика под руслом водных объектов (река и прилегающие мелкие озера), околтуренные по бортовому содержанию  $n_i$  %, составляют 35500 тыс. тонн (17,7 % от общих запасов) со средним содержанием полезного компонента 6,03 %.

### **Моделирование схемы вскрытия и подготовки при отработке запасов подземными горными работами**

Вскрытие и подготовку к разработке запасов рудного месторождения системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород представляется возможным осуществить в период отработки прибортовых и подкарьерных близлежащего карьера, находящегося в стадии завершения открытых горных работ, и с учетом месторасположения поверхностного комплекса сооружений на земной поверхности.

Для ускорения ввода в эксплуатацию запасов рудного месторождения и снижения объемов горно-капитального строительства при вскрытии и подготовке подземных запасов первой очереди строительства предусматривается задействовать существующие объекты на земной поверхности и горные выработки подземного рудника, разрабатывающего близлежащее рудное месторождение.

Исследуемое рудное месторождение на всем своем протяжении не имеет выхода на земную поверхность, а также в выработанное пространство близлежащего карьера. При моделировании схемы вскрытия первой очереди строительства предусматривается, что транспортировка горной массы на земную поверхность осуществляется по двум транспортным автосъездам, пройденным с земной поверхности (рис. 5). Порталы транспортных автосъездов размещаются в местах с наименьшей мощностью покрывающих горных пород над рудным месторождением, а также с учетом границы зоны ожидаемых сдвижений земной поверхности при ведении подземных горных работ. Объем строительства горно-капитальных и первоочередных подготовительных горных выработок определяется с помощью автоматизированного модуля планирования горных работ в ГГИС MINEFRAME.



**Рис. 5.** Моделирование принципиальной схемы вскрытия и подготовки подземных запасов

Согласно проведенным расчетам, с учетом законсервированных запасов в предохранительном целике под руслом водных объектов на земной поверхности, годовая производственная мощность по добыче руды первой очереди отработки запасов подземными горными работами составит 450 тыс. т / год.

### **Покрывающая породная подушка при ведении подземных горных работ**

Для обеспечения безопасной и комфортной среды при ведении подземных горных работ в условиях Крайнего Севера и отработке запасов системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород на основании ранее проведенных исследований [8–10] определена необходимая мощность предохранительной и термоизоляционной подушки. Параллельно велась работа по моделированию увеличения объема внешнего отвала при ведении открытых горных работ на конец отработки близлежащего карьера и оценка его влияния на формирование породной подушки.

При проведении анализа мощности покрывающих пород выявлялись участки с дефицитом мощности покрывающих пород или его отсутствием в районе ведения очистных работ подземными горными работами.

Учитывались следующие факторы: 1) высотная отметка ближайшего подэтажа к земной поверхности, на котором планируется производить выпуск рудной массы; 2) фактическое состояние топоповерхности и планируемое положение зоны обрушения поверхности при ведении подземных горных работ; 3) средняя высота выпускаемого слоя рудной массы при отработке запасов рудной залежи ближайшего подэтажа к земной поверхности; 4) фактическая мощность покрывающих горных пород над рудной залежью.

В результате проведенных расчетов определено: 1) фактической мощности обрушаемых налегающих пород при отработке запасов рудного месторождения с применением системы разработки с принудительным обрушением руды и вмещающих пород достаточно для создания комфортных условий для более полного извлечения запасов и обеспечения безопасности ведения подземных горных работ; 2) дополнительного формирования на земной поверхности породной подушки в виде породного отвала не требуется.

### Заключение

По результатам выполненной работы можно отметить следующее.

1. Использование цифрового моделирования обеспечило в сжатые сроки рассмотрение нескольких сценариев отработки сложных в геологическом отношении участков рудного месторождения.

2. Инструменты автоматизированной оценки объемов, привязанные к моделям горных выработок, существенно упростили процедуру предварительной оценки стоимости подземного строительства горных выработок на стадии вскрытия и подготовки при подземной отработке запасов.

3. Использование ГГИС MINEFRAME показало эффективность применения данного программного продукта для инвестиционной оценки целесообразности освоения рудных месторождений.

### Список источников

1. Лукичев С. В., Козырев А. А., Семенова И. Э., Белгородцев О. В., Аветисян И. М., Хомкин Е. Е. Научное обоснование перспективной отработки апатит-нефелиновых руд на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. № 2. С. 5–13.
2. Günther F., Mischo H., Lösch R., Grehl S., Güth F. Increased safety in deep mining with IoT and autonomous robots // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019. Wroclaw, Poland. 2019. P. 603–611.
3. Dyson N. Syama's automation surge. URL: [www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1387604/syama's-automation-surge/](http://www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1387604/syama's-automation-surge/) (дата обращения: 06.09.2021).
4. Huang L., Balamurali M., Silversides K. L. Machine learning classification of geochemical and geophysical data // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019. Wroclaw, Poland. 2019. P. 101–105.
5. Avalos S., Ortiz J. M. Recursive convolutional neural networks in a multiple-point statistics framework // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019. Wroclaw, Poland. 2019. P. 168–176.
6. Feng S., Ding E. Designing top layer in Internet of Things for underground mines // Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019. Wroclaw, Poland. 2019. P. 695–702.
7. Орлов Г. В. Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки. М.: Горная книга, 2010. 198 с.
8. Насибулин Н. Н. Обоснование параметров предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов системами с обрушением: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. С. 37–46.
9. Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Никитин И. В., Тишков М. В. Обоснование толщины предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» системами с обрушением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 2. С. 52–62.

10. Lukichev S., Belogorodtsev O., Amosov P. Improvement of a mining technology for nearopen-pit reserves excavation in the northern conditions // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, № 13. P. 415–422. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.053

## References

1. Lukichev S. V., Kozyrev A. A., Semenova I. E., Belogorodtsev O. V., Avetisyan I. M., Khomkin E. E. Nauchnoe obosnovanie perspektivnoj otrabotki apatit-nefelinovyh rud na bol'shikh glubinah v slozhnyh gorno-geologicheskikh usloviyah [Scientific substantiation of promising mining of apatite-nepheline ores at great depths in complex mining and geological conditions]. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Bulletin of Kola Scientific Center of RAS], 2019, no. 2, pp. 5–13. (In Russ.).
2. Günther F., Mischo H., Lösch R., Grehl S., Güth F. Increased safety in deep mining with IoT and autonomous robots. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019*. Wroclaw, Poland, 2019, pp. 603–611.
3. Dyson N. Syama's automation surge. *Mining Magazine*. Available at: [www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1387604/syama's-automation-surge/](http://www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1387604/syama's-automation-surge/) (accessed 06.09.2021).
4. Huang L., Balamurali M., Silversides K. L. Machine learning classification of geochemical and geophysical data. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019*. Wroclaw, Poland, 2019, pp. 101–105.
5. Avalos S., Ortiz J.M. Recursive convolutional neural networks in a multiple-point statistics framework. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019*. Wroclaw, Poland, 2019, pp. 168–176.
6. Feng S., Ding E. Designing top layer in Internet of Things for underground mines. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 39th International Symposium APCOM 2019*. Wroclaw, Poland, 2019, pp. 695–702.
7. Orlov G. V. *Sdvizhenie gornyh porod i zemnoj poverhnosti pod vliyaniem podzemnoj razrabotki* [Shift of rocks and the earth's surface under the influence of underground mining]. Moscow, Gornaya kniga, 2010, 198 p. (In Russ.).
8. Nasibulin N. N. *Obosnovanie parametrov predohranitel'noj podushki pri otrabotke podkar'ernyh zapasov sistemami s obrusheniem: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification of parameters of a safety cushion when mining under-coarse reserves by caving systems. PhD (Engineering) dis.]. Moscow, 2005, pp. 37–46.
9. Sokolov I. V., Smirnov A. A., Antipin Y. G., Nikitin I. V., Tishkov M. V. Obosnovanie tolshchiny predohranitel'noj podushki pri otrabotke podkar'ernyh zapasov trubki "Udachnaya" sistemami s obrusheniem [Substantiation of protective cushion thickness in mining under open pit bottom with the caving methods at Udachnaya pipe]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh* [Journal of Mining Science], 2018, vol. 54, no. 2, pp. 226–236.
10. Lukichev S., Belogorodtsev O., Amosov P. Improvement of a mining technology for nearopen-pit reserves excavation in the northern conditions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2017, vol. 17, no. 13, pp. 415–422. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.053

## Информация об авторах

**О. В. Белгородцев** — научный сотрудник;  
**Г. О. Наговицын** — научный сотрудник.

## Information about the authors

**O. V. Belogorodtsev** — Researcher;  
**G. O. Nagovitsyn** — Researcher.

Статья поступила в редакцию 14.10.2022; одобрена после рецензирования 29.10.2022; принята к публикации 08.11.2022.  
The article was submitted 14.10.2022; approved after reviewing 29.10.2022; accepted for publication 08.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.832, 622.2  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.010

## ДВА МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

**Юрий Андреевич Олейник<sup>1✉</sup>, Александр Анатольевич Зуенко<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> *Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*yoleynik@iimm.ru*<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6817-2496>

<sup>2</sup>*zuenko@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

### Аннотация

Приведена общая постановка задачи планирования открытых горных работ, описанной в виде трехмерной блочной модели и набора требований к плану, произведен краткий обзор двух основных методов ее решения и описаны основные положительные и отрицательные стороны этих методов.

### Ключевые слова:

линейное целочисленное программирование, удовлетворение ограничений, планирование, открытые горные работы, программирование в ограничениях

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Олейник Ю. А., Зуенко А. А. Два метода решения задачи планирования открытых горных работ // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 111–115. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.010

Original article

## TWO METHODS FOR SOLVING OPEN PIT MINE SCHEDULING PROBLEM

**Yurii A. Oleynik<sup>1✉</sup>, Alexander A. Zuenko<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> *Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*yoleynik@iimm.ru*<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6817-2496>

<sup>2</sup>*zuenko@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

### Abstract

The article provides a general formulation of the open pit mining scheduling problem, described in the form of a three-dimensional block model and a set of requirements for the schedule. A brief overview of the two main methods for solving it as well as the main positive and negative aspects of these methods are given.

### Keywords:

integer linear programming, constraint satisfaction, scheduling, open-pit mining, constraint programming

### Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic "Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data" (registration number of the research topic 122022800551-0).

### For citation:

Oleynik Y. A., Zuenko A. A. Methods for solving open pit mine scheduling problem // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 111–115. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.010

## Введение

Планирование открытых горных работ является производственной задачей, направленной на оптимизацию затрат и прибыли при добыче полезных ископаемых открытым способом, в рамках которой должны быть учтены такие параметры, как: производительность добывающего и обрабатывающего оборудования, технические требования по конфигурации разрабатываемого карьера (нормативы по углам наклона бортов, размеров площадок и т. д.) и сроки выполнения работ [1–4]. Актуальность задачи обусловлена распространенностью такого вида добычи полезных ископаемых, а также масштабностью таких работ, когда даже незначительная оптимизация процесса планирования может принести существенную выгоду.

В рассматриваемых методах задача представлена в виде трехмерной блочной модели и набора ограничений на порядок добычи блоков. Для каждого блока также рассчитывается выгода от его добычи на основании рудного состава блока, а также временного периода (для определенности будем называть его годом), когда он извлекается.

## Общая постановка задачи планирования открытых горных работ

Основой постановки задачи планирования открытых горных работ является блочная модель разрабатываемого карьера. Блочная модель ( $B$ ) описывает горные породы, планируемые к извлечению за заданное количество лет ( $T$ ), разбитые на одинаковые блоки ( $b_i \in B$ ). Каждый блок обладает набором свойств, таких как координаты, вес, процент содержания полезного ископаемого, а также выгода ( $C_i$ ) от его добычи. Параметр выгоды добычи рассчитывается из веса блока, доли полезного ископаемого в нем и зависит от года добычи. Блоки условно делятся на рудные, где доля полезного ископаемого достаточна для получения выгоды от добычи блока с учетом затрат на работы по его извлечению ( $C_i > 0$ ), и вскрышные, где доля полезного ископаемого низка. Выгода от добычи таких блоков является неположительным ( $C_i \leq 0$ ) значением, однако необходимость извлечения таких блоков обусловлена ограничениями задачи.

Помимо блочной модели для решения задачи необходимо учитывать ряд ограничений, описывающих особенности работ по разработке карьера. К таким ограничениям относятся ограничения на порядок извлечения блоков: для извлечения какого-то определенного блока необходимо, чтобы некоторые другие блоки были извлечены в тот же год или ранее. В эти ограничения закладываются технологические требования по проведению горных работ, такие как допустимые по технике безопасности углы уклона карьера, размеры технологических площадок и т. д.

Также в задаче учитываются производственные мощности задействованного оборудования. Поскольку в разработке карьера участвует определенное количество техники с известной производительностью, то в каждый год из блочной модели не может быть извлечено блоков больше, чем позволяют возможности добывающей техники ( $A_{\max,t}, t \in \{1 \dots T\}$ ), но и должна быть обеспечена какая-то минимальная производительность ( $A_{\min,t}, t \in \{1 \dots T\}$ ), то есть  $A_{\min,t} \leq |B_t| \leq A_{\max,t}$ , где  $|B_t|$  — общее количество блоков, извлеченных за год  $t$ . Кроме того, добытые полезные ископаемые в дальнейшем отправляются на обработку (обогащение) на соответствующие предприятия, которые тоже обладают своей мощностью ( $O_{\max,t}, O_{\min,t}, t \in \{1 \dots T\}$ ), что также отражается в ограничениях на количество добываемых рудных блоков в год ( $O_{\min,t} \leq |B_{ct}| \leq O_{\max,t}$ , где  $|B_{ct}|$  — общее количество рудных блоков, извлеченных за год  $t$ ).

Решением задачи служит назначение каждому блоку модели номера года ( $t \in \{1 \dots T\}$ ), в который данный блок планируется изъять из карьера. Стоимостью решения (целевой функцией) является сумма значений выгоды для каждого блока, рассчитанных с учетом назначенного номера года ( $\sum C_i$ ).

Так выглядит общая упрощенная постановка задачи планирования открытых горных работ. Существуют различные ее модификации: с возможностью складирования добытых излишков, планирование работ на нескольких карьерах одновременно либо разработка карьера с несколькими видами полезных ископаемых, однако в рамках данной статьи такие постановки не рассматриваются.

Далее описываются две группы методов, применяемые при решении данной задачи: методы целочисленного линейного программирования и методы удовлетворения ограничений.

## Методы целочисленного линейного программирования

Приведем один из вариантов формализации задачи для ее решения методами целочисленного линейного программирования, как это предложено в [5].

Для каждого блока  $i$  создается набор переменных  $X_{ij} \in \{0,1\}$ , где  $j \in \{1 \dots T\}$ .  $X_{ij} = 1$  обозначает, что блок  $i$  добыт в год  $j$ .

Для гарантии добычи блока только в один год вводится дополнительное ограничение  $\sum_{j=1}^T X_{ij} = 1$ .

Выгода от добычи каждого блока  $i$  в определенный год задается явно, образуя множество конкретных значений  $C_{ij}$ , где  $j \in \{1 \dots T\}$ .

Целевая функция с учетом вышенаписанного представляется теперь как  $\sum \sum (X_{ij} \times C_{ij})$ .

Ограничения на объемы добычи принимают вид:

$$A_{\min_t} \leq \sum X_{ij} \leq A_{\max_t}, \text{ где } j = t, t \in \{1 \dots T\}$$
$$(O_{\min_t} \leq \sum X_{ij} \leq O_{\max_t}, \text{ где } j = t, C_{ij} > 0, t \in \{1 \dots T\}).$$

Ограничения же на порядок добычи в таком представлении разворачиваются во множество линейных уравнений вида:  $0 \leq (\sum_{k=1}^t X_{pk} - X_{it}) \leq 1$ , для  $t \in \{1 \dots T\}$ , где  $p$  — индекс блока, который нужно извлечь перед блоком  $i$ .

В таком представлении задачи эффективно решаются линейными решателями, но для достаточно малых размерностей. Проблема такого представления заключается в том, что для кодирования ограничений на последовательность извлечения для каждой пары блоков строится  $T$  линейных уравнений. Однако для корректного описания технологических ограничений добычи каждому блоку нужно задать множество блоков, расположенных относительно рассматриваемого в определенной конфигурации (шаблон добычи). Так, например, для простейшего шаблона из 5 блоков на 5 лет планирования ограничение на порядок добычи породит в среднем 20 линейных уравнений на каждый блок, что при размерности задачи в 5000 блоков, даст уже 100000 уравнений только для описания одной части задачи. С увеличением размерности задачи, количества лет планирования и сложности шаблона добычи только хранение порожденных линейных уравнений в памяти уже представляет некоторую трудность, не говоря уже об их расчете.

Авторами проводились расчеты задачи в таком представлении на тестовой машине с объемом оперативной памяти 32 ГБ с помощью свободно распространяемого программного обеспечения (MiniZinc, Google OR tools). Машинных ресурсов не хватало уже для расчета задачи размерностью 2000 блоков. С примером решения схожей задачи методами целочисленного линейного программирования в усовершенствованном представлении и с помощью коммерческого решателя (IBM-Cplex) можно ознакомиться в [1], где на схожей по параметрам тестовой машине для размерности уже порядка 20000 блоков не было получено ни одного решения за 48 часов расчетов.

## Методы удовлетворения ограничений

Общая постановка задачи достаточно легко преобразуется в задачу удовлетворения ограничений. Напомним, что для постановки задачи удовлетворения ограничений необходимо определить три множества [6]: множество переменных — это в нашем случае множество блоков  $B$ ; множество доменов переменных — доменами каждой переменной из  $B$  являются множества  $\{1 \dots T\}$  и множество ограничений, которое также достаточно подробно описано в общей постановке задачи, но требует формализации средствами программирования в ограничениях.

В отличие от предыдущего метода, где процесс решения задачи заключается в решении множества линейных уравнений, в методе удовлетворения ограничений поиск решения представляет собой сокращение пространства поиска специализированными алгоритмами-распространителями. Данные алгоритмы жестко привязаны к конкретным ограничениям и на основе анализа доменов участвующих в соответствующих ограничениях переменных удаляют из этих доменов значения, которые точно не могут быть частью решения. Разные ограничения имеют разные по эффективности распространители. Кроме того, одни и те же зависимости часто можно описать разным набором ограничений. Таким образом, от выбора конкретных ограничений для описания задачи существенным образом зависит эффективность ее решения.

В общем случае процесс решения задачи методом удовлетворения ограничений можно представить в виде попеременной работы алгоритмов двух типов: распространителей и ветвителей. Распространители, как было описано ранее, жестко привязаны к ограничениям и сокращают домены участвующих в них переменных. При этом, если домен какой-либо переменной сократился в результате работы одного из распространителей, то будут повторно вызваны распространители всех других ограничений, где участвует данная переменная. Так будет продолжаться, пока не случится одна из следующих ситуаций: 1) домены всех переменных сокращены до единственного значения — найдено решение задачи; 2) домены всех переменных перестали меняться — достигнута неподвижная точка, для продолжения решения требуется ветвление, то есть разбиение пространства поиска на части и исследование каждой из частей отдельно; 3) домен какой-либо переменной оказался пуст (из него удалены все значения) — найдено противоречие, то есть решения в данной части пространства поиска нет, нужно перейти к другой его части, то есть откатиться к последней точке ветвления.

Ветвление осуществляется специализированным алгоритмом и предназначено для продвижения процесса решения путем разбиения пространства поиска на части. Простейший пример ветвления — принудительное присвоение переменной значения из ее домена. Если это в итоге приводит к противоречию, после возврата к этой точке ветвления выбранное значение удаляется из домена переменной для продолжения поиска решения.

Ограничения можно условно разделить на два класса: простые и глобальные. В простых ограничениях заранее известно количество ограничиваемых переменных, например, ограничение  $a < b$  ограничивает домены двух переменных. Глобальные же ограничения описывают зависимости на множестве переменных: например, ограничение  $alldiff(B)$  на множестве переменных  $B$  обязывает все переменные этого множества принимать отличные друг от друга значения, причем количество переменных в  $B$  может быть любым. Чаще всего глобальные ограничения можно заменить множеством простых, но на этапе распространения это приведет к постоянному опросу и запуску множества распространителей при самых незначительных изменениях доменов переменных, что занимает дополнительное машинное время. Кроме того, распространители глобальных ограничений намного эффективнее сокращают домены своих переменных, поскольку им доступно больше информации для анализа. Таким образом, от того, каким именно способом будут представлены ограничения, во многом зависит эффективность процесса решения задачи удовлетворения ограничений.

Как и в методах линейного программирования, ограничения на объемы добычи кодируются достаточно просто: например, их достаточно легко привести к типовому глобальному ограничению *bin-packing*. Основную же трудность представляют ограничения на порядок извлечения блоков. Авторами был проведен ряд исследований на эту тему [7, 8], результатом которых оказалась разработка собственного глобального ограничения для описания всех зависимостей карьера этого типа в одном ограничении. На тестовой машине с 32 ГБ оперативной памяти удалось провести расчет решения для задачи размерностью 82000 блоков, что заняло около получаса, а за 5 часов было построено решение для задачи в 525000 блоков.

## Заключение

Проведен краткий аналитический обзор методов решения задачи планирования открытых горных работ. Сделан вывод о преимуществах методов программирования в ограничениях по сравнению с методами линейного программирования при решении задач, имеющих практический интерес. В методах Mixed Integer Linear Programming используется явное представление зависимостей в форме линейных уравнений и неравенств, что предъявляет повышенные требования к объемам оперативной памяти компьютера и не позволяет решать практически значимые задачи планирования открытых горных работ с требуемым уровнем дискретизации модели, то есть с количеством блоков в несколько сотен тысяч. Кроме того, не все ограничения, возникающие в практических задачах, могут быть тривиальным образом преобразованы в линейные уравнения и неравенства. Методы удовлетворения ограничений подразумевают имплицитное представление зависимостей с помощью механизма глобальных ограничений, что позволяет существенно сократить расход оперативной памяти, необходимой для представления рассматриваемой задачи планирования.

### Список источников

1. Fathollahzadeh K. et al. A mathematical model for open pit mine production scheduling with Grade Engineering and stockpiling // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021. Vol. 31 (4). P. 717–728.
2. Alipour A. et al. An integrated approach to open-pit mines production scheduling // *Resources Policy*. 2022. Vol. 75. 102459.
3. Tolouei K. et al. An optimisation approach for uncertainty-based long-term production scheduling in open-pit mines using meta-heuristic algorithms // *International Journal of Mining Reclamation and Environment*. 2021. Vol. 35. P. 1–26.
4. Alipour A. et al. Production scheduling of open-pit mines using genetic algorithm: a case study // *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 2019. Vol. 15. P. 1–8.
5. Espinoza D. et al. Minelib 2011: A library of open pit production scheduling problems // *Annals of Operations Research*. 2013. Vol. 206 (1). P. 91–114.
6. Russel S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd edition. Prentice Hall, 2010. 1132 p.
7. Zuenko A. et al. A method for solving the open-pit mine production scheduling problem using the constraint programming paradigm // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2060. P. 12–21.
8. Зуенко А. А., Олейник Ю. А., Македонов Р. А. Интеллектуальный поиск точных решений задачи планирования открытых горных работ // *Системы анализа и обработки данных*. 2021. Вып. 3 (83). С. 99–114.

### References

1. Fathollahzadeh K., Mardaneh E., Cigla M., Asad M. A mathematical model for open pit mine production scheduling with Grade Engineering and stockpiling. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2021, vol. 31, no. 4, pp. 717–728.
2. Alipour A., Khodaiari A., Jafari A., Tavakkoli-Moghaddam R. An integrated approach to open-pit mines production scheduling. *Resources Policy*, 2022, vol. 75, 102459.
3. Tolouei K., Moosavi E., Tabrizi A., Afzal P., Bazzazi A. An optimisation approach for uncertainty-based long-term production scheduling in open-pit mines using meta-heuristic algorithms. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, 2021, vol. 35, pp. 1–26.
4. Alipour A., Khodaiari A., Jafari A., Tavakkoli-Moghaddam R. Production scheduling of open-pit mines using genetic algorithm: a case study. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2019, vol. 15, pp. 1–8.
5. Espinoza D., Goycoolea M., Moreno E., Newman A. Minelib 2011: A library of open pit production scheduling problems. *Annals of Operations Research*, 2013, vol. 206, no. 1, pp. 91–114.
6. Russel S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd edition. Prentice Hall, 2010, 1132 p.
7. Zuenko A., Oleynik Y., Makedonov R. A method for solving the open-pit mine production scheduling problem using the constraint programming paradigm. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2060, pp. 12–21.
8. Zuenko A. A., Oleynik Y. A., Makedonov R. A. Intellektual'nyj poisk tochnyh reshenij zadachi planirovaniya otkrytyh gornyh rabot [AI search of the exact solutions of open-pit mine scheduling problem]. *Sistemy analiza i obrabotki dannyh* [Analysis and data processing systems], 2021, vol. 3, no. 83, pp. 99–114.

### Информация об авторах

**Ю. А. Олейник** — младший научный сотрудник;

**А. А. Зуенко** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

### Information about the authors

**Y. A. Oleynik** — Junior Researcher;

**A. A. Zuenko** — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 19.10.2022; одобрена после рецензирования 07.11.2022; принята к публикации 16.11.2022.  
The article was submitted 19.10.2022; approved after reviewing 07.11.2022; accepted for publication 16.11.2022.

Научная статья  
УДК 622.831  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.011

## АРХИТЕКТУРА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО СБОРА РАЗНОРОДНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Анатолий Александрович Козырев<sup>1</sup>**, **Михаил Моисеевич Каган<sup>2</sup>**, **Игорь Георгиевич Панасенко<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Горный Институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

<sup>1</sup>*a.kozyrev@ksc.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-8440-4971>

<sup>2</sup>*m.kagan@ksc.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-7748-3288>

<sup>3</sup>*i.panasenko@ksc.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-1234-4137>

### Аннотация

Рассмотрены особенности организации централизованного удаленного сбора разнородной геофизической информации с шахтных полей горнорудных предприятий. Определена предпочтительная архитектурная реализация системы сбора, проанализированы её существенные особенности, влияющие на надежность функционирования. Изложен и обобщён опыт практической реализации системы, построенной в рамках предложенной архитектуры. На основе опыта эксплуатации реализованной системы определены шаги по её дальнейшему развитию, направленные на повышение гибкости и надёжности работы.

### Ключевые слова:

геомониторинг, геофизика, горное дело, сбор данных, хранение данных, СУБД, интернет

### Для цитирования:

Козырев А. А., Каган М. М., Панасенко И. Г. Архитектура централизованной системы удаленного сбора разнородной геофизической информации // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 116–123. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.011

Original article

## ARCHITECTURE OF THE CENTRALIZED SYSTEM FOR REMOTE COLLECTION OF HETEROGENEOUS GEOPHYSICAL INFORMATION

**Anatoly A. Kozyrev<sup>1</sup>**, **Michail M. Kagan<sup>2</sup>**, **Igor G. Panasenko<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

<sup>1</sup>*a.kozyrev@ksc.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-8440-4971>

<sup>2</sup>*m.kagan@ksc.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-7748-3288>

<sup>3</sup>*i.panasenko@ksc.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-1234-4137>

### Abstract

The article analyses the features of the organization of centralized remote collection of heterogeneous geophysical information from the mine fields of mining enterprises. The authors have determined preferred architectural implementation of the collection system and analyzed its essential features affecting the reliability of functioning. Practical implementation experience of the system built within the framework of the proposed architecture, has been stated and summarized. Based on the operating experience, steps have been identified for its further development aimed at increasing its flexibility and reliability.

### Keywords:

geomonitoring, geophysics, mining, data collection, data storage, DBMS, internet

### For citation:

Kozyrev A. A., Kagan M. M., Panasenko I. G. Architecture of the centralized system for remote collection of heterogeneous geophysical information // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 116–123. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.011

### Введение

Постоянное наблюдение за геофизическими параметрами состояния массива горных пород на горнорудных предприятиях (геомониторинг) позволяет строить всё более точные модели внутреннего устройства массива, выявлять закономерности его поведения и своевременно фиксировать возникновение опасных ситуаций.

## Постановка задачи

Основная задача рассматриваемой системы — максимально надёжный удалённый сбор разнородной геофизической информации.

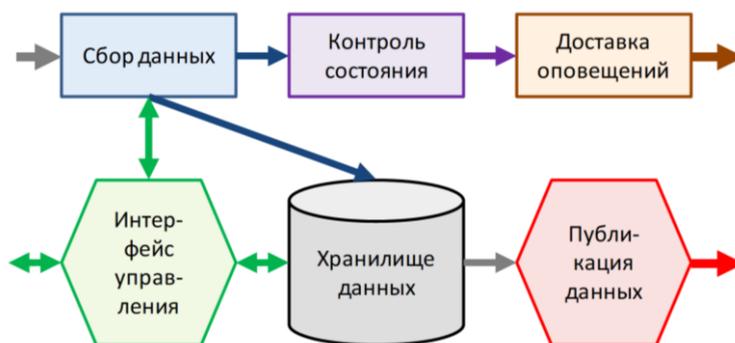
Система включает в себя центр сбора, сохранения и обработки данных и некоторое, достаточно большое число точек наблюдения в шахтных полях рудников, на которых размещена измерительная аппаратура [1].

Существенным фактором, определяющим реализацию системы геомониторинга, является территориальная удалённость точек наблюдения от центра сбора и обработки данных [2–4]. Наименее затратный способ организации дальней связи — использование сети Интернет и протокола TCP/IP. На сегодняшний день наиболее оптимальным вариантом подключения удалённых точек к интернету представляется сотовая связь в силу распространённости услуги, а также минимального объёма организационных и технических затрат. В подземных выработках, где мобильная связь недоступна, для вывода сигналов на поверхность надо использовать проводные линии связи, а на поверхности — подключение к мобильному интернету. Однако такой выбор имеет и свои отрицательные стороны: ограниченную (иногда довольно существенно) полосу пропускания канала передачи данных и заведомо несто процентную надёжность.

## Общие характеристики. Методы и описание

Архитектура системы базируется на объекте регистратор, который представляет собой интеллектуальное устройство, осуществляющее оцифровку аналоговых данных, поступающих с геофизических датчиков, и передачу их через IP-сеть службе сбора данных.

Система функционирует в виде службы на сервере центра сбора, сохранения и обработки данных. Служба представляет собой постоянно работающее приложение и состоит из следующих подсистем: собственно службы сбора данных, монитора состояния аппаратных компонентов, транспорта доставки оповещений, интерфейса публикации данных, пользовательского интерфейса настройки и управления (рис. 1).



**Рис. 1.** Состав и внутренние связи системы. Хранилище данных поддерживается сторонней службой системы управления базами данных

Конфигурационные таблицы, хранилище собранных данных, служба сбора и публикации данных функционируют на сервере центра сбора, сохранения и обработки данных. Сбор геофизических данных ведётся в реальном времени путём регулярного обращения к регистраторам через специализированные драйверы.

В силу разнородности получаемых геофизических данных и специфических особенностей используемых регистраторов, представляется целесообразным выполнять драйверы регистраторов в виде программных объектов, самостоятельно выполняющих большую часть необходимых действий по реализации обмена: инициализацию на основе считывания информации из конфигурационных таблиц, хранящихся на сервере центра сбора; обмен данными с регистратором; сохранение в базах данных результатов запросов на обращение к регистраторам и полученных данных.

Кроме того, драйвер посылает монитору состояния компонентов специальное сообщение, идентифицирующее текущее состояние регистратора.

В рамках такого подхода расширение функциональности системы путём расширения списка поддерживаемого оборудования сводится к составлению формализованного описания типа устройства и написанию драйвера связи (обработчика протокола работы) с устройством.

Система работает с большим количеством взаимно независимых устройств, поэтому необходимо обеспечить возможность одновременной параллельной работы с несколькими устройствами. Также следует предусмотреть синхронизацию с выстраиванием в очередь в тех случаях, когда одновременная работа нежелательна, то есть когда устройства будут мешать друг другу.

Конфигурирование системы и управление ею осуществляются через интерфейс (веб-интерфейс) системы. Сторонние утилиты используются только для начальной настройки аппаратных компонентов: IP-порта в IP-сети, скорости / битности / чётности обмена по последовательному интерфейсу, идентификатора на приборной шине и тому подобного. После настройки и установки оборудования в систему все взаимные увязки программного уровня, задание проблемно ориентированных настроек и управление работой (запуск / остановка / пауза) компонентов выполняются настройщиком через интерфейс. Для этого программный код системы должен содержать достаточно подробные описания поддерживаемых типов устройств, а также алгоритм проверки корректности настроек с учётом совместимости всех компонентов системы.

## Результаты

В Горном институте Кольского научного центра Российской академии наук с 2012 г. функционирует система удалённого сбора геофизической информации, поступающей с подземного полигона, размещенного в подземном руднике АО «Апатит» (рис. 2) [5].

В настоящей реализации решена частная задача: длительная непрерывная регистрация значений медленно изменяющихся физических величин с периодом измерений, составляющим единицы — десятки минут. К таким параметрам относятся: наклоны блоков массива горных пород, деформации и смещения блоков, температура воздуха и породы.

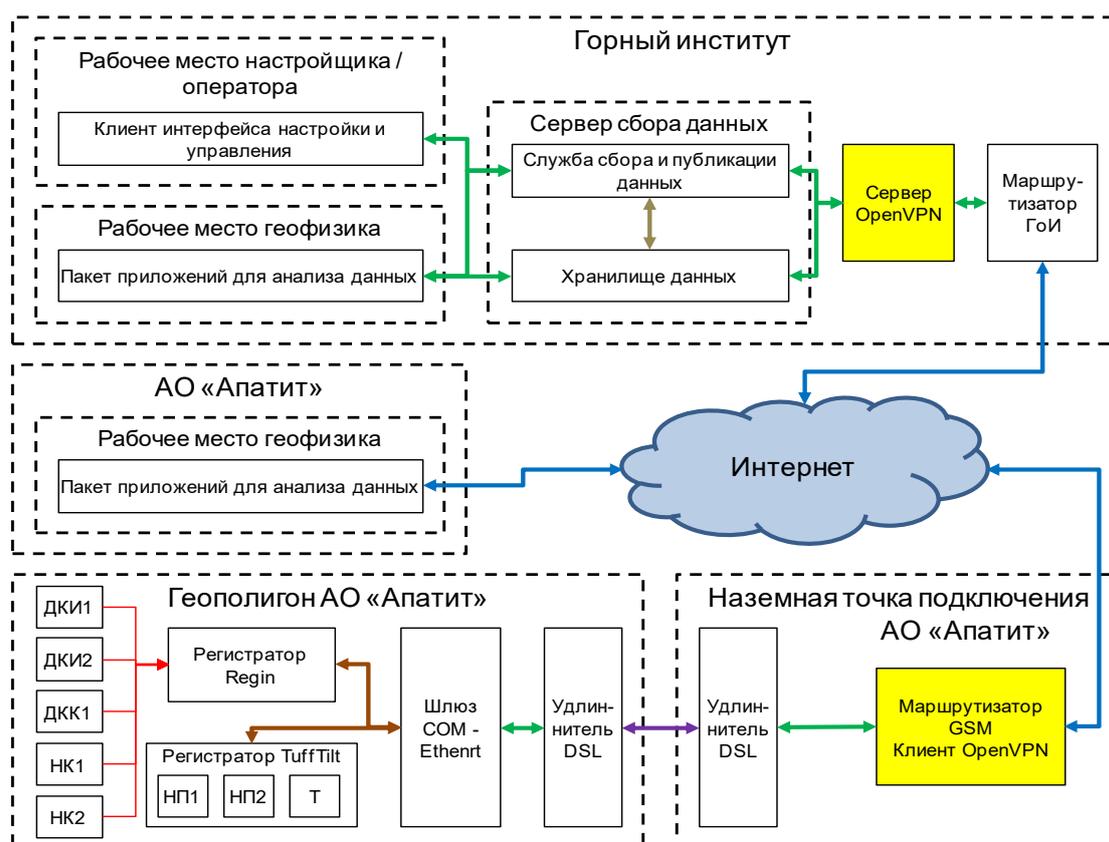
В системе используются регистраторы двух типов.

1. Шестиканальный регистратор с частотными входами Regin-3F-6k (разработка Института физики Земли Российской академии наук) [6]. К нему подключаются специально разработанные датчики наклона и деформации [7, 8]. Важная особенность данного регистратора состоит в способности буферизовать в собственной внутренней памяти регистрируемые данные, что позволяет обеспечивать надёжный сбор данных даже при длительных перерывах связи между регистратором и центром сбора.

2. Регистратор-наклономер TuffTilt (разработка фирмы Jewell Instruments). Он представляет собой комбинированное устройство — трёхканальный регистратор и три датчика (два накломера и термометр), жёстко подключённые ко входам каналов регистратора. В отличие от регистратора Regin, TuffTilt передает текущие значения данных без буферизации, поэтому при перерывах связи между регистратором и центром сбора съём данных невозможен и информация теряется. При нерегулярном поступлении данных особую важность получает привязка отсчётов к календарному времени их получения.

Оба типа регистраторов используют в качестве цифрового канала обмен через последовательный интерфейс, поэтому для их подключения к IP-сети используется дополнительное устройство — шлюз сопряжения последовательного порта с Ethernet.

Работа службы сбора данных и управления работой регистраторов построена с использованием системного механизма многопоточности, что позволяет штатными средствами организовать параллельное, независимое обслуживание нескольких устройств. Специальный дежурный поток отслеживает наступление двух событий: наступление момента планового опроса регистратора и поступление от оператора команды управления работой регистратора. При наступлении события запускается отдельный поток обслуживания, запускающий соответствующий драйвер.



**Рис. 2.** Функциональная схема управления и передачи данных геодинамического полигона: ДКИ1, ДКИ2 — деформометры с инваровыми стержнями; ДКК1 — деформометр с кварцевым стержнем; НК1, НК2 — кварцевые наклонометры; НП1, НП2 — пузырьковые наклонометры; Т — термометр. Цветами обозначены: красный — аналоговые сигналы внешних датчиков; коричневый — передача данных по последовательному интерфейсу; зелёный — TCP/IP в локальной сети (Ethernet); лиловый — TCP/IP по дальней проводной связи (DSL); синий — TCP/IP по сети Интернет; светло-коричневый — внутренняя связь со средствами операционной системы; жёлтый — оборудование и программное обеспечение, организующее защищённый канал передачи данных (виртуальную частную сеть, VPN)

Монитор состояния компонентов получает от драйверов регистраторов сообщения о текущем состоянии устройств, на их основании определяет, является ли состояние штатным или нет, анализирует смену состояний и принимает решение об отправке оповещения.

Доставку оповещений выполняет отдельная подсистема — транспорт доставки.

Интерфейс публикации данных построен на базе веб-технологий — транспортного протокола HTTP и формата данных XML [9, 10]. Служба сервера получает от клиента запрос в формате XML, выбирает из него параметры, выбирает запрошенные данные из базы данных, упаковывает в формат XML и отправляет клиенту [11, 12].

Пользовательский интерфейс настройки и управления также построен на базе веб-технологий. Клиентом в данном случае является веб-браузер, отображающий сформированные веб-сервером страницы, насыщенные сценариями JavaScript, использующими технологию Dynamic HTML [13, 14]. Обмен специфическими данными (параметрами конфигурации, командами управления и сведениями о состоянии регистратора) выполняется через интерфейс публикации данных.

Все компоненты службы реализованы в виде расширений web-сервера acWEB на языке программирования Forth.

Система жизнеспособна и поставленные на момент её создания задачи выполняет. Однако опыт эксплуатации показывает пути дальнейшего развития.

## Предложения по дальнейшему развитию системы

**Сбор данных.** Первичным (и самым объёмным) результатом работы такой системы являются временные ряды в виде набора значений физических величин, привязанных к календарным моментам времени и поступающих из точек наблюдения с известными координатами.

В текущей реализации предполагается, что каждый регистратор имеет уникальное сетевое расположение — пару IP-адрес и TCP-порт. Между тем значительная часть известных авторам регистраторов не имеет возможности непосредственного подключения к IP-сети, а оснащена подключением к приборной шине — последовательному интерфейсу. Связь приборной шины с IP-сетью осуществляется шлюзом сопряжения с Ethernet. Таким образом драйвер регистратора взаимодействует с составным «парным» устройством. Пока к каждому шлюзу подключено по одному регистратору, проблем не возникает. Но современные приборные шины позволяют подключать к одному шлюзу до нескольких сотен устройств. В то же время у шлюза имеется ограничение на число одновременных подключений. Из этого следует, что попытка одновременного обслуживания нескольких подключённых к шлюзу регистраторов в количестве, превышающем предел, для части регистраторов приведёт к отказу в обслуживании.

Для исключения такой ситуации предполагается ввести шлюз как отдельный объект со своим драйвером. В потоке обслуживания драйвер шлюза будет главным агентом, управляющим работой с подключёнными к шлюзу регистраторами. Возможность параллельной независимой работы с несколькими шлюзами сохраняется, а обслуживание регистраторов в рамках одного шлюза выполняется последовательно.

Учитывая ненадёжность связи с удалёнными точками наблюдения, в дальнейшем систему предполагается оснащать, насколько возможно, регистраторами с возможностью буферизации, чтобы максимально исключить пробелы в собираемых данных.

**Объекты управления.** В текущей реализации не предусмотрено управление чем-либо, помимо регистраторов. Между тем опыт эксплуатации геодинамического полигона показал необходимость оснащения точек наблюдения дополнительной аппаратурой, позволяющей удаленно контролировать состояние и управлять регистраторами. В частности, регистраторы по различным причинам могут терять связь с внешним миром, в такой ситуации их перезапуск возможен только «холодным» способом — выключением и последующим включением питания. Поэтому предполагается введение таких сущностей, как устройства удалённого вывода (контроллеров и аналоговых устройств управления).

**Контроль состояния компонентов.** В текущей реализации единственным контролируемым компонентом является регистратор: на его счёт относится любая выявленная в процессе работы нештатная ситуация, включая проблемы со связью, программные ошибки и некорректную работу системы управления базами данных. Между тем нештатные ситуации, порождённые различными причинами, следует обрабатывать различным образом. Поэтому предполагается разграничить шлюз и регистратор, а также явно ввести контроль состояния вычислительной среды и инфраструктуры.

**Подсистема оповещений** в текущей реализации сильно ограничена: 1) оповещения отправляются только по электронной почте; 2) оповещения рассылаются по одному фиксированному списку; 3) в случае неудачи повторные попытки доставки оповещения не выполняются.

Предполагается добавить поддержку других каналов оповещения (SMS, информационное табло, звуковой сигнал, сообщение по локальной сети средствами операционной системы и т. д.), реализовать систему множественных списков рассылки в зависимости от компонента / объекта, к которому относится оповещение, а также реализовать повторные попытки доставки оповещения в случае неудачи.

Такое расширение функциональности влечёт за собой разделение одной подсистемы на несколько — генератор оповещений и транспорты доставки по числу поддерживаемых способов.

**Плановый опрос, выполнение команд оператора и межподсистемное взаимодействие.** В текущей реализации обслуживание регистраторов выполнено предельно просто. Работают два программных цикла, запрашивающих сведения из базы данных: первый раз в минуту проверяет наличие регистраторов, подлежащих опросу, второй раз в пять секунд проверяет наличие команд оператора для регистраторов. Пятисекундное запаздывание реакции на команду оператора проблем не создаёт, но большое число холостых циклов приводит к непроизводительному расходу вычислительных ресурсов. Кроме того, с увеличением числа подсистем связи между ними усложняются.

Решением обеих проблем представляется введение ещё одной подсистемы — планировщика. Его задачи: 1) ведение очереди заданий — на опрос регистратора или команду оператора, вызов монитора состояния, генерацию и последующую доставку оповещения; 2) выборка из очереди готовых к выполнению заданий; 3) определение целевых подсистем, подлежащих активации; 4) запуск потоков обслуживания подсистем с передачей необходимых параметров.

Контроль работы подсистем со стороны планировщика не предполагается, все подсистемы действуют как автономные программные агенты и контролируют себя сами.

**Программный контроль правильности настроек.** В текущей реализации программный контроль правильности настроек минимален и включает только проверку корректности задания сетевого расположения, цикла обслуживания и наличия хотя бы одного как-то настроенного канала регистратора. Необходим расширенный программный контроль корректности межкомпонентных связей: 1) совместимости датчиков с каналами регистратора; 2) совместимости регистраторов с приборными шинами шлюзов; 3) необходимо учесть существование комбинированных устройств, совмещающих в себе несколько ролей.

Это решается посредством механизма описаний (комбинированных устройств, шлюзов, регистраторов, датчиков).

### Заключение

Предлагаемая архитектура централизованной системы удалённого сбора разнородной геофизической информации с использованием для обмена данными между компонентами протокола ТСР/IP через интернет обеспечивает полнофункциональный сервис всего класса решаемых задач. В рамках этой архитектуры реализуются средства для обеспечения гарантированного трафика, достаточного для надёжной работы в реальном времени в плане обеспечения необходимого быстродействия и сохранности поступающих данных, за счёт их буферизации и привязки к реальному времени аппаратурой сбора (нижнего уровня).

Достижение максимально возможной надёжности и устойчивости сбора данных обеспечивается за счёт тщательного планирования процесса опроса аппаратуры сбора через шлюзы, обеспечивающие связь аппаратуры с интернетом, для предотвращения конфликтов и необоснованных задержек при опросе.

### Список источников

1. Пономарёв К. Е. Удалённый мониторинг параметров оборудования и сбора данных с датчиков в подземных объектах // Наука. Технологии. Инновации. Сборник научных трудов конференции в 9 ч. / под ред. М. А. Дыбко. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. С. 35–36.
2. Грунская Л. В., Золотов А. Н., Бушуев А. С., Сныгина И. А., Лукьянов В. Е. Универсальная система удалённого сбора данных для мониторинга характеристик природной среды // Динамика сложных систем — XXI век. 2018. Т. 12, № 4. С. 4–10.
3. Slobodan N. Simić, Shankar Sastry. Distributed Environmental Monitoring Using Random Sensor Networks // Information Processing in Sensor Networks, Conference Paper of Second International Workshop, IPSN 2003, Palo Alto, CA, USA, April 22–23, 2003, pp. 582–592. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36978-3\\_39](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36978-3_39).
4. Ometov A., Bezzateev S., Voloshina N., Masek P. Environmental Monitoring with Distributed Mesh Networks: An Overview and Practical Implementation Perspective for Urban Scenario // Sensors. 2019. № 19 (24), 5548. 19 p. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/24/5548>. DOI: 10.3390/s19245548
5. Каган М. М., Панасенко И. Г. Система автоматизации геофизического мониторинга // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: мат-лы всерос. конф. Апатиты; СПб.: ГоИ КНИЦ РАН, 2013. С. 214–221.
6. Багмет А. Л., Осика В. И. Инструментальный контроль стабильности ответственных зданий и сооружений // Надёжность. 2004. № 2 (21). С. 52–56.
7. Пат. СССР № SU 1176278 А1. Дифференциальный ёмкостный датчик малых перемещений / Осика В. И., Симонов Г. А., Осинская С. В. 30.08.1985.

8. Пат. Рос. Федерация № RU 2008699 C1. Способ регистрации линейных деформаций массива скальных пород / Ловчиков А. В., Осика В. И. 28.02.1994.
9. Мальшевский А. П., Литвиненко А. Н., Пэк Е. В. Использование XML-технологий в разработке СУБД-приложений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2004. № 51. С. 3–9.
10. Бородин В. Ю. Использование технологий XML при разработке автоматизированных систем // Прогрессивные технологии в мировом научном пространстве: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практич. конф. (Ижевск, 13 апреля 2020 г.). Ижевск, 2020. С. 91–94.
11. Cuzzocrea A., Mumolo E., Tessarotto M., Grasso G. M., Amendola D. XML-VM: An XML-based GRID computing middleware // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 611. P. 349–360.
12. Gaurav Goyal, Kamal Deep Garg, Rupali Gill. A Key based Distributed Approach for Data Integrity and Consistency in JSON and XML(Hierarchical Data Exchange Formats) // Conference Paper of 2020 Indo-Taiwan 2nd International Conference on Computing, Analytics and Networks (Indo-Taiwan ICAN), 7–15 Feb 2020, 12 p. DOI: 10.1109/Indo-TaiwanICAN48429.2020.9181305
13. Федорин Е. А., Морозов А. В. О разработке динамических веб-сайтов с использованием технологий JavaScript и HTML // Школа молодых учёных по проблемам естественных наук: сб. мат-лов областного профильного семинара (Елец, 12 октября 2018 г.). Елец, 2018. С. 134–137.
14. Nicholus R. *Beyond jQuery*, Apress, Berkeley, CA, 2016. P. 217.

## References

1. Ponomaryov K. E. Udalyonnyj monitoring parametrov oborudovaniya i sbora dannyh s datchikov v podzemnyh ob"ektah [Remote monitoring of equipment parameters and data collection from sensors placed in underground facilities]. *Nauka. Tekhnologii. Innovacii. Sbornik nauchnykh trudov konferencii v 9 ch.* [Science. Technologies. Innovations. Proceedings of the conference. 9 volumes]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University, 2015, pp. 35–36. (In Russ.).
2. Grunskaja L. V., Zolotov A. N., Bushuev A. S., Snygina I. A., Lukyanov V. E. Universal'naya sistema udalyonnogo sbora dannyh dlya monitoringa harakteristik prirodnoj sredy [Universal system of remote data collection for natural environment characteristics monitoring]. *Dinamika slozhnykh sistem — XXI vek* [Dynamics of Complex Systems — 21st Century], 2018, vol. 12, no. 4, pp. 4–10. (In Russ.).
3. Slobodan N. Simić, Shankar Sastry. Distributed Environmental Monitoring Using Random Sensor Networks. *Information Processing in Sensor Networks, Conference Paper of Second International Workshop, IPSN 2003*, Palo Alto, CA, USA, April 22–23, 2003, pp. 582–592. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36978-3\\_39](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-36978-3_39).
4. Ometov A., Bezzateev S., Voloshina N., Masek P. Environmental Monitoring with Distributed Mesh Networks: An Overview and Practical Implementation Perspective for Urban Scenario. *Sensors*, 2019, no. 19 (24), 5548, 19 p. Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/24/5548>. DOI: 10.3390/s19245548
5. Kagan M. M., Panasenko I. G. Sistema avtomatizacii geofizicheskogo monitoringa [Geophysical monitoring automation system]. *Monitoring prirodnykh i tekhnogennykh protsessov pri vedenii gornykh rabot: mat-ly mseros. konf.* [Monitoring of natural and man-made processes during mining operations. Proceedings of the All-Russian conference]. Apatity, Saint Petersburg, Gornyy institut Kolskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii nauk, 2013, pp. 214–221. (In Russ.).
6. Bagmet A. L., Osika V. I. Instrumental'nyj kontrol' stabil'nosti otvetstvennyh zdaniy i sooruzhenij [Instrumental control of critical buildings and structures stability]. *Nadyozhnost* [Reliability], 2004, no. 2 (21), pp. 52–56. (In Russ.).
7. USSR patent no. SU 1176278 A1. Differencial'nyj yomkostnyj datchik malyh peremeshchenij [Differential capacitive small displacement sensor]. Osika V. I., Simonov G. A., Osinskaia S. V. 30.08.1985. (In Russ.).
8. Russian Federation patent no. RU 2008699 C1. Sposob registracii linejnyh deformacij massiva skal'nyh porod [Rock mass linear deformations recording method]. Lovchikov A. V., Osika V. I. 28.02.1994. (In Russ.).

9. Malyshevskiy A. P., Litvinenko A. N., Pek E. B. Ispol'zovanie XML-tekhnologij v razrabotke SUBD-prilozhenij [Usage of XML technologies in the DBMS applications development]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki* [Proceedings of Higher Education Institutions. The North Caucasian District. Series: Natural Sciences], 2004, no. 51, pp. 3–9. (In Russ.).
10. Borodin V. Yu. Ispol'zovanie tekhnologij XML pri razrabotke avtomatizirovannykh sistem [Usage of XML technologies in the automated systems development]. *Progressivnye tekhnologii v mirovom nauchnom prostranstve: sb. st. po itogam mezhdunar. nauch.-praktich. konf. (Izhevsk, 13 Aprelya 2020 g.)* [Advanced Technologies in the Global Scientific Space. Proceedings of the scientific and practical conference]. Izhevsk, 2020, pp. 91–94. (In Russ.).
11. Cuzzocrea A., Mumolo E., Tessarotto M., Grasso G. M., Amendola D. XML-VM: An XML-based GRID computing middleware. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 611, pp. 349–360.
12. Gaurav Goyal, Kamal Deep Garg, Rupali Gill. A Key based Distributed Approach for Data Integrity and Consistency in JSON and XML (Hierarchical Data Exchange Formats). *Conference Paper of 2020 Indo-Taiwan 2nd International Conference on Computing, Analytics and Networks (Indo-Taiwan ICAN)*, 7–15 Feb 2020, 12 p. DOI: 10.1109/Indo-TaiwanICAN48429.2020.9181305
13. Fedorin E. A., Morozov A. V. O razrabotke dinamicheskikh veb-sajtov s ispol'zovaniem tekhnologij JavaScript i HTM [On developing dynamic websites using JavaScript and HTML technologies]. *Shkola molodykh uchyonykh po problemam estestvennykh nauk: sb. mat-lov oblastnogo profilnogo seminara (Elets, 12 octobrya 2018 g.)* [Conference of Young Scientists on Natural Sciences Issues. Proceedings of the regional relevant seminar]. Elets, 2018, pp. 134–137. (In Russ.).
14. Nicholas R. *Beyond jQuery*. Apress, Berkeley, CA, 2016, p. 217.

#### **Информация об авторах**

**А. А. Козырев** — доктор технических наук, главный научный сотрудник;

**М. М. Каган** — старший научный сотрудник;

**И. Г. Панасенко** — ведущий программист.

#### **Information about the authors**

**A. A. Kozyrev** — Dr. Eng., Chief Researcher;

**M. M. Kagan** — Senior Researcher;

**I. G. Panasenko** — Leading Software Engineer.

Статья поступила в редакцию 17.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.  
The article was submitted 17.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.94, 622.2  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.012

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ УСРЕДНИТЕЛЬНОГО СКЛАДА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Роман Павлович Воронин<sup>1</sup>, Виталий Викторович Быстров<sup>2, 3</sup>**

<sup>1, 2</sup>Филиал Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты, Апатиты, Россия

<sup>3</sup>Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

<sup>1</sup>rom.voron@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7210-8510>

<sup>2</sup>bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

### Аннотация

Работа посвящена вопросам прикладного использования концепции цифровых двойников для задач усреднения качества руды на горнодобывающих предприятиях. Авторы рассматривают проблему автоматизации процессов формирования усреднительного рудного склада с помощью компьютерного моделирования. В качестве формальной основы для представления штабеля склада предлагается использовать матричные структуры. Описывается алгоритм определения последовательности и позиции разгрузки транспортного средства в штабеле при формировании усреднительного склада с учетом графика движения транспортных единиц, а также процедура проверки возможности разгрузки транспортного средства в заданную ячейку штабеля, реализованная с помощью модификации алгоритма ветвей и границ. Также приводится краткое описание процессов визуализации результатов работы разработанных алгоритмов с помощью 3D-анимации в среде Unity.

### Ключевые слова:

алгоритм усреднения, усреднительный склад, компьютерное моделирование, логистические процессы, горнодобывающее предприятие

### Для цитирования:

Воронин Р. П., Быстров В. В. Компьютерное моделирование процессов формирования усреднительного склада горнодобывающего предприятия // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 124–133. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.012

Original article

## COMPUTER MODELING OF THE PROCESSES OF FORMATION OF A BLENDING WAREHOUSE OF A MINING ENTERPRISE

**Roman P. Voronin<sup>1</sup>, Vitaliy V. Bystrov<sup>2, 3</sup>**

<sup>1</sup>Apatity branch of the Murmansk Arctic State University, Apatity, Russia

<sup>2, 3</sup>Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

<sup>1</sup>rom.voron@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7210-8510>

<sup>2</sup>bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>

### Abstract

The work is devoted to the issues of applied use of the concept of digital twins for the problems of averaging the quality of ore in mining enterprises. The authors consider the problem of automation of the processes of formation of the blending ore stockpile with the help of computer simulation. It is proposed to use matrix structures as a formal basis for representing a warehouse stack. The article describes an algorithm for determining the sequence and position of unloading a vehicle in a stack when forming a blending warehouse, taking into account the schedule of movement of transport units, as well as the procedure for checking the possibility of unloading a vehicle into a given cell of a stack, which is implemented using a modification of the branch and bound algorithm. A brief description of the processes for visualizing the results of the work of the developed algorithms using 3D animation in the Unity environment is also given.

### Keywords:

averaging algorithm, blending warehouse, computer modeling, logistics processes, mining enterprise

### For citation:

Voronin R. P., Bystrov V. V. Computer modeling of the processes of formation of a blending warehouse of a mining enterprise // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 124–133. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.012

© Воронин Р. П., Быстров В. В., 2022

## **Введение**

В последнее десятилетие процессы автоматизации производственных систем вышли на новый виток применения вычислительных средств, задавая актуальный тренд на всеобщую информатизацию и цифровизацию промышленности. Активно развиваются и внедряются концепции Industry 4.0 [1, 2] и цифровых двойников [3–5], ориентированные на максимальное использование современных информационных технологий в деятельности промышленных предприятий на всех уровнях управления. В частности, концепция цифрового двойника предлагает за счет всеобъемлющей цифровизации воссоздать виртуальный образ реального предприятия с целью максимально правдоподобного отражения протекающих в нем производственных процессов с реализацией обязательных функций мониторинга и контроля их состояния. Цифровой двойник предприятия предназначен для прозрачного получения всей необходимой информации о деятельности предприятия в любом разрезе (по отдельному производственному процессу, по уровню управления, за определенный временной промежуток и т. д.) и для представления ее в удобном виде для процессов принятия управленческих решений. Направлений развития концепции цифровых двойников достаточно много, начиная с создания модельно-тренажерных комплексов для подготовки персонала и заканчивая компонентами и цельными программно-техническими решениями класса корпоративных информационных систем (ERP-систем), реализующих принципы цифровизации производства. В данные направления включается и разработка систем поддержки принятия решений в разных областях производственной деятельности. В частности, активно развивается такое направление, как планировщики, например, в транспортной логистике как внутри промышленного предприятия, так и внешне. Теоретический фундамент подобного рода планировщиков разнообразен и включает в себя, например, методы комбинаторной оптимизации, программирование в ограничениях, сетевое планирование, эконометрическое моделирование и многие другие подходы. Также актуальным направлением программных средств поддержки принятия управленческих решений является компьютерное (имитационное) моделирование.

В студенческой лаборатории филиала Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты под руководством научных сотрудников Горного института и Института информатики и математического моделирования Кольского научного центра Российской академии наук ведутся научно-практические работы по автоматизации разных технологических процессов деятельности горнодобывающего предприятия. В первую очередь, в рамках данного исследования производится компьютерное моделирование полного технологического цикла добычи и переработки полезного ископаемого. При этом технологический цикл разбивается на разные проекты, которые реализуются междисциплинарными группами студентов направлений подготовки «Информационные системы и технологии» и «Горное дело».

В рамках текущей работы представлены промежуточные результаты проекта по автоматизации процессов формирования усреднительного рудного склада типового горнодобывающего предприятия. Акцент делается на разработке алгоритма оптимального распределения транспортных единиц по временной оси и территории рудного склада с учетом заданного набора ограничений на процесс формирования склада, тестировании предлагаемого алгоритма и визуализации результатов его работы.

## **Краткая характеристика предметной области**

Усреднительный рудный склад представляет собой специально отведенную территорию, предназначенную для временного хранения руды. Его использование является одним из наиболее эффективных способов стабилизации качества полезного ископаемого и позволяет минимизировать отклонения показателя процентного содержания полезного ископаемого в рудной массе от некоторого заданного значения, что снижает производственные издержки. Эффективность такого способа стабилизации качества полезного ископаемого подтверждается активным его использованием большинством крупных компаний горной отрасли.

Усреднительные склады имеют обширную классификацию, их разделяют как по расположению (открытый / закрытый типы), так и по способу формирования. Для текущего проекта автоматизации процесса формирования был взят усреднительный склад со следующими параметрами: открытый тип; загрузка (формирование) штабелей склада осуществляется с помощью автосамосвалов, в несколько слоев, когда штабель загружен; его разгрузка осуществляется с помощью экскаватора.

Стабилизация качества руды в данной модели формирования рудного склада достигается за счет того, что при разгрузке экскаватор зачерпывает ковшом руду вертикально, начиная забор у основания штабеля и заканчивая верхним слоем, благодаря чему происходит перемешивание (шихтование) руды из всех слоев штабеля. Эту руду экскаватор загружает в вагоны железнодорожного состава, предназначенного для ее транспортировки на обогатительную фабрику. Основная проблема данного способа заключается в том, что контролируемым остается только средний показатель качества (процент содержания полезного ископаемого) по всему штабелю, в то время как в разных его частях этот показатель может сильно различаться.

Если при использовании данного метода усреднения заранее учитывать, что разгрузка руды будет осуществляться вертикально, то уменьшить отклонение ее качества от заданного значения можно еще на этапе формирования штабеля. Поскольку выбранная модель усреднительного склада формируется с помощью самосвалов, появляется потенциальная возможность определить для руды из каждого самосвала оптимальное место в штабеле таким образом, чтобы при разгрузке склада в ковше экскаватора оказалась руда, качество которой имеет минимальное отклонение от заданного, и так для любой точки штабеля.

В настоящее время для автоматизации подобного рода расчетов можно использовать специальное программное обеспечение, позволяющее по результатам анализа руды из разведывательных скважин получить информацию о размерах и расположении рудного тела, построить его 3D-модель и определить в каждой ее точке предполагаемое содержание полезного компонента. В частности, в рамках текущего научно-практического проекта ориентировались на горно-геологическую информационную систему (ГИС) Mineframe [6], разработанную специалистами Горного института Кольского научного центра Российской академии наук. Кроме вышеописанного функционала, Mineframe позволяет представить горное тело как массив единичных блоков, которые имеют задаваемый размер, хранят информацию о своем месторасположении и содержании полезного ископаемого. Поскольку размер единичного блока может быть любым, предполагается, что он будет задаваться, исходя из объема кузова самосвалов, работающих на усреднительном складе. Также данная ГИС позволяет определить, в какой последовательности будут разработаны единичные блоки в каждом забое, и на основе этой информации составить расписание прибытия самосвалов на усреднительный склад (рис. 1). С точки зрения разработки алгоритма формирования склада важно то, что есть возможность в приведенном расписании движения автосамосвалов давать прогнозную оценку процента содержания полезного компонента в руде для каждой транспортной единицы.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	Номер/модель а/с	время подъезда а/с к заходке	время отъезда а/с от заходки	время прибытия в пункт разгрузки	время разгрузки а/с	время отъезда а/с от пункта разгрузки	Объем в кузове а/с, т	P205	Ценность	Кд.р.	Пункт разгрузки
3	7050 БелАЗ_7558 З	03.03.2020 00:00	03.03.2020 00:05	03.03.2020 00:22	03.03.2020 00:24	03.03.2020 00:24	90	11,24	7,55	0	Склад 1
4	7047 БелАЗ_7513 R	03.03.2020 00:05	03.03.2020 00:10	03.03.2020 00:22	03.03.2020 00:24	03.03.2020 00:29	90	11,24	7,55	0	Склад 1
5	7045 БелАЗ_7513 R	03.03.2020 00:10	03.03.2020 00:15	03.03.2020 00:27	03.03.2020 00:29	03.03.2020 00:33	90	11,24	7,55	0	Склад 1
6	7041 БелАЗ_7558 З	03.03.2020 00:15	03.03.2020 00:20	03.03.2020 00:37	03.03.2020 00:39	03.03.2020 00:41	90	11,24	7,55	0	Склад 1
7	7046 БелАЗ_7513 R	03.03.2020 00:27	03.03.2020 00:32	03.03.2020 00:44	03.03.2020 00:46	03.03.2020 00:46	90	11,24	7,55	0	Склад 1
8	7023 БелАЗ_7513 R	03.03.2020 00:32	03.03.2020 00:37	03.03.2020 00:49	03.03.2020 00:51	03.03.2020 00:53	90	11,24	7,55	0	Склад 1

Рис. 1. Пример расписания прибытия транспортных единиц на усреднительный склад

Усреднение показателя качества руды достигается за счет того, что загрузка штабеля осуществляется в несколько слоев, а экскаватор, который разгружает усреднительный склад, забирает руду из штабеля вертикально, зачерпывая ее ковшем снизу вверх. В этот момент происходит перемешивание руды из всех слоев штабеля и, как следствие, усреднение содержания полезного компонента.

Однако в настоящее время автосамосвалы доставляют руду на усреднительный склад без учета ее качества. Руду последовательно разгружают начиная от дальнего конца штабеля, пока не заполнится слой. После чего формируется новый слой по тому же принципу. Такой способ формирования склада обладает существенным недостатком: контролируемым остается только средний показатель качества по всему штабелю, в то время как в разных его частях этот показатель может сильно отличаться. Следовательно, при дальнейшей транспортировке руды на обогатительную фабрику или другому конечному потребителю не исключена возможность отсутствия однородности качества руды, отгруженной из разных частей штабеля, что, в свою очередь, приводит к дополнительным временным затратам на контроль качества руды на самой фабрике и/или к нерациональному использованию реагентов, применяемых в процессе обогащения.

Для решения данной проблемы предлагается разработать программное обеспечение, которое на основании расписания прибытия самосвалов в усреднительный склад, полученного из ГГИС Mineframe, сможет определять место разгрузки каждой машины в штабеле рудного склада таким образом, чтобы минимизировать отклонение среднего показателя качества руды для каждой ячейки склада. За ячейку предполагается взять диаметр конуса руды, который получается при разгрузке самосвала. В математической модели каждый слой штабеля будет представлен в виде матрицы таких ячеек, сам штабель — как список матриц. Когда самосвал привозит руду на усреднительный склад, программа должна определить для него оптимальную ячейку разгрузки в матрице заполняемого в данный момент слоя таким образом, чтобы среднее значение качества руды для всех слоев штабеля в данной ячейке было максимально приближенно к заданному. Такой подход учитывает, что разгрузка штабеля будет проводиться вертикально. Он сразу формируется таким образом, чтобы при перемешивании руды ковшем экскаватора усредненный показатель качества руды был максимально приближен к заданному в каждой точке, а не по всему штабелю в целом.

В дальнейшей перспективе развития прикладной стороны проекта для организации взаимодействия водителей автосамосвалов и экскаваторов с разрабатываемой программой предлагается оснастить технику аппаратурой, позволяющей внедрить графическую систему помощи водителям самосвалов, подсказывающую, где стоит выгрузить руду из машины, и при необходимости принимать от водителей обратную связь. Разрабатываемое программное решение также должно обеспечить централизацию общего управления системой доставки и разгрузки руды посредством разработки отдельного интерфейса для взаимодействия с диспетчером производственной службы.

### **Разработка компонентов программного решения**

Основное внимание в проекте уделяется алгоритму определения места разгрузки руды автосамосвалами в штабеле усреднительного склада, а также его реализации в виде программного решения. В качестве основного инструмента разработки был использован язык C#, среда разработки Microsoft Visual Studio. Для структуризации данных прикладной задачи и организации оперативного доступа к изменяющейся информации была разработана реляционная база данных формата MySQL. Текущая версия базы данных хранит полную информацию из расписания прибытия самосвалов на склад, но она будет усложняться по мере расширения функционала разрабатываемого программного решения. Для ее администрирования был выбран веб-интерфейс phpMyAdmin. Оперирование информацией из базы данных реализовано в разрабатываемой программе средствами языка C#.

На текущем этапе реализации проекта был разработан первичный прототип программы, решающий задачу планирования распределения самосвалов в штабеле усреднительного склада согласно расписанию, полученному программой как входные данные. Также программа получает на вход следующие параметры: заданный показатель качества руды, необходимый обогатительной фабрике; габариты штабеля усреднительного склада (максимально допустимые размеры); характеристики транспортных единиц: габариты автосамосвалов, которые работают на складе, а также объем их кузова.

### Общая концепция работы программного решения

Исходя из полученных входных данных, программа определяет «сетку» для каждого слоя штабеля — двумерную матрицу, количество ячеек которой равно количеству транспортных единиц, которые смогут разгрузиться в данном слое. При этом штабель представляется как упорядоченный список таких матриц. Когда руда погружена на склад, в соответствующей ячейке матрицы штабеля появляется запись о качестве этой руды. Таким образом, программа отслеживает общий уровень наполнения всего штабеля и каждого его слоя в процессе формирования усреднительного склада.

Количество ячеек в одном слое определяется следующим образом: исходя из габаритов кузова автосамосвала и объема перевозимой руды высчитывается диаметр конуса, который образуется при разгрузке самосвала. После чего длина и ширина площади, которую может занимать штабель, делятся на диаметр получившегося конуса, в результате определяются размеры матрицы.

Для того чтобы программа могла определить количество слоев в штабеле, в ней определен угол естественного откоса руды, поступающей на склад. С помощью данного параметра определяется высота отсыпаемого самосвалом конуса. После чего необходимо рассчитать, как изменится высота конусов, когда уже сформированный слой будет разровнен экскаватором и сформирован заезд для загрузки следующего слоя. Программа делит максимально допустимую высоту штабеля на получившуюся высоту одного слоя и определяет общее количество слоев для заполнения.

После того как вычислено количество слоев и ячеек в каждом из них, перед программой стоит задача распределить в эти ячейки самосвалы таким образом, чтобы отклонение качества руды от заданного значения было минимальным. Отклонение считается по каждому «столбцу», то есть качество руды суммируется для всех ячеек с одинаковыми координатами, находящимися в разных слоях, а после делится на количество этих ячеек (то есть на количество слоев). Полученное значение показывает, какое среднее качество будет у руды, находящейся в ковше экскаватора, когда он зачерпнет этот столбец. Самым оптимальным распределением будет считаться то, где для каждого столбца отклонение качества от заданного минимально. Чтобы это проверить, вводится показатель среднего отклонения для всех столбцов, а также показатель максимального отклонения среди всех столбцов.

Для нахождения оптимального распределения в программе реализован алгоритм, который строит дерево вариантов всех возможных распределений (отдельно для каждого слоя), для всех веток подсчитывается среднее отклонение качества руды среди столбцов. По окончании подсчета выбирается ветка с минимальным отклонением, согласно которой будут распределены транспортные единицы в процессе формирования склада.

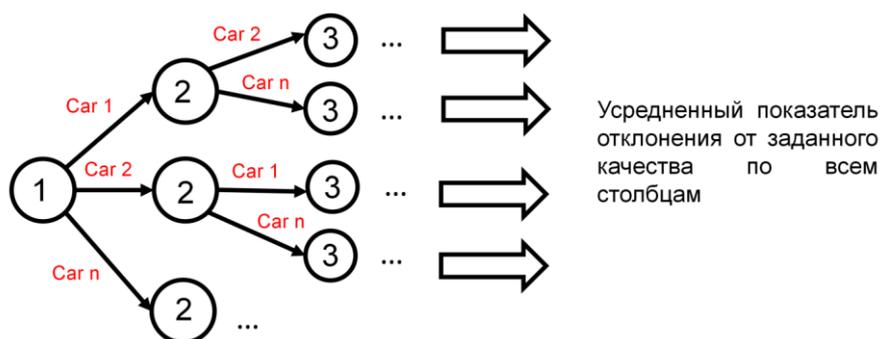


Рис. 2. Схема построения дерева вариантов распределения самосвалов в ячейки штабеля

Во время построения дерева вариантов стоит учитывать, что не всегда есть возможность разгрузить самосвал в определенную ячейку. Среди всех вариантов неизбежно встретятся такие, в которых при определении самосвала в рассматриваемую ячейку дальнейший проезд техники станет невозможен. Такое случится, когда рассматриваемая ячейка будет находиться на единственном пути к незанятым ячейкам в дальних частях штабеля. На рис. 3 приведен пример такой ситуации: зелеными треугольниками обозначены занятые ячейки (в которые уже загружена руда), белые клетки — это свободные ячейки, красным обозначены ячейки, занимать которые нельзя, так как будет перекрыт доступ к нескольким незанятым ячейкам.



Для всех объектов реального мира, с образами которых работает программа, были описаны классы, а сами объекты представлены как экземпляры этих классов, например: 1) транспортная единица — автосамосвал: порядковый номер; объем кузова; максимальная высота; качество перевозимой руды; ip-адрес электронного устройства информирования водителя; 2) штабель усреднительного склада: порядковый номер; тип (загружающийся / разгружающийся); максимально допустимые габариты (выраженные в метрах и в целом количестве слоев и ячеек в каждом из них); 3) слой штабеля усреднительного склада: номер слоя; его размеры, размеры матрицы его сетки; 4) строка расписания прибытия транспортных единиц на склад: номер строки; порядковый номер автосамосвала; время прибытия на склад; качество перевозимой руды.

На текущем этапе реализации проекта был разработан демонстрационный прототип программного продукта, позволяющий показать концепцию предлагаемого решения. В нем был реализован алгоритм распределения автосамосвалов в штабеле усреднительного склада с помощью построения дерева вариантов, разработана процедура проверки возможности разгрузки самосвала в определенной ячейке, созданы программные интерфейсы для работы с базой данных. Также для демонстрации результатов работы алгоритма упорядоченного формирования усреднительного склада была создана 3D-анимация данного процесса. В качестве движка для визуализации использовалась среда Unity.

На рисунках 5–7 представлены примеры 3D-визуализации результатов работы разработанного прототипа программного решения по формированию усреднительного склада горнодобывающего предприятия. 3D-анимация позволяет продемонстрировать процесс распределения транспортных средств по штабелю усреднительного склада в динамике на основе рассчитанных программой последовательности и позиции разгрузки автосамосвалов. На рисунках слева приводится снимок вычислительных результатов распределения транспортных единиц, а правая часть содержит в табличном виде легенду цветовой идентификации качества руды. Центральная часть рисунков содержит непосредственно 3D-визуализацию результатов работы разработанного прототипа.

Стоит отметить, что визуализация позволяет оценить корректность работы алгоритма распределения транспортных единиц и их разгрузки при формировании штабеля усреднительного склада. Тестирование правильности работы предложенного алгоритма проводилось на тестовых данных: количество транспортных единиц менялось от 5 до 20 единиц, количество ячеек в одном слое штабеля — от  $3 \times 3$  до  $10 \times 10$ . На тестовых данных алгоритм показал свою работоспособность, но были выявлены ситуации, когда алгоритм выдавал некорректное решение. Таким образом, следует продолжить работу по совершенствованию алгоритмов формирования усреднительного склада, возможно, с учетом дополнительных параметров технологических процессов.

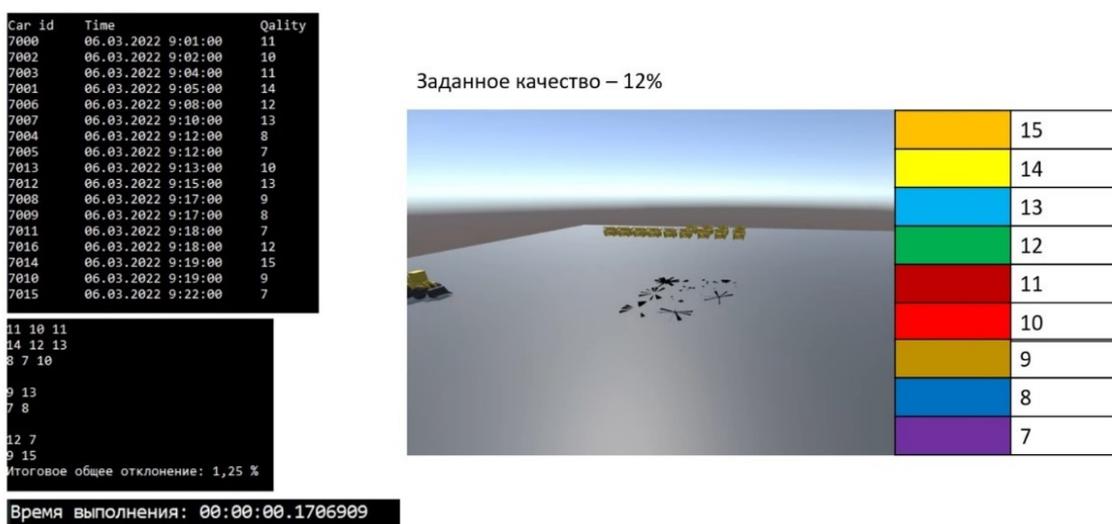


Рис. 5. Визуализация пустого штабеля усреднительного склада

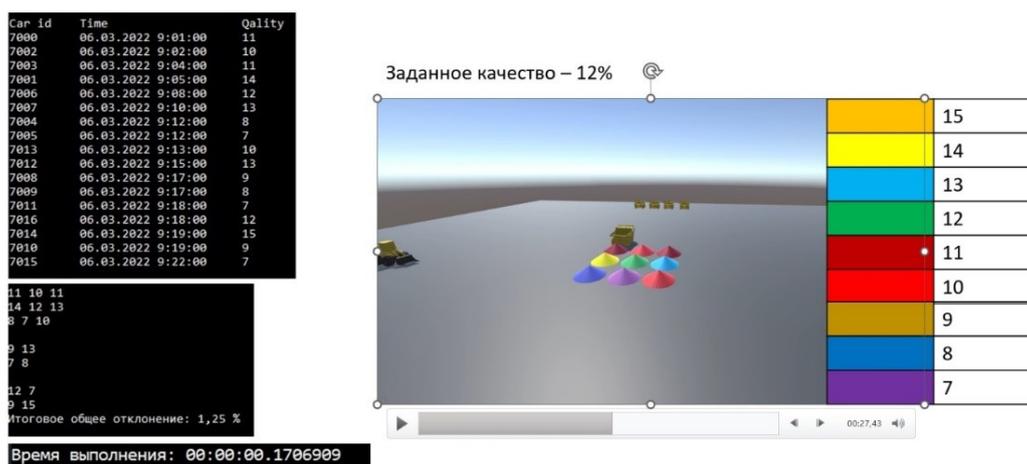


Рис. 6. Визуализация результата формирования первого штабеля на основе автоматически рассчитанной последовательности разгрузки автосамосвалов

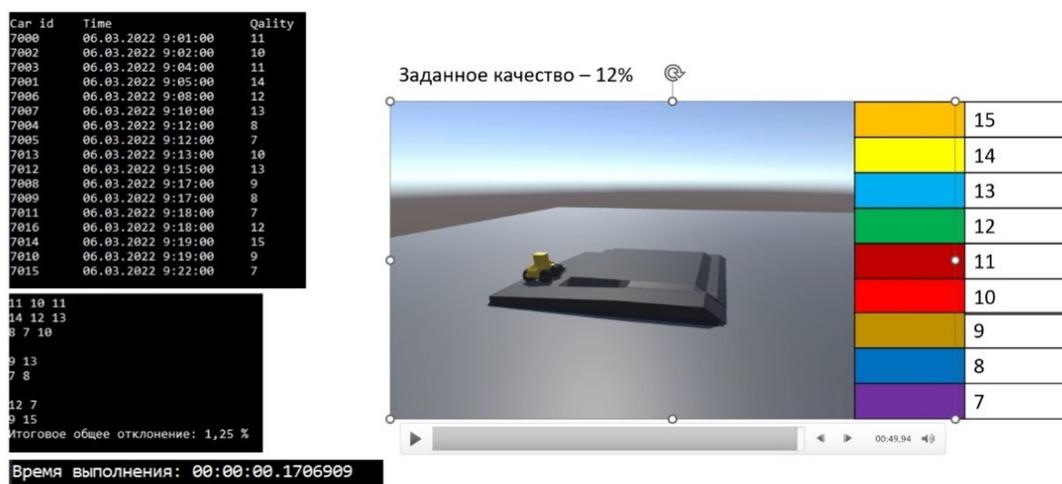


Рис. 7. Визуализация процесса разравнивания штабеля усреднительного склада

## Заключение

В современных условиях повсеместной информатизации и цифровизации процессов управления активностью человека все актуальнее становятся вопросы сквозной автоматизации производственной деятельности горнодобывающих предприятий. Одним из перспективных направлений в этой области является разработка программно-технических решений, лежащих в парадигме цифровых двойников. Основной задачей такого рода систем является предоставление лицу, принимающему решения, полную адекватную информацию о протекающих производственных процессах и потенциальных сценариях развития ситуации при осуществлении тех или иных управляющих воздействий. Компьютерное моделирование является одним из способов разработки такого класса программных систем, который позволяет как спрогнозировать развитие производственных ситуаций, так и протестировать разрабатываемые алгоритмы планирования и управления отдельными производственными процессами.

В статье приводятся промежуточные результаты научно-практического проекта по разработке автоматизированной системы формирования усреднительного склада горнодобывающего предприятия. В рамках проекта проведен анализ текущего состояния горной отрасли и применяемых методов усреднения руды, выделены ключевые логистические звенья работы рудных складов и основные направления автоматизации, составлена концепция программного продукта, призванного

сократить производственные затраты за счет стабилизации качества руды с помощью усреднительного склада. В статье же внимание уделяется разработке отдельных компонентов автоматизированной системы формирования усреднительного склада: алгоритму автоматического планирования последовательности и места разгрузки транспортных единиц, процедуре проверки возможности разгрузки транспортной единицы в указанном месте склада, 3D-визуализации результатов работы предложенных алгоритмов.

В ближайшем будущем проект планируется развивать по следующим перспективным направлениям: 1) усложнение математической модели представления штабеля усреднительного склада с целью повышения степени правдоподобия моделируемых процессов по отношению к реальным; 2) усложнение модели высыпания единичного объема руды за счет перехода от конусообразной структуры к ее усеченной версии; 3) отладка и совершенствование алгоритма определения позиции и последовательности разгрузки транспортной единицы в штабеле усреднительного склада; 4) построение математической модели формирования откосов штабеля и их учет в разработанных алгоритмах; 5) создание модели реалистичной фигуры выемки руды из штабеля экскаватором в процессе погрузки на железнодорожный транспорт.

В качестве дальнейшей перспективы планируется создание полноценной программной и аппаратной экосистемы, обеспечивающей автоматизированное формирование усреднительного склада, состоящей из детально проработанного блока информирования и обратной связи для водителей автосамосвалов, а также блока диспетчера, обеспечивающего централизацию управления всеми технологическими процессами формирования и использования усреднительного склада. Такая программно-техническая система поддержки управления позволит улучшить показатель качества отгружаемой со склада руды, даже в условиях появления внештатных ситуаций, также она может использоваться в качестве компонента цифрового двойника горнодобывающего предприятия.

#### Список источников

1. Тарасов И. В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // Стратегии бизнеса. 2018. № 6 (50). С. 57–63.
2. Saucedo-Martínez J. A. et al. Industry 4.0 framework for management and operations: a review // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2017. June. DOI: 10.1007/s12652017-0533-1
3. Шпак П. С., Сычева Е. Г., Меринская Е. Е. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. 2020. № 1. С. 57–68. DOI 10.24147/1812-3988.2020.18(1).57-68
4. Barth L. et al. Systematization of digital twins // *Proceedings of the 3rd international conference on information science and system*. ACM, New York, 2020. P. 13–23.
5. Enders M. R., Hoßbach N. Dimensions of digital twin applications — a literature review // *Proceedings of the 25th Americas conference on information systems*. Cancun, 2019. P. 1–10.
6. Горно-геологическая информационная система Mineframe [Электронный ресурс]. URL: <http://майнфрэйм.рф/> (дата обращения: 01.11.2022).
7. Мейер Б. Объектно-ориентированное конструирование программных систем. М.: Русская редакция, 2005. 1232 с.

#### References

1. Tarasov I. V. *Industriya 4.0: ponyatiye, kontseptsii, tendentsii razvitiya* [Industry 4.0: idea, concepts, development trends]. *Strategii biznesa* [Business Strategies], 2018, no. 6 (50), pp. 57–63. (In Russ.).
2. Saucedo-Martínez J. A., Lara M., Marmolejo J. A., Salais T. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2017, June. DOI: 10.1007/s12652017-0533-1
3. Shpak P. S., Sycheva Ye. G., Merinskaya Ye. Ye. *Kontseptsiya tsifrovoykh dvoynikov kak sovremennaya tendentsiya tsifrovoy ekonomiki* [The concept of digital twins as a modern trend in the digital economy]. *Vestnik OmGU. Seriya: Ekonomika* [Herald of Omsk University. Series “Economics”], 2020, no. 1, pp. 57–68. (In Russ.). DOI 10.24147/1812-3988.2020.18(1).57-68

4. Barth L., Haarmann J., Ehrat M., Fuchs R. Systematization of digital twins. *Proceedings of the 3rd international conference on information science and system*. ACM, New York, 2020, pp. 13–23.
5. Enders M. R., Hoßbach N. Dimensions of digital twin applications — a literature review. *Proceedings of the 25th Americas conference on information systems*. Cancun, 2019, pp. 1–10.
6. Gorno-geologicheskaya informacionnaya sistema Mineframe [Mining and geological information system Mineframe]. (In Russ.). Available at: <http://майнфрэйм.пф/> (accessed 01.11.2022).
7. Meyyer B. *Ob"yektno-oriyentirovannoye konstruirovaniye programmnykh sistem* [Object-oriented design of program systems]. Moscow, Russkaya redaktsiya, 2005, 1232 p. (In Russ.).

#### *Информация об авторах*

**Р. П. Воронин** — студент третьего курса бакалавриата направления подготовки «Информационные системы и технологии» филиала МАГУ в городе Апатиты;

**В. В. Быстров** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник филиала МАГУ в городе Апатиты, старший научный сотрудник ИИММ КНЦ РАН.

#### *Information about the authors*

**R. P. Voronin** — Third-year Bachelor in the program “Information systems and technologies” of the Apatity branch of the Murmansk Arctic State University;

**V. V. Bystrov** — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher of the Apatity branch of the Murmansk Arctic State University, Senior Researcher of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.94  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Светлана Николаевна Малыгина<sup>1, 2</sup>, Елена Олеговна Неупокоева<sup>3</sup>**

<sup>1, 3</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты,  
Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*malygina@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>

<sup>3</sup>*neupokoeva@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-4059-8724>

### Аннотация

Рассматриваются отечественные среды разработки имитационных моделей. Проводится сравнение программных продуктов, доступных российским пользователям, между собой, а также с наиболее популярным средством разработки Anylogic. Сравнение ведется по выделенным в процессе многолетней работы критериям отбора.

### Ключевые слова:

имитационное моделирование, средства разработки имитационных моделей, сравнительный анализ

### Благодарности:

работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 122022800547-3).

### Для цитирования:

Малыгина С. Н., Неупокоева Е. О. Обзор современных средств имитационного моделирования // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 134–143. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

Original article

## OVERVIEW OF MODERN SIMULATION TOOLS

**Svetlana N. Malygina<sup>1, 2</sup>, Elena O. Neupokoeva<sup>3</sup>**

<sup>1, 3</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Apatity branch of the Murmansk Arctic State University, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*malygina@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>

<sup>3</sup>*neupokoeva@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-4059-8724>

### Abstract

The article deals with domestic environments for the development of simulation models. The software products, available to Russian users, are compared with each other, as well as with the most popular Anylogic development tool. The comparison is carried out according to the selection criteria identified in the course of multi-year experience.

### Keywords:

simulation modeling, simulation model development tools, comparative analysis

### Acknowledgments:

the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122022800547-3).

### For citation:

Malygina S. N., Neupokoeva E. O. Overview of modern simulation tools // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 134–143. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

## Введение

Имитационное моделирование имеет большое значение в наши дни. Оно широко применяется во всех сферах человеческой деятельности: в образовании, медицине, производственной и экономической деятельности, научных исследованиях и т. д. Модели можно реализовывать на универсальных языках программирования или используя программные пакеты. Среди существующих инструментов есть среды

разработки как общего назначения, так и специализированные, которые применяются для конкретной предметной области (моделирование транспортных потоков, производственных технологических процессов и т. п.). В наше время наиболее распространенными инструментами имитационного моделирования в мировой практике являются Anylogic, GPSS, Powersim, Arena, Aimsun, NetLogo.

Большинство программных средств в сфере имитационного моделирования представлено зарубежными производителями. В настоящее время некоторые иностранные компании-разработчики разрывают контракты и отказываются предоставлять свои программные продукты для российских пользователей. В связи с этим на отечественном рынке может образоваться дефицит программных средств и возникнуть необходимость импортозамещения программными продуктами, разработанными в России или в дружественных странах. В данной обзоре рассматриваются отечественные средства разработки в области имитационного моделирования.

### Инструментальные средства разработки моделей

Рассмотрим некоторые инструментальные средства разработки имитационных моделей, предназначенных для решения широкого круга задач.

**Интегрированная система моделирования Actor Pilgrim** разработана под руководством А. А. Емельянова в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» (город Москва). Пакет Pilgrim предназначен для создания дискретно-непрерывных моделей. Он обладает широким спектром возможностей имитации временной, пространственной и финансовой динамики моделируемых объектов. Разрабатываемые модели имеют свойство коллективного управления процессом моделирования. В пакете есть возможность создания пользовательских функций (блоков модели) на стандартном языке C++. В основе лежит парадигма процессно-акторного имитационного моделирования. Актор — специальная агентная программа [1–2]. На сайте [3] заявлено, что существуют бесплатные версии для начинающих и студентов (Personal Learning Edition), для открытых исследований в университетах (University Researcher) и платная — для компаний и государственных организаций (Professional).

**Система моделирования и анализа данных Imitak** была разработана в Государственном университете управления, на кафедре экономической кибернетики (под руководством Ю. Н. Алексева). Существует два пакета — Visual Imitak и Imitak Project. Visual Imitak — это программный продукт, который предназначен для создания и отладки имитационных моделей, анализа результатов моделирования и автоматизации модельных экспериментов. В этом пакете можно строить модели системной динамики, систем массового обслуживания [4]. Более поздняя разработка (Imitak Project) — интегрированная система для построения комплексных имитационных моделей, состоящих из произвольного количества субмоделей (рис. 1) [5]. Последнее обновление было в 2007 г., на данный момент ссылки на скачивание пакета не работают [6].

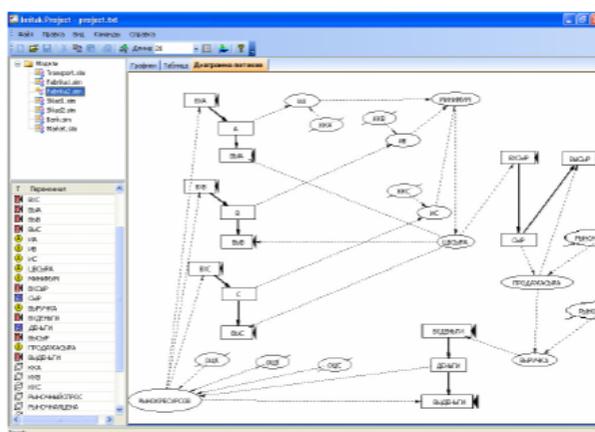


Рис. 1. Главное окно интегрированной системы разработки Imitak Project [5]

**Среда моделирования GPSS STUDIO** — программная система, позволяющая автоматизировать разработку дискретно-событийных имитационных моделей и проводить имитационные исследования (рис. 2). Моделирующим ядром системы является язык имитационного моделирования GPSS World. Пакет разработан ООО «ЭЛИНА – КОМПЬЮТЕР» и зарегистрирован в реестре отечественного программного обеспечения и Роспатенте [7, 8].

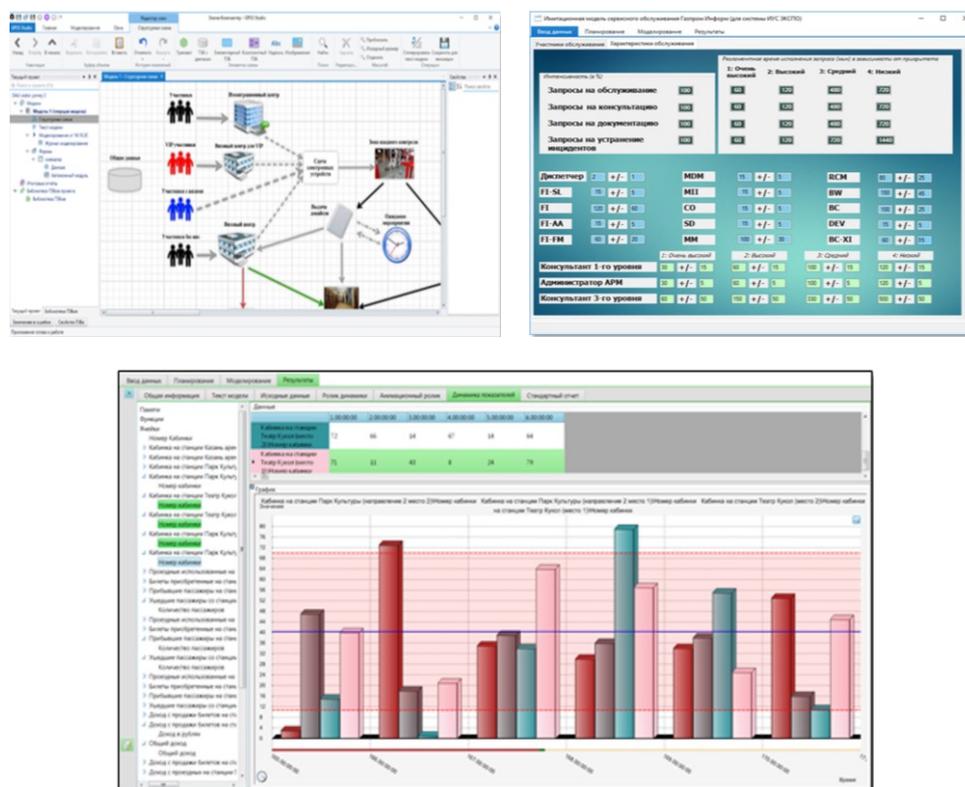
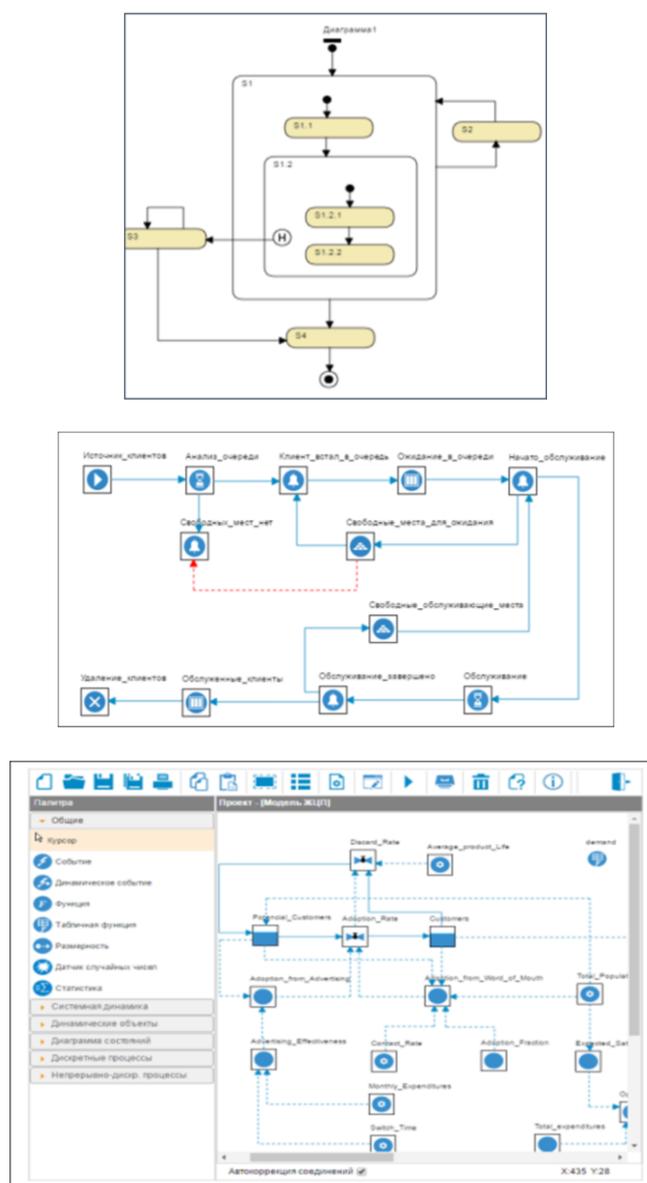


Рис. 2. Разработка моделей в среде GPSS STUDIO [8]

Основополагающими принципами, реализованными в среде GPSS Studio, являются [8]: 1) единое исследовательское пространство (все исходные данные, модели и результаты объединяются в виде единого проекта для каждой модели, на протяжении всего процесса исследования производится автоматизация действий исследователя); 2) упрощение взаимодействия с моделью (для каждой модели можно создать удобный, наглядный интерфейс, что упрощает работу с моделью в процессе исследования); 3) предоставление большого спектра инструментов для конструирования модели и проведения имитационных исследований, в том числе графических, подходящих для пользователей разного уровня подготовки; 4) создание приложений, ориентированных на предметную область, дает возможность массового использования моделей.

Главным плюсом среды GPSS Studio можно считать возможность создания анимационного ролика и независимого имитационного приложения для предоставления его заказчику. Кроме того, GPSS Studio позволяет использовать дедуктивный и индуктивный подходы или их комбинацию в визуальном редакторе при создании иерархических имитационных моделей и с помощью использования блоков GPSS формировать новую логику. В процессе моделирования возможно выполнение как одиночных экспериментов, так и серии, а также детальный мониторинг переменных. Присутствует и базовый функционал, с помощью которого можно отлаживать код, выполнять модели и анализировать результаты моделирования [8].

**Веб-приложение iWebsim.** Программа iWebsim представляет собой веб-приложение, предназначенное для имитационного моделирования динамических систем. В iWebsim реализуется комплексный подход к имитационному моделированию динамических систем, базирующийся на принципах и методологии системной динамики, дискретно-событийного моделирования, а также моделирования совокупностей («популяций») динамических объектов, способных к взаимодействию друг с другом (рис. 3) [9, 10].



**Рис. 3.** Примеры реализации моделей в среде iWebsim [9]

Данная программа предоставляет пользователям среду разработки моделей динамических систем и все необходимые инструменты для проведения на их основе различных имитационных экспериментов. Разработчиком системы является Алексей Николаевич Балухто (Центральный научно-исследовательский институт машиностроения). Приложение является свободно распространяемым продуктом. В 2017 г. оно включено в реестр отечественного программного обеспечения [11]. На данный момент сервис (официальный сайт [www.iwebsim.ru](http://www.iwebsim.ru)) недоступен.

**Среда моделирования *Rand Model Designer*** разработана коллективом авторов: Ю. Б. Колесовым (город Москва), Д. Б. Иниховым, Ю. Б. Сениченковым (город Санкт-Петербург). Предыдущее название — *MvStadium*. Она предназначена для моделирования сложных динамических систем. Позволяет быстро создавать визуальные интерактивные модели многокомпонентных непрерывных, дискретных и гибридных (непрерывно-дискретных) систем и проводить с ними активные вычислительные эксперименты. Создание модели, визуализация результатов и управление вычислительным экспериментом не требуют написания программного кода. Модели задаются на математическом уровне абстракции. Для описания непрерывного поведения используются дифференциально-алгебраические уравнения. Для описания дискретного и гибридного поведения используются визуальные карты поведения, являющиеся расширением карт состояний UML [12].

На рисунке 4 представлены примеры реализации моделей в среде *Rand Model Designer*.

Существует свободно распространяемая версия (*AnyDynamics*), которая отличается от *RMD 8 Professional* только тем, что не позволяет создавать модели, встраиваемые в приложение. Среда *Rand Model Designer* включена в реестр отечественного программного обеспечения [13].

### **Критерии выбора среды разработки**

В Институте информатики и математического моделирования Кольского научного центра Российской академии наук многие годы идут работы по созданию методов и средств поддержки управления региональными социально-экономическими системами. Одним из основных инструментов является имитационное моделирование предметной области. В нашей работе при реализации моделей в основном использовался системно-динамический подход, позднее стали применять агентное моделирование, так как оно позволяет рассмотреть объект исследования на более детализированном уровне и задать более сложное поведение для элементов модели. В связи с этим в качестве среды разработки моделей на данный момент используется программное инструментальное средство *Anylogic*, предназначенное для решения широкого круга задач в сфере имитационного моделирования и поддерживающее совместную работу основных подходов к нему.

Изначально среда *Anylogic* была создана российскими разработчиками, но со временем права на программное обеспечение стали принадлежать США. В связи с этим есть вероятность потери доступа к этому программному обеспечению. Для поиска полноценной доступной замены нами были сформулированы следующие критерии: совместное применение системной динамики, агентного и дискретно-событийного моделирования; визуализация результатов моделирования (в виде графиков, таблиц, анимации); выгрузка / загрузка данных во внешнее приложение; возможность использования разработанных самостоятельно пользовательских функций; возможность создания исполняемого файла для просмотра работы модели независимо от установки среды разработки.

Сравнение рассмотренных пакетов моделирования по данным критериям приведено в таблице.

### **Заключение**

В настоящее время в России ведутся разработки в области инструментальных средств имитационного моделирования, но они не могут охватить все подходы (системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование) и обеспечить их совместную работу. В отличие от инструментальной среды *Anylogic*, использующейся в настоящее время, представленные средства в лучшем случае объединяют два подхода, а чаще всего используют только один. Поэтому, по нашему мнению, действенных отечественных аналогов программному средству *Anylogic* на данный момент на отечественном рынке не представлено. Наиболее близкой заменой может послужить среда *iWebsim*, но в настоящее время сервис недоступен.

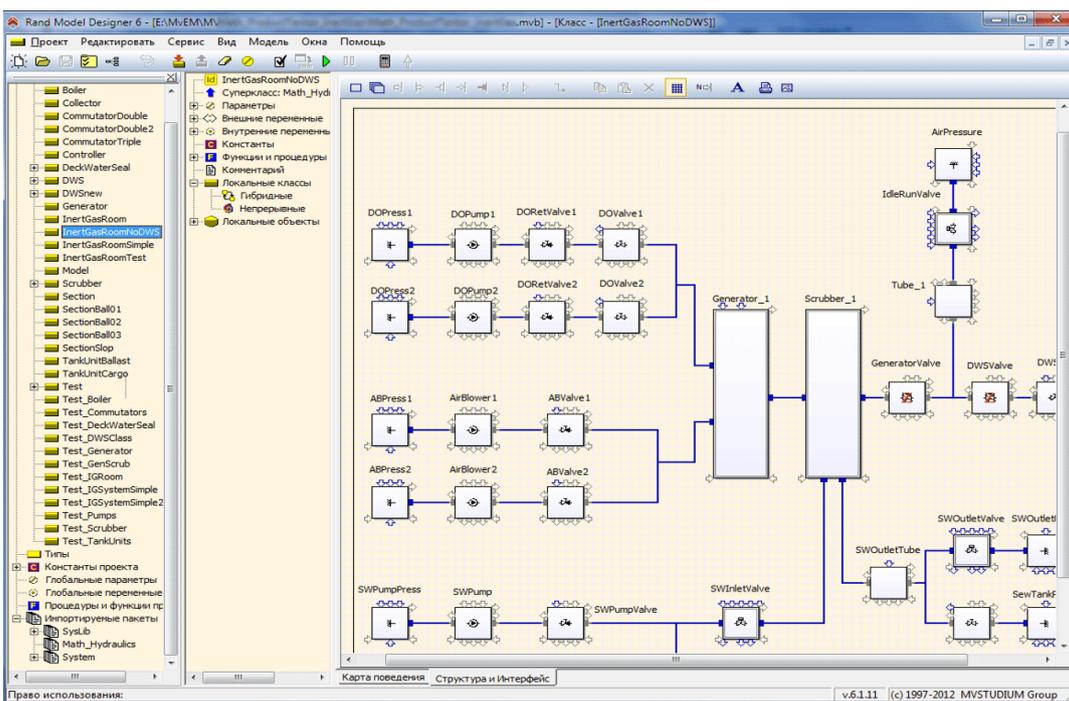
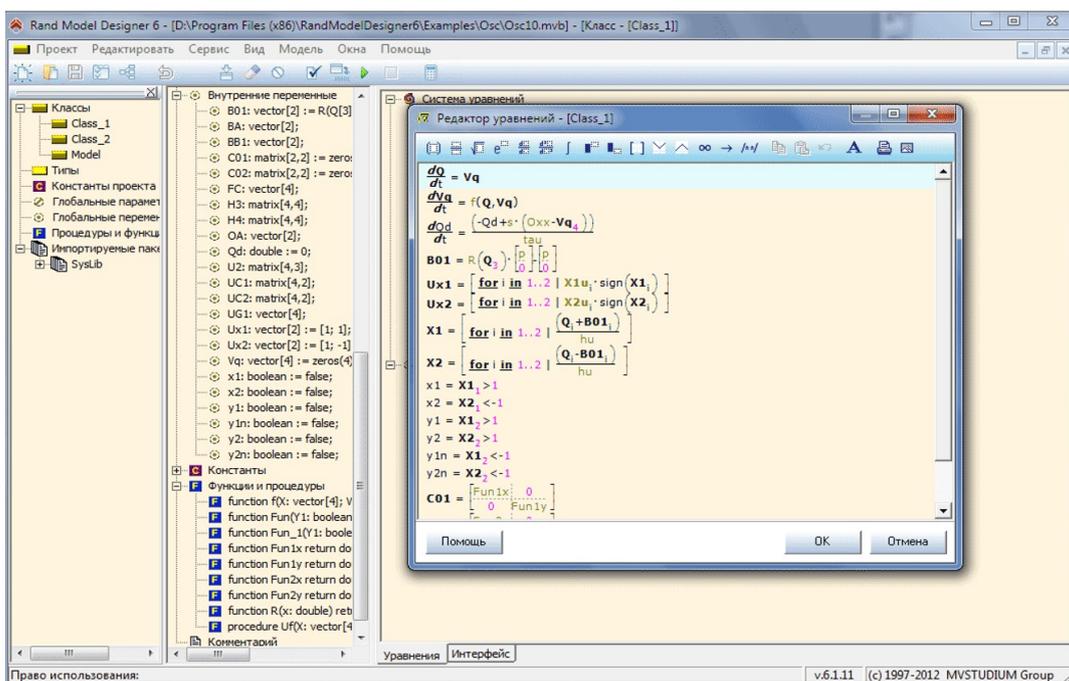


Рис. 4. Примеры реализации моделей в среде Rand Model Designer [13] (начало)

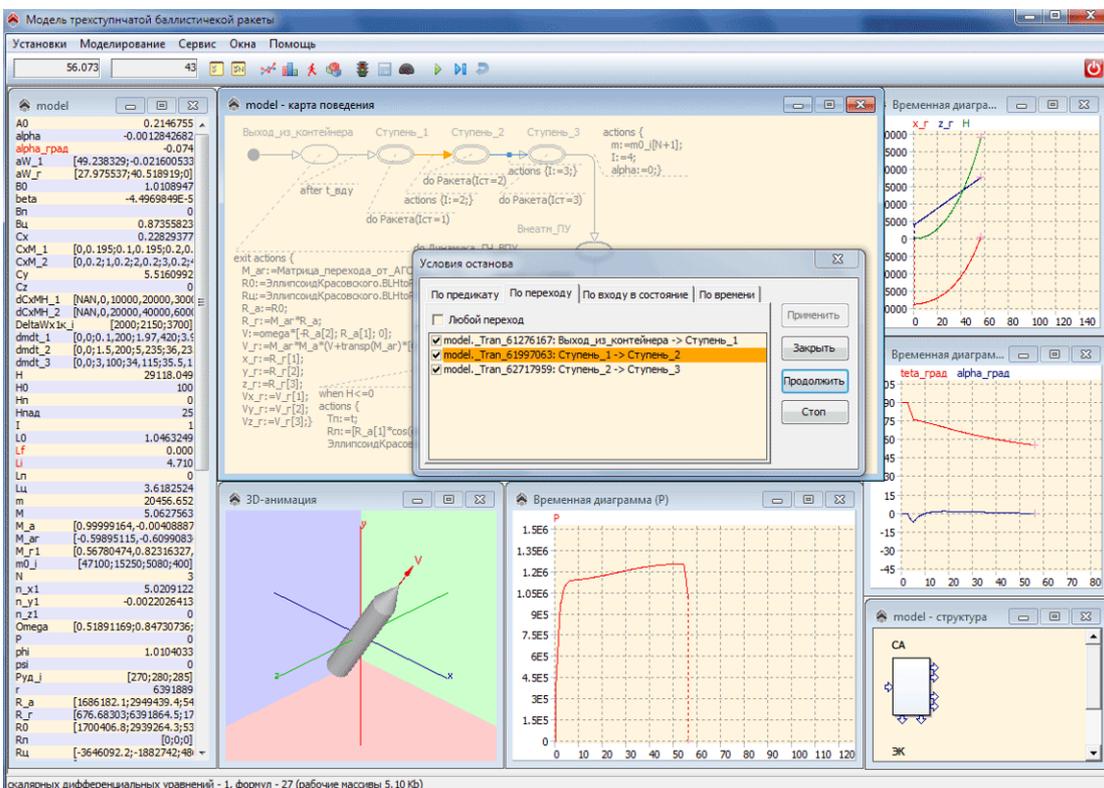
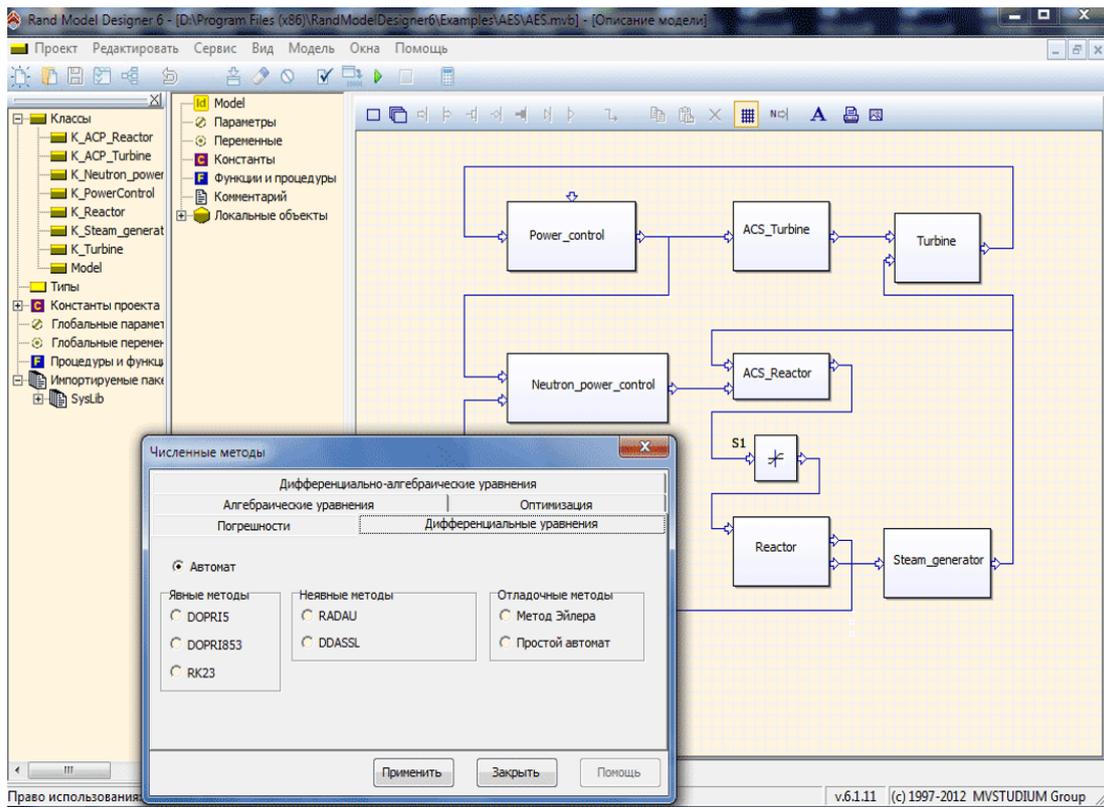


Рис. 4. Примеры реализации моделей в среде Rand Model Designer [13] (окончание)

Сравнение средств разработки имитационных моделей

	Подход к моделированию	Визуализация результатов моделирования (в виде графиков, таблиц, анимации)	Выгрузка / загрузка данных во внешнее приложение	Возможность использования пользовательских функций	Возможность создания исполняемого файла для просмотра работы модели независимо от установки среды разработки
Actor Pilgrim	Дискретно-событийное, агентное (акторное имитационное моделирование)	+	-	+	-
Imitak	Системная динамика, дискретно-событийное	+	-	-	-
GPSS STUDIO	Дискретно-событийное	+	+	+	+
iWebsim	Системная динамика, дискретно-событийное, агентное моделирование	+	Неизвестно	+	Является веб-приложением
Rand Model Designer	Абстрактно-математическое описание непрерывных и дискретных динамических систем	+	-	+	+

### Список источников

1. Емельянов А. А., Емельянова Н. З. Имитационное моделирование и компьютерный анализ экономических процессов: учеб. пособие. Смоленск: Издательство «Универсум», 2013. 266 с.
2. Система Actor Pilgrim. URL: <http://simulation.su/static/actor-pilgrim-full-info.html> (дата обращения: 22.09.2022).
3. Интегрированная система моделирования Actor Pilgrim. URL: <https://pilgrim.mpei.ru/software/Pages/default.aspx> (дата обращения: 22.09.2022).
4. Максимов К. М. Краткий обзор системы моделирования Visual Imitak // Материалы Второй всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности ИММОД-2005. СПб., 2005. С. 233–237.
5. Максимов К. М., Максимов В. М. Практика применения системы имитационного моделирования Imitak Project // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докл. третьей всерос. науч.-практич. конф. ИММОД-2007. Т. 1. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2007. С. 287–290.
6. Программное обеспечение в ГУУ. URL: <http://guusoft.narod.ru/index.htm> (дата обращения: 28.09.2022).
7. ALINA GPSS. URL: [https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase\\_id=2009140](https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=2009140) (дата обращения: 28.09.2022).
8. О ALINA GPSS (GPSS Studio). URL: [http://elina-computer.ru/static/about\\_gpss\\_studio.html](http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html) (дата обращения 28.09.2022).
9. Балухто А. Н., Соколов Б. В. IWEBSIM — современная веб-технология в области комплексного моделирования сложных динамических систем // Имитационное моделирование. Теория и практика: восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (Санкт-Петербург, 18–20 октября 2017 г.). СПб.: НП «НОИМ», 2017. С. 8–17.
10. Балухто А. Н., Соколов Б. В., Карсаев О. В. Облачная платформа IWEBSIM как средство имитационного моделирования космических систем // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): Труды конференции (электронное издание) (СПб., 20–22 октября 2021 г.) / ред. Плотников А. М., Долматов М. А., Смирнова Е. П. СПб.: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2021. С. 95–104.
11. Веб-приложение iWebsim 2.0. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/304375/> (дата обращения: 28.09.2022).
12. AnyDynamics — имитационное моделирование сложных динамических систем. URL: <https://www.mvstudium.com/intro.htm> (дата обращения: 28.09.2022).
13. Rand Model Designer. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/302359/> (дата обращения: 28.09.2022).

### References

1. Emelyanov A. A., Emelyanova N. Z. *Imitacionnoe modelirovanie i komp'yuternyj analiz ekonomicheskikh processov* [Simulation modeling and computer analysis of economic processes]. Smolensk, Izdatel'stvo "Universum", 2013, 266 p. (In Russ.).
2. Sistema Actor Pilgrim [System Actor Pilgrim]. (In Russ.). Available at: <http://simulation.su/static/actor-pilgrim-full-info.html> (accessed 22.09.2022).
3. Integrirovannaya sistema modelirovaniya Actor Pilgrim [Actor Pilgrim Integrated Modeling System]. (In Russ.). Available at: <https://pilgrim.mpei.ru/software/Pages/default.aspx> (accessed 22.09.2022).
4. Maksimov K. M. Kratkij obzor sistemy modelirovaniya Visual Imitak [A brief overview of the Visual Imitak modeling system]. *Materialy Vtoroj vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti IMMOD-2005* [Proceedings of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry IMMOD-2005]. Saint Petersburg, 2005, pp. 233–237. (In Russ.).

5. Maksimov K. M., Maksimov V. M. Praktika primeneniya sistemy imitacionnogo modelirovaniya Imitak Project [The practice of using the Imitak Project simulation system]. *Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: Sbornik докладov tret'ej vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii IMMOD-2007* [Simulation modeling. Theory and practice: Collection of reports of the Third All-Russian Scientific and Practical Conference IMMOD-2007]. Vol. 1. Saint Petersburg, FSUE TSNIIS, 2007, pp. 287–290. (In Russ.).
6. Programmnoe obespechenie v GUU [Software in GUU]. (In Russ.). Available at: <http://guusoft.narod.ru/index.htm> (accessed 28.09.2022).
7. ALINA GPSS. (In Russ.). Available at: [https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase\\_id=2009140](https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=2009140) (accessed 28.09.2022).
8. O ALINA GPSS (GPSS Studio) [About ALINA GPSS (GPSS Studio)]. (In Russ.). Available at: [http://elina-computer.ru/static/about\\_gpss\\_studio.html](http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html) (accessed 28.09.2022).
9. Baluhto A. N., Sokolov B. V. IWEBSIM — sovremennaya veb-tehnologiya v oblasti kompleksnogo modelirovaniya slozhnyh dinamicheskikh sistem [IWEBSIM is a modern web technology in the field of complex modeling of complex dynamic systems]. *Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: vos'maya Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti (Sankt-Peterburg, 18–20 oktyabrya 2017 g.)* [Simulation modeling. Theory and Practice: the Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry]. Saint Petersburg, NP “NOIM”, 2017, pp. 8–17. (In Russ.).
10. Baluhto A. N., Sokolov B. V., Karsaev O. V. Oblachnaya platforma IWEBSIM kak sredstvo imitacionnogo modelirovaniya kosmicheskikh sistem [IWEBSIM cloud platform as a means of space systems simulation]. *Desyataya vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti “Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika” (IMMOD-2021): Trudy konferencii (elektronnoe izdanie)* [The tenth All-Russian Scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry “Simulation modeling. Theory and Practice” (IMMOD-2021): Proceedings of the conference (electronic edition)]. Saint Petersburg, AO “Centr tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta”, 2021, pp. 95–104. (In Russ.).
11. Veb-prilozhenie iWebsim 2.0 [iWebsim 2.0 Web Application]. (In Russ.). Available at: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/304375/> (accessed 28.09.2022).
12. AnyDynamics — imitacionnoe modelirovanie slozhnyh dinamicheskikh sistem [Any Dynamics — simulation of complex dynamic systems]. (In Russ.). Available at: <https://www.mvstudium.com/intro.htm> (accessed 28.09.2022).
13. Rand Model Designer. (In Russ.). Available at: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/302359/> (accessed 28.09.2022).

#### **Информация об авторах**

**С. Н. Малыгина** — кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры информатики и вычислительной техники;

**Е. О. Неупокоева** — стажер-исследователь.

#### **Information about the authors**

**S. N. Malygina** — PhD (Engineering), Researcher, Associate Professor of IT and Computing Tools Department;

**E. O. Neupokoeva** — Intern Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 11.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 11.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

Научная статья  
УДК 004.832  
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

## ЗАДАЧИ ЛОГИСТИКИ: КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

**Алексей Владимирович Шестаков<sup>1</sup>**, **Александр Анатольевич Зуенко<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова  
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

<sup>1</sup>*shestakov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>

<sup>2</sup>*zuenko@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

### Аннотация

Приводятся определения задач логистики и дается их классификация. Рассмотрены некоторые математические постановки задач логистики и методы их решения. В частности, описываются задача коммивояжера, задача распределения ресурсов, транспортная задача, задача поиска максимального потока в сети.

### Ключевые слова:

логистика, транспортная задача, максимальный поток, распределение ресурсов, задача коммивояжера

### Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

### Для цитирования:

Шестаков А. В., Зуенко А. А. Задачи логистики: классификация и методы решения // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 144–150. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

Original article

## LOGISTICS TASKS: CLASSIFICATION AND METHODS OF SOLUTION

**Aleksey V. Shestakov<sup>1</sup>**, **Alexander A. Zuenko<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

<sup>1</sup>*shestakov@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>

<sup>2</sup>*zuenko@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>

### Abstract

The article provides definitions of logistics tasks and their classification. Some mathematical statements of logistics problems and methods of their solution are also given. In particular, the following combinatorial optimization problems are described: the traveling salesman problem, the resource allocation problem, the transportation problem, the maximum flow problem.

### Keywords:

logistics, transportation problem, maximum flow, resource allocation, traveling salesman problem

### Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic “Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data” (registration number of the research topic 122022800551-0).

### For citation:

Shestakov A. V., Zuenko A. A. Logistics tasks: classification and methods of solution // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 144–150. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

© Шестаков А. В., Зуенко А. А., 2022

## Введение

Задачи логистики всегда привлекали внимание математиков. Например, одной из известнейших задач, исследуемых в теории графов, является задача коммивояжера, а задачи военной логистики были первыми практическими применениями методов линейного программирования. С тех пор интерес только возрастал, а с появлением вычислительной техники появилась возможность решать задачи большой размерности. В настоящей статье рассмотрены определения задач логистики и дается их классификация. Также приводятся некоторые математические постановки задач логистики и традиционные методы их решения.

## Понятие логистики и задачи логистики

В широком смысле логистика занимается планированием, координацией и управлением перемещением, складированием, а также другими процедурами, которые имеют место в экономической деятельности предприятия [1].

В зависимости от направленности существует много определений логистики, в контексте этой работы выделим два из них.

Логистика — это наука об управлении и оптимизации материальных потоков, потоков услуг и связанных с ними информационных и финансовых потоков в определенной микро-, мезо- или макроэкономической системе для достижения поставленных перед ней целей [2].

Логистика — интегральный инструмент менеджмента, способствующий достижению стратегических, тактических или оперативных целей организации бизнеса за счет эффективного с точки зрения снижения общих затрат и удовлетворения требований конечных потребителей к качеству продуктов и услуг управления материальными и (или) сервисными потоками, а также сопутствующими им потоками информации и финансов [3].

В логистике выделяют три группы задач [4].

1. Глобальные (главные) задачи. Такие задачи направлены на моделирование логистических систем, а также правил для их бесперебойной работы. Глобальные задачи заключаются в поиске решений, как при минимальных затратах и нестабильной ситуации рынка получить высокую эффективность.

2. Общие задачи логистики связаны с системами контроля и регулирования материальных и информационных потоков, разработкой методов, отвечающих за перемещение и распределения продукции.

3. Частные задачи логистики направлены на решение узкого спектра проблем, например, ускорение перевозки товаров, уменьшение срока нахождения товара на складах и т. д.

Логистика направлена на рациональное повышение эффективности хозяйственной деятельности посредством управления различными видами потоков (материальных, энергетических) (рис. 1.) [5]. Среди них можно выделить следующие ее виды: а) *закупочная логистика* отвечает за процессы при доставке, получении, перемещении и хранении материалов, приобретенных для бизнеса или организации; б) *производственная логистика* включает в себя управление закупленными деталями и материалами, распределение внутри фабрики, управление продукцией, упаковку и доставку на склад; управление доставкой, отправкой со склада и отгрузкой может быть оптимизировано, а состоянием транспортных средств доставки можно управлять, учитывая связь логистики закупок и видов логистики, описанных ниже; в) *распределительная логистика* является комбинацией процессов, которые эффективно перемещают товары в процессе выполнения заказа от склада к конечному потребителю; г) *транспортная логистика* включает в себя комплексный подход ко всем процессам в логистике, которые необходимы для осуществления перевозок.

Также выделяют логистику, направленную на поддержку информационного обеспечения, энергетического, логического сервиса.

Можно отметить следующие обобщенные функции логистики [6].

1. *Регулирующая функция*. Управляющее действие логистики направлено на контроль состояния отдельных элементов системы для сохранения состояния удовлетворения интересов всей системы, а также на экономию затрат всех видов — как трудовых, так и материальных.

2. *Интегрирующая функция.* Логистика осуществляет координирование потребностей посредников, поддержку потребителей, согласование условий для транспортировки продукции с ориентацией на рынок средств производства, складирования, реализации продукции.

3. *Результирующая функция.* Логистика затрагивает весь жизненный цикл продукции относительно спроса, а именно «снабжение — производство — распределение — потребление», и обеспечивает стратегии и технологии физического перемещения товаров нужного объема продукции в необходимое место при максимально низких расходах и в определенное время.

4. *Системообразующая функция.* Логистика подразумевает использование оптимальных методик обеспечения процесса управления ресурсами, управление перемещением продукции и товаров.

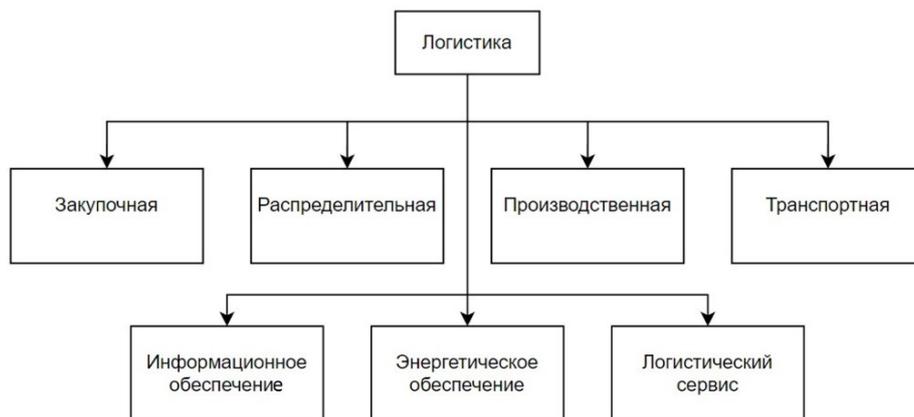


Рис. 1. Обобщенная классификация видов логистики

Далее рассматриваются математические постановки некоторых логистических задач и методы их решения. Данные постановки, несмотря на их простоту и академичность, составляют основу многих практически значимых задач.

### Постановка и методы решения задачи распределения ресурсов

Рассмотрим задачи распределения ресурсов. Этот тип задач направлен на оптимизацию и улучшение использования ресурсов относительно введенных критериев оптимальности [7–10].

Пусть есть  $c_{ij}$  — стоимость перевозки груза от поставщика  $i$  до потребителя  $j$ ,  $m$  — количество поставщиков,  $n$  — количество потребителей и  $a_1, a_2, \dots, a_m$  — количество (объем) груза у поставщиков, а также  $b_1, b_2, \dots, b_n$  — количество (объем) груза, необходимое потребителям [11]. Отметим, что  $x_{ij}$  — объемы перевозок от поставщика  $i$  до потребителя  $j$ , причем  $x_{ij} \geq 0$ . Коэффициенты и переменные полагаются вещественными.

С математической точки зрения задачу линейного программирования можно сформулировать так: необходимо найти максимум целевой функции (линейной):

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i. \quad (2)$$

Задача, представленная в математической форме, решается при помощи методов математической оптимизации. Если целевая функция и ограничения заданы в линейной форме, то для решения задачи можно использовать методы линейного программирования. В ситуации, когда что-то из них является нелинейным, можно использовать подход на основе множителей Лагранжа. Метод Карушка — Куна — Таккера применяется в случаях, определенных неравенствами нелинейных ограничений.

Для решения общей задачи главными алгоритмами являются симплекс-метод и графический метод.

### Постановка и методы решения транспортной задачи

Необходимо сформировать план перевозок, в котором при минимальных затратах товары будут доставлены потребителям и будут покрыты их потребности в данном продукте:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_j, j = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Классическую транспортную задачу можно решить симплекс-методом, но в силу ряда особенностей обычно применяются другие методы [9–11]. Для этого определяется опорный план и находится оптимальное решение посредством последовательных операций. Для нахождения опорного плана можно использовать методы, представленные ниже.

**Метод северо-западного угла (диагональный или улучшенный).** В таблице необходимо заполнить верхнюю левую клетку самым крупным числом из доступных на данном шаге, то есть заполнение сводится к тому, что полностью вывозится груз из  $a_i$  или полностью удовлетворяется потребность  $b_j$  [12].

**Метод наименьшего элемента.** В данном методе задача сводится к максимальному уменьшению сторонних распределений продукции между потребителями. Это происходит следующим образом [13]: 1) выбирается клетка с наименьшей стоимостью из таблицы; 2) в нее заносится максимальное из доступных значений; 3) исключаются из рассмотрения строки и столбцы потребителей с полностью удовлетворенными потребностями, а также строки и столбцы поставщиков с полностью использованными товарами; 4) в случае наличия неисключенных строк и столбцов переход к пункту 1; 5) задача решена.

**Решение с помощью теории графов.** Пусть имеется двудольный граф. В нем пункты потребления находятся в нижней части. К ним присоединен сток, также пропускная способность пункта потребления в сток равна потребности в продукте в этом пункте. Пункты производства находятся в верхней части. К ним присоединен исток. Пропускная способность ребер из истока в каждый пункт производства равна запасу продукта в этом пункте. Ребра имеют бесконечную пропускную способность и цены за единицу потока  $c_{ij}$ .

В последствии необходимо решить задачу по поиску максимального потока минимальной стоимости (mincost maxflow).

### Постановка и методы решения задачи о максимальном потоке

Задача о максимальном потоке состоит в поиске такого потока (рис. 2), что сумма потоков из истоков или стоков достигает максимального значения [13].

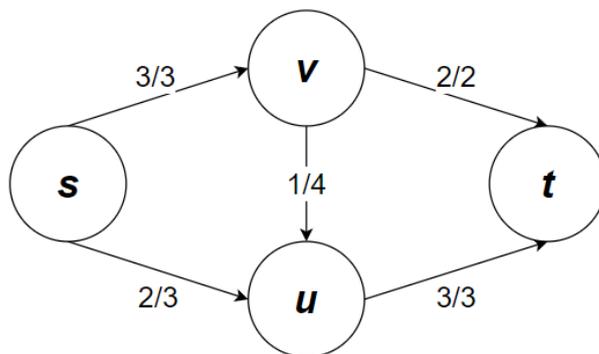


Рис. 2. Максимальный поток в транспортной сети. Числа обозначают потоки и пропускные способности

Пусть есть  $G = (V, E)$  — транспортная сеть, которая представляет собой связанный, ациклический, ориентированный граф;  $E$  — множество ребер;  $s, t \in V$  являются истоком и стоком с пропускной способностью  $c : E \rightarrow R^+$ ;  $u, v$  — вершины графа.

Тогда математическая постановка задачи заключается в нахождении величины потока, в котором сумма потоков из источников максимальна:

$$|f| = \sum_{s,v \in V} f_{sv} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Также, должны быть удовлетворены основные условия: поток по ребру не может быть больше, чем его пропускная способность; количество вещества, вытекающего из истока, совпадает с общим количеством вещества, поступающего в сток; поток  $|f|$  должен быть положительным, в противном случае исток может оказаться стоком.

Для решения задачи о максимальном потоке используются методы линейного программирования, основанные на симплекс-методе, алгоритм Форда — Фалкерсона, алгоритм Эдмондса — Карпа, алгоритм проталкивания предпотока, алгоритм Диница и т. д.

### Постановка и методы решения задачи коммивояжера

Задача коммивояжера заключается в построении такого маршрута, при котором будет найдено минимальное расстояние между определенными парами городов при условии, что начальный город должен являться конечным, а также каждый город маршрут проходит строго единожды.

Задача коммивояжера может быть смоделирована с помощью неориентированного взвешенного графа, где города являются вершинами графа, пути — ребрами графа, а расстояния между вершинами — весами ребер. Часто модель представляет собой полный граф (то есть каждая пара вершин соединена ребром). Если между двумя городами не существует пути, то ребру приписывается достаточно большой вес.

Задачу коммивояжера можно описать как задачу целочисленного линейного программирования [14].

Пусть имеются города  $1, \dots, n$  и расстояние между городами  $c_{ij} > 0$ , где  $i$  — один город,  $j$  — другой. Таким образом основные переменные можно представить в виде:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } x \text{ принадлежит маршруту из города } i \text{ в город } j \\ 0 & \text{если } x \text{ не принадлежит маршруту из города } i \text{ в город } j, \end{cases} \quad (7)$$

тогда задача состоит в минимизации суммарного пройденного расстояния:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i, j=1}^n c_{ij} x_{ij}; \quad (8)$$

$$a) \sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1; \quad b) \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n; \quad (9)$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \neq i, j \in Q} x_{ij} \leq |Q| - 1 \quad \forall Q \subsetneq \{1, \dots, n\}, |Q| \geq 2. \quad (10)$$

Первый набор равенств (9a) требует, чтобы в каждый город прибывали ровно из одного другого города, а второй набор (9b) — чтобы из каждого города было отправлено ровно в один другой город. Последнее ограничение (10) гарантирует, что никакое надлежащее подмножество  $Q$  не может сформировать подмаршрут, поэтому возвращаемое решение представляет собой один маршрут, а не объединение меньших маршрутов, иначе это приводит к экспоненциальному числу возможных решений.

К простейшим методам решения задачи относятся: полный перебор, случайный перебор, жадные алгоритмы, метод ближайшего соседа, метод включения ближайшего города, метод самого дешёвого включения, метод минимального остовного дерева, метод имитации отжига.

Алгоритмы решения, которые направлены на сокращения полного перебора, являются эвристическими, или «субоптимальными». Методы, использующие подобные алгоритмы, за разумное время способны дать приближенное решение. Методы точных алгоритмов позволяют находить решения достаточно быстро, однако это относится только к задачам малой размерности. Поэтому целесообразно использовать модификации алгоритма муравьиной колонии, метода ветвей и границ и метода генетических алгоритмов.

### Заключение

Логистические информационные системы представляют собой автоматизированные системы управления логистическими процессами. Несмотря на высокую востребованность в промышленности эффективных методов решения логистических задач, а также достигнутый уровень элементной базы современных компьютеров, многие прикладные задачи логистики решаются с использованием эксклюзивных программных решений. Тем не менее, основу подобных решений, как правило, составляет развитие рассмотренных в статье математических постановок задач логистики.

### Список источников

1. Панасенко Е. В. Логистика: персонал, технологии, практика: учеб. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 224 с.
2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов: учебное пособие / В. И. Сергеев, А. Н. Стерлигова, В. В. Дыбская, Е. И. Зайцев. М.: ИНФРА-М, 2005. 976 с.
3. Григорьев М. Н. Логистика: конспект лекций. М.: Юрайт, 2016. 207 с.
4. Логистика: учеб. пособие / А. У. Альбеков, Т. В. Пархоменко, Г. А. Лопаткин и др. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2016. 403 с.
5. Логистика: учебник для среднего профессионального образования / В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе, А. К. Антонюк. М.: Юрайт, 2022. 287 с.
6. Анопченко Т. Ю., Волошин Г. А., Григан А. М. Менеджмент: Экзаменационные ответы. Серия «Сдаем экзамен»: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 384 с.
7. Кузнецов А. В., Холод Н. И., Костевич Л. С. Руководство к решению задач по математическому программированию: учеб. пособие. Минск: Высшая школа, 1978. 110 с.
8. Словарь по кибернетике: учеб. пособие / под ред. В. С. Михалевича. Киев: Главная редакция Украинской советской энциклопедии имени М. П. Бажана, 1989. 751 с.
9. Конюховский П. В. Математические методы исследования операций в экономике: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2000. 208 с.
10. Симаков Е. Е. Решение транспортных задач с применением программирования в системе MathCAD // Молодой ученый. 2014. № 5 (64).
11. Куличкина А. В., Захарова А. С., Ручкин В. Н. Решение транспортной задачи в исследовании операций // Методы и средства обработки и хранения информации: Межвузовский сборник научных трудов. 2019. С. 289–294.
12. Орлова И. В., Гармаш А. Н. Математические методы в управлении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11 (1). С. 125–126.
13. Алгоритмы: построение и анализ: учеб. пособие / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. М.: Вильямс, 2005. 1296 с.
14. Левитин А. В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ: учеб. пособие. М.: Вильямс, 2006. 576 с.

### References

1. Panasenko E. V. *Logistika: personal, tekhnologii, praktika* [Logistics: personnel, technologies, practice]. Moscow, Infra-Inzheneriya, 2011, 224 p. (In Russ.).
2. Sergeev V. I., Sterligova A. N., Dybskaya V. V., Zaitsev E. I. *Korporativnaya logistika: 300 otvetov na voprosy professionalov* [Corporate logistics: 300 answers to professional questions]. Moscow, NIC INFRA-M, 2005, 976 p. (In Russ.).
3. Grigoriev M. N. *Logistika: konspekt lekciy* [Logistics: lecture notes]. Moscow, Yurajt, 2016, 216 p. (In Russ.).
4. Albekov A. U., Parkhomenko T. V., Lopatkin G. A. *Logistika* [Logistics]. Moscow, RIOR: INFRA-M, 2016, 403 p. (In Russ.).
5. Melnikov V. P., Skhirtladze A. G., Antonyuk A. K. *Logistika* [Logistics]. Moscow, Yurajt, 2022, 287 p. (In Russ.).
6. Anopchenko T. Yu., Voloshin G. A., Grogan A. M. *Menedzhment: Ekzamenacionnye otvety. Seriya "Sdaem ekzamen"* [Management: Exam answers. The series "Passing the exam"]. Rostov-on-Don, Feniks, 2002, 384 p. (In Russ.).
7. Kuznetsov A. V., Kholod N. I., Kontsevich L. S. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po matematicheskomu programmirovaniyu* [A guide to solving problems in mathematical programming]. Minsk, Vysshaya shkola, 1978, 110 p. (In Russ.).
8. Mikhalevich V. S. *Slovar' po kibernetike* [Dictionary of Cybernetics]. Kiev, Glavnaya redakciya Ukrainskoj sovetskoj enciklopedii imeni M. P. Bazhana, 1989, 751 p. (In Russ.).
9. Konyukhovskiy P. V. *Matematicheskie metody issledovaniya operacij v ekonomike* [Mathematical methods of operations research in Economics]. Saint Petersburg, Piter, 2000, 208 p. (In Russ.).
10. Simakov E. E. Reshenie transportnyh zadach s primeneniem programmirovaniya v sisteme MathCAD [Solving transport problems using programming in the MathCAD system]. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist], 2014, vol. 64, no. 5. (In Russ.).

11. Kulichkina A. V., Zakharova A. S., Ruchkin V. N. Reshenie transportnoj zadachi v issledovanii operacij [Solving the transport problem in operations research]. *Metody i sredstva obrabotki i hraneniya informacii Mezhevuzovskij sbornik nauchnyh trudov* [Methods and means of processing and storing information. Interuniversity collection of scientific papers], 2019, pp. 289–294. (In Russ.).
12. Garmash A. N., Orlova I. V. Matematicheskie metody v upravlenii [Mathematical methods in management]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2013, vol. 1, no. 11, pp. 125–126. (In Russ.).
13. Kormen T., Leiserson, Ch., Rivest R., Stein K. *Algoritmi: postroenie i analiz* [Algorithms: construction and analysis]. Moscow, Williams, 2005, 1296 p. (In Russ.).
14. Levitin. A. V. *Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz* [Algorithms. Introduction to development and analysis]. Moscow, Vilyams, 2006, 576 p. (In Russ.).

#### ***Информация об авторах***

**А. В. Шестаков** — стажер-исследователь;

**А. А. Зуенко** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

#### ***Information about the authors***

**A. V. Shestakov** — Intern Researcher;

**A. A. Zuenko** — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 14.11.2022; принята к публикации 21.11.2022.  
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 21.11.2022.

