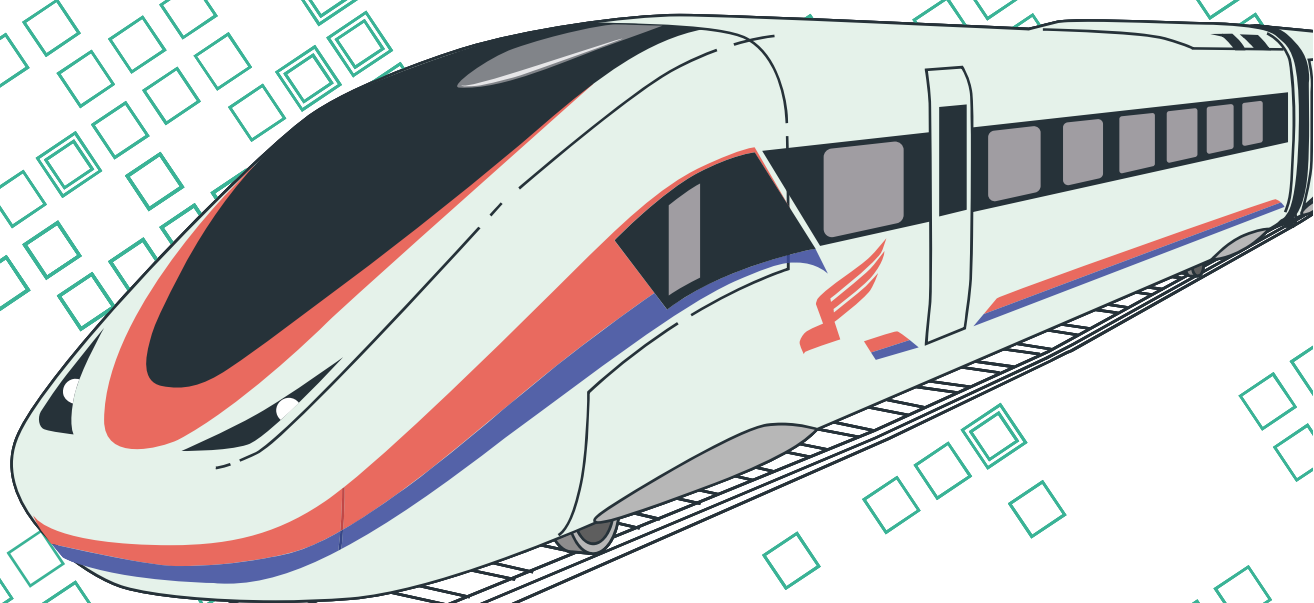


# Интеллектуальные технологии на транспорте

Intellectual Technologies  
on Transport



Выпуск S1  
2023

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University



Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева  
Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev



Ташкентский государственный транспортный университет  
Tashkent State Transport University



## МАТЕРИАЛЫ

МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 13–14 АПРЕЛЯ 2023 ГОДА

---

International Scientific and Practical Conference

«Modeling of Modern Information Systems in the Context of Digital Transformation» (MMIS-2023)

Saint Petersburg, April 13–14, 2023

приоритет2030<sup>+</sup>  
лидерами становятся



**Интеллектуальные технологии на транспорте  
(сетевой электронный научный журнал)  
Выпуск S1 (35-1), 2023**

ISSN 2413-2527

Сетевой электронный научный журнал, свободно распространяемый через Интернет.  
Публикуются статьи на русском и английском языках с результатами исследований  
и практических достижений в области интеллектуальных технологий  
и сопутствующих им научных исследований.

Журнал основан в 2015 году.

---

**Учредитель и издатель**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

---

**Главный редактор**

Хомоненко А. Д., д.т.н., проф., С.-Петербург, РФ

**Сопредседатели редакционного совета**

Валинский О. С., к.т.н., ректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Чаркин Е. И., зам. ген. директора по ИТ ОАО «РЖД», Москва, РФ

---

**Редакционный совет**

Ададулов С. Е., д.т.н., проф., ВНИИЖТ, Москва, РФ  
Дудин А. Н., д.ф.-м.н., проф., БГУ, Минск, Беларусь  
Корниенко А. А., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Макаренко С. И., д.т.н., доц., ПАО «Интелтех»,  
С.-Петербург, РФ

Меркурьев Ю. А., Dr. Habil., проф., член Латвийской АН,  
РТУ, Рига, Латвия  
Титова Т. С., д.т.н., проф., первый проректор ПГУПС,  
С.-Петербург, РФ  
Юсупов Р. М., д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, СПб ФИЦ РАН,  
С.-Петербург, РФ

---

**Редакционная коллегия**

Божко Л. М., д.э.н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ –  
заместитель главного редактора  
Баталов Д. И., к.т.н., ПГУПС, С.-Петербург, РФ –  
научный редактор  
Александрова Е. Б., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Басыров А. Г., д.т.н., проф., ВКА, С.-Петербург, РФ  
Безродный Б. Ф., д.т.н., проф., НИИАС, Москва, РФ  
Благовещенская Е. А., д.ф.-м.н., проф., ПГУПС,  
С.-Петербург, РФ  
Бубнов В. П., д.т.н., проф., С.-Петербург, РФ  
Булавский П. Е., д.т.н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Василенко М. Н., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Глухов А. П., д.т.н., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Гуда А. Н., д.т.н., проф., РГУПС, Ростов-на-Дону, РФ  
Ермаков С. Г., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Заборовский В. С., д.т.н., проф., СПбПУ, С.-Петербург, РФ  
Канаев А. К., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Котенко А. Г., д.т.н., проф., ВНИИЖТ, Москва, РФ

Куренков П. В., д.э.н., к.т.н., проф., РУТ (МИИТ), Москва, РФ  
Лецкий Э. К., д.т.н., проф., РУТ (МИИТ), Москва, РФ  
Наседкин О. А., к.т.н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Никитин А. Б., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Новиков Е. А., д.т.н., доц., ВКА, С.-Петербург, РФ  
Охтилев М. Ю., д.т.н., проф., НИО ЦИТ «Петрокомета»,  
С.-Петербург, РФ  
Привалов А. А., д.воен.н., проф., С.-Петербург, РФ  
Соколов Б. В., д.т.н., проф., СПб ФИЦ РАН,  
С.-Петербург, РФ  
Таранцев А. А., д.т.н., проф., ИПТ РАН, С.-Петербург, РФ  
Утепбергенов И. Т., д.т.н., проф., АУЭС, Алматы, Казахстан  
Фазылов Ш. Х., д.т.н., проф., НИИ развития цифровых  
технологий и ИИ, Ташкент, Узбекистан  
Хабаров В. И., д.т.н., проф., СГУПС, Новосибирск, РФ  
Ходаковский В. А., д.т.н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Чехонин К. А., д.ф.-м.н., доц., ХВИЦ ДВО РАН,  
Хабаровск, РФ

---

**Адрес редакции:**

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9  
e-mail: itt-pgups@yandex.ru  
Телефон: +7 (812) 457-86-06

---

Сетевое издание «Интеллектуальные технологии на транспорте (сетевой электронный научный журнал),  
Intellectual Technologies on Transport» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство Эл № ФС77–61707 от 07 мая 2015 г.

Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Периодичность выхода – 4 номера в год. Выпуски журнала доступны на сайте <http://itt-pgups.ru>.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

# Intellectual Technologies on Transport Issue S1 (35-1), 2023

ISSN 2413-2527

Network electronic scientific journal, open access. It publishes articles in Russian and English with the results of research and practical achievements in the field of intelligent technologies and associated research.

Founded in 2015.

---

## Founder and Publisher

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University»

---

## Editor-in-Chief

Khomonenko A. D., Prof., St. Petersburg, Russia

## Co-chairs of the Editorial Council

Valinsky O. S., rector of PSTU, St. Petersburg, Russia  
Charkin E. I., CIO of JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

---

## Editorial Council Members

Adadurov S. E., Prof., VNIIZHT, Moscow, Russia  
Dudin A. N., Prof., BSU, Minsk, Belarus  
Kornienko A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Makarenko S. I., As. Prof., Inteltech, St. Petersburg, Russia

Merkuryev Yu. A., Prof., Academician of the Latvian Academy  
of Sciences, RTU, Riga, Latvia  
Titova T. S., Prof., First Vice-Rector PSTU, St. Petersburg, Russia  
Yusupov R. M., Prof., Corr. Member of RAS, SPC RAS,  
St. Petersburg, Russia

---

## Editorial Board Members

Bozhko L. M., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia –  
Deputy Editor-in-Chief  
Batalov D. I., PSTU, St. Petersburg, Russia –  
Science Editor  
Aleksandrova E. B., Prof., SPbPU, St. Petersburg, Russia  
Basyrov A. G., Prof., MSA, St. Petersburg, Russia  
Bezrodny B. F., Prof., NIIAS, Moscow, Russia  
Blagoveshchenskaya E. A., Prof., PSTU,  
St. Petersburg, Russia  
Bubnov V. P., Prof., St. Petersburg, Russia  
Bulavsky P. E., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Vasilenko M. N., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Glukhov A. P., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Guda A. N., Prof., RSTU, Rostov-on-Don, Russia  
Ermakov S. G., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Zaborovsky V. S., Prof., SPbPU, St. Petersburg, Russia

Kanaev A. K., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Kotenko A. G., Prof., VNIIZHT, Moscow, Russia  
Kurenkov P. V., Prof., RUT (MIIT), Moscow, Russia  
Letsky E. K., Prof., RUT (MIIT), Moscow, Russia  
Nasedkin O. A., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Nikitin A. B., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Novikov E. A., As. Prof., MSA, St. Petersburg, Russia  
Okhtilev M. Yu., Prof., JSC «Petrokometa», St. Petersburg, Russia  
Privalov A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Sokolov B. V., Prof., SPC RAS, St. Petersburg, Russia  
Tarantsev A. A., Prof., IPT RAS, St. Petersburg, Russia  
Utepbergenov I. T., Prof., AUPET, Almaty, Kazakhstan  
Fazilov Sh. X., Prof., AIRI, Tashkent, Uzbekistan  
Khabarov V. I., Prof., STU, Novosibirsk, Russia  
Khodakovskiy V. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Chekhonin K. A., As. Prof., Khabarovsk FRC RAS, Khabarovsk, Russia

---

## Editorial address:

190031, St. Petersburg, Moskovsky ave., 9  
e-mail: itt-pgups@yandex.ru  
Phone: +7 812 457 86 06

---

The online journal «Intellectual Technologies on Transport» is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media.  
EI No. FS77-61707 Testimony from May 7, 2015.

The journal is registered in the Russian Science Citation Index (RSCI).

Frequency of release - 4 issues per year. Issues of the magazine are available at <http://itt-pgups.ru>

The content is for children over the age of 12.

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University», 2023

## Содержание

<i>Абдираимов Н. А., Алимжанова Л. М.</i> Использование ETL-процесса для создания хранилища данных в банках второго уровня .....	10
<i>Абдукаримова А. Ж.</i> Важность построения формального языка, характеризующего нормативные документы .....	14
<i>Баймуратова А. Б.</i> Внедрение системы электронного документооборота в целях повышения конкурентоспособности компании .....	17
<i>Бухараева М. Н.</i> Анализ новых технологий в области управления рисками .....	22
<i>Большаков М. А.</i> Прикладные аспекты выбора между развитием средств предсказания будущих состояний и оптимизацией задачи подбора граничных значений для мониторинга ИТ-услуги .....	27
<i>Бордовский Г. П., Сгибнев М. Д., Разживин Н. С., Соломатова М. Ф.</i> Актуальность использования чат-ботов для автоматизации работы приемной комиссии .....	31
<i>Селина Л. В., Лавров Н. М., Платунов И. А., Соломатова М. Ф.</i> Разработка интерактивной карты университета .....	36
<i>Тимофеев А. Н.</i> Онтологический подход к разработке адаптивной модели компетенций и профессиональной подготовки в сфере информационных технологий .....	42
<i>Мишуренко Н. А., Семенов А. А.</i> Применение технологии CUDA для распараллеливания процессов вычислений при расчете устойчивости оболочечных конструкций .....	48
<i>Белокурова С. А., Картавый А. А.</i> Актуальные вопросы использования цифровых технологий в грузовом хозяйстве .....	53

<i>Дмитриев А. Г.</i> Об одном подходе к сжатию зашумленных изображений .....	58
<i>Гарбарук В. В., Терентьева У. В.</i> Аппроксимация и экстраполяция двумерных таблиц (на англ.) .....	62
<i>Жаксыбай С. М.</i> Управление событиями информационной безопасности с помощью SIEM-системы .....	66
<i>Коспай Д. К., Алимжанова Л. М.</i> SEO-оптимизация как ключевой инструмент продвижения бренда и продуктов компании: исследование методов .....	70
<i>Исабекова Л. С., Утепбергенов И. Т., Тойбаева Ш. Д.</i> Система управления температурой и влажностью хлебопекарной печи .....	77
<i>Нурмухамедов Т. Р., Гулямов Ж. Н., Таиметов Т. Ш., Азимов А. А.</i> Мониторинг технических устройств электроснабжения железнодорожного транспорта .....	86
<i>Расулмухамедов М. М., Таиметов К. Ш.</i> Оптимизация управления транспортным потоком на перекрестках с помощью нейронной сети .....	92
<i>Расулмухамедов М. М., Шукуров Ф. Д., Турдиев О. А.</i> Сравнение 3G, 4G и 5G сетей для 100, 1 000 и 10 000 пользователей .....	97
<i>Турдиев О. А., Шукуров Ф. Д., Гаффаров Н. Ё., Тухтаходжаев А. Б.</i> Сравнение сетевых технологий 5G и 6G для использования терагерцевых частот .....	101
<i>Иванова В. В., Гадасина Л. В.</i> Оценка готовности компании к цифровой трансформации: домен бизнес-процессов .....	106
<i>Гончаров К. А.</i> Многокритериальный анализ альтернатив в нечеткой информационной среде в задачах управления рисками в организации .....	109
<i>Тойбаева Ш. Д., Утепбергенов И. Т.</i> Об интегрированном автоматизированном подходе к управлению качеством на предприятии .....	113
<i>Хомоненко А. Д., Абу Хасан Р.</i> О надежности и доступности объектных хранилищ данных .....	123

*Кубеков Б. С.*

Моделирование информационных систем на базе модели Захмана  
и онтологическом инжиниринге ..... 129

*Попов В. А., Павловец А. В., Павловец Н. В.*

Применение технологий информационного моделирования в проектировании  
и строительстве аэропортовой инфраструктуры ..... 134

*Хомоненко А. Д., Липанов И. Д.*

О современных технологиях разработки приложений виртуальной реальности ..... 139

*Кудряшов А. Н., Воротягин В. Н.*

Моделирование сбоев в информационно-технологическом процессе управления  
подвижными объектами на основе модифицированных стохастических сетей Петри  
для использования в тренажерных системах ..... 143

*Добрин М. В.*

Моделирование инвестиционных программ в условиях цифровизации ..... 148

## Contents

<i>Abdiraimov N. A., Alimzhanova L. M.</i> Using an ETL Process to Create a Data Warehouse in Second-Tier Banks .....	10
<i>Abdukarimova A. Zh.</i> The Importance of Building a Formal Language That Characterizes Normative Documents .....	14
<i>Baimuratova A. B.</i> Implementation of Electronic Document Management System in Order to Improve the Competitiveness of the Company .....	17
<i>Bukharayeva M. N.</i> Analysis of New Technologies in the Field of Risk Management .....	22
<i>Bolshakov M. A.</i> Applied Aspects of the Choice Between the Development of Tools for Predicting Future States and Optimizing the Problem of Selecting Boundary Values for Monitoring an It Service .....	27
<i>Bordovsky G. P., Sgibnev M. D., Razzhivin N. S., Solomatova M. F.</i> The Relevance of Using Chatbots to Automate the Work of the Admissions Committee .....	31
<i>Selina L. V., Lavrov N. M., Platonov I. A., Solomatova M. F.</i> Developing of an Interactive Map of the University .....	36
<i>Timofeev A. N.</i> An Ontological Approach to the Development of an Adaptive Model of Competencies and Professional Training in the Field of Information Technology .....	42
<i>Mishurenko N. A., Semenov A. A.</i> Application of CUDA Technology for Parallelization of Computational Processes in the Calculation of the Buckling of Shell Structures .....	48
<i>Belokurova S. A., Kartavyy A. A.</i> Topical Issues of Use Digital Technologies in Cargo Sector .....	53



<i>Dmitriev A. G.</i> About One Approach to Compression of Noisy Images .....	58
<i>Garbaruk V. V., Terenteva U. V.</i> Approximation and Extrapolation of Two-Dimensional Tables (in English) .....	62
<i>Zhaksybay S. M.</i> Information Security Event Management Using SIEM System .....	66
<i>Kospay D. K., Alimzhanova L. M.</i> SEO Optimization as a Key Tool for Promoting a Company's Brand and Products: Research Methods .....	70
<i>Issabekova L. S., Utepbergenov I. T., Toibayeva Sh. D.</i> Bakery Oven Temperature and Humidity Control System .....	77
<i>Nurmukhamedov T. R., Gulyamov Zh. N., Tashmetov T. Sh., Azimov A. A.</i> Monitoring of Technical Devices of Rail Transport Power Supply .....	86
<i>Rasulmukhamedov M. M., Tashmetov K. Sh.</i> Optimization of Traffic Flow Control at Intersections Using Neural Network .....	92
<i>Rasulmukhamedov M. M., Shukurov F. D., Turdiev O. A.</i> Comparison of 3G, 4G and 5G Networks for 100, 1 000 and 10 000 Users .....	97
<i>Turdiev O. A., Shukurov F. D., Gaffarov N. Ye., Tukhtakhodzhaev A. B.</i> Comparison of 5G and 6G Network Technologies to Use Terahertz Frequencies .....	101
<i>Ivanova V. V., Gadasina L. V.</i> Assessing a Company's Digital Transformation Readiness: Business Process Domain .....	106
<i>Goncharov K. A.</i> Multi-Criteria Analysis of Alternatives in a Fuzzy Information Environment in the Tasks of Risk Management in the Organization .....	109
<i>Toibayeva Sh. D., Utepbergenov I. T.</i> On an Integrated Automated Approach to Enterprise Quality Management .....	113
<i>Khomonenko A. D., Abou Hasan R.</i> About the Reliability and Availability of Object Data Stores .....	123

*Kubekov B. S.*

Simulation of Information Systems Based on the Zachman Model  
and Ontological Engineering .....129

*Popov V. A., Pavlovets A. V., Pavlovets N. V.*

Application of Information Modeling Technologies in the Design and Construction  
of Airport Infrastructure ..... 134

*Khomonenko A. D., Lipanov I. D.*

About Modern Technologies for Developing Virtual Reality Applications ..... 139

*Kudryashov A. N., Vorotyagin V. N.*

Modeling of Faults in the Information-Technological Process of Control of Moving Objects  
on the Basis of Modified Stochastic Petri Nets for Use in Simulation Systems ..... 143

*Dobrina M. V*

Modeling of Investment Programs in the Conditions of Digitalization ..... 148

# Использование ETL-процесса для создания хранилища данных в банках второго уровня

Н. А. Абдираимов, к.т.н. Л. М. Алимжанова  
Международный университет информационных технологий  
Алматы, Казахстан  
nurs.99.xd@gmail.com

**Аннотация.** ETL-процессы используются для извлечения, преобразования и загрузки данных из разных систем организации. Для повышения способности принятия решений с привязкой ко времени любые бизнес-корпорации должны проводить анализ данных на основе исторических и текущих данных, важнейшую роль в обработке которых играет хранилище данных. Описываются методы разработки процесса загрузки историчности записей, на основе которых лежит механизм медленно меняющегося измерения. На основе такой информации, предоставляемой системой DWH, создаются специализированные и индивидуальные отчеты для каждого отдела банка второго уровня. Поэтому производительность базы данных играет важную роль при принятии быстрых и эффективных решений. Для обеспечения высокой производительности DWH необходимо, чтобы интеграция данных, готовых для бизнес-отчетности и анализа, в ходе его разработки осуществлялась в масштабах всего предприятия.

**Ключевые слова:** хранилище данных, ETL-процессы, медленно меняющееся измерение.

Объем банковских данных в электронном виде увеличивается стремительно с появлением информационных технологий. Величина такой информации не в состоянии позволить традиционным базам данных и аналитикам получить полезные данные, способные помочь в процессе принятия решений.

Рост рыночной конкуренции вызывает постоянное снижение возможности эффективно и оперативно реагировать на появление рыночных тенденций. Предприятия перенасыщены сложными данными, поэтому тот, кто способен превратить их в ценную информацию, сможет добиться значительного преимущества. Как известно, на стратегическом уровне при принятии решений деловая информация применяется не ежедневно, скорее, это совокупные и производные данные за определенный промежуток времени. Так как проблемы, которые нужно решить при принятии стратегических решений, чаще всего не являются структурированными, для обеспечения качества принятия решений необходимо включить огромные объемы данных из прошлого. В результате концепции Data Warehouse (DWH) и Data Mining должны стать надежной основой для принятия корпоративных решений [1].

Хранилище данных — это централизованное место сбора больших объемов данных, которые используются для составления отчетов и анализа. Оно позволяет банкам консолидировать данные из различных источников и хранить их в виде, оптимизированном для запросов и анализа. С помощью хранилища данных банки могут получить ценные сведения о своей деятельности, поведении клиентов и тенденциях рынка.

В коммерческом мире хранилище данных не является новым понятием. Однако непрерывно развивающаяся система DWH — это то, что подвергается инновациям. Такие применения дают руководителям возможность принять лучшие стратегические решения и получить конкурентное преимущество за счет стратегического планирования. Технология DWH поможет сделать выводы, провести анализ и будет более выгодной с экономической точки зрения. Поэтому руководству организации следует провести анализ затрат и выгод от внедрения DWH в долгосрочной перспективе. Технология банковской DWH получила активное применение в финансовом бизнесе, и банковский сектор видит значительные преимущества от ее использования, побуждая большинство банков внедрить такую систему [2].

Банки, в частности, ежедневно работают с огромными объемами данных, включая транзакции клиентов, остатки на счетах, заявки на кредиты и многое другое. Однако сбор и хранение данных может быть сложным процессом. Поэтому банкам крайне важно иметь систему, способную эффективно хранить, систематизировать и анализировать эти данные. Именно здесь в игру вступает хранилище данных, и процесс ETL (Extract, Transform, Load) играет важную роль в его создании. Кроме того, использование ETL-процесса упрощает процесс анализа данных и повышает точность результатов. Он также уменьшает вероятность ошибок, связанных с ручным вводом данных и обработкой данных.

ETL — это процесс сбора данных из различных источников, преобразования их в подходящий формат и загрузки в хранилище данных. Процесс ETL включает в себя три основных этапа:

1. Извлечение. На этом этапе происходит сбор данных из различных источников, включая транзакционные базы данных, электронные таблицы, плоские файлы, базы данных клиентов, финансовые отчеты, операционные системы и многое другое. Затем данные извлекаются и хранятся в зоне хранения.

Для успешного извлечения данных необходимо определить источники, форматы и структуры данных, а также выбрать подходящие инструменты для извлечения данных. Например, можно использовать SQL-запросы, API или файловые системы.

2. Преобразование. После извлечения данных из различных источников, следующий шаг — трансформация данных. На этом этапе данные преобразуются в формат, пригодный для анализа и отчетности. Это может включать очистку, проверку, нормализацию или агрегацию данных.

Трансформация данных может быть выполнена с использованием различных инструментов, таких как ETL-ин-

струменты, скрипты Python или SQL-запросы. Важно убедиться, что данные сохраняют свою целостность и точность после трансформации.

3. Загрузка. Последний шаг ETL-процесса — загрузка данных в централизованное хранилище данных. Централизованное хранилище данных представляет собой единую точку доступа к данным для всех пользователей в банке второго уровня. Загрузка данных может быть выполнена вручную или автоматически.

Важно убедиться, что данные были загружены в централизованное хранилище без ошибок и что они доступны для всех пользователей, которые нуждаются в них. Для обеспечения безопасности данных необходимо установить соответствующие права доступа для пользователей.

Существует несколько преимуществ использования ETL для создания хранилища данных в банковской сфере, в том числе:

1. Улучшение качества данных. Качество данных имеет решающее значение в банковском деле, и банки второго уровня могут извлечь выгоду из процессов ETL в обеспечении точных и надежных данных. На этапе трансформации инструменты ETL могут очищать данные для устранения ошибок, несоответствий и дубликатов. Такой процесс очистки данных помогает поддерживать целостность данных, повышает точность отчетности и аналитики, а также минимизирует риск принятия решений на основе ошибочной или неполной информации. Улучшая качество данных с помощью процессов ETL, банки второго уровня могут укреплять доверие заинтересованных сторон, соблюдать нормативные требования и принимать обоснованные бизнес-решения. Неточные данные могут привести к неправильному пониманию, неверным решениям и проблемам с соблюдением нормативных требований.

2. Расширение интеграции данных. Процессы ETL облегчают интеграцию разрозненных источников данных в различных системах банка. Извлекая данные из различных операционных систем, преобразуя их в согласованный формат и загружая в централизованное хранилище данных или озеро данных, банки второго уровня могут получить комплексное и единое представление о своих данных. Такая интегрированная среда данных обеспечивает более качественный анализ, отчетность и принятие решений, позволяя банкам более эффективно выявлять тенденции, риски и возможности [3].

3. Более быстрое принятие решений. ETL помогает интегрировать данные из различных источников, облегчая банкам второго уровня быстрый доступ к данным. Благодаря более быстрому доступу к данным можно ускорить процесс принятия решений, что помогает банку быстрее реагировать на изменения рынка, требования клиентов и открывающиеся возможности.

4. Эффективная обработка данных. Процессы ETL позволяют эффективно обрабатывать большие объемы данных. Используя возможности параллельной обработки, инструменты ETL могут одновременно извлекать данные из нескольких источников, преобразовывать их в соответствии с заданными правилами и эффективно загружать в целевую систему. Такая оптимизированная обработка данных помогает банкам второго уровня экономить время, снижать операционные расходы и повышать общую производительность системы.

5. Гибкость и масштабируемость. Банкам второго уровня часто необходимо быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям бизнеса и динамике рынка. Процессы ETL обеспечивают гибкость и масштабируемость, необходимые для удовлетворения меняющихся потребностей в данных. С помощью инструментов ETL банки могут легко добавлять новые источники данных, изменять правила преобразования данных, а также увеличивать или уменьшать возможности обработки данных по мере необходимости. Такая гибкость позволяет банкам оперативно реагировать на требования бизнеса, интегрировать новые системы или приложения и поддерживать будущий рост.

6. Экономия затрат. ETL может помочь банкам второго уровня сократить расходы, связанные с ручной обработкой данных. Благодаря автоматизации обработки данных банки могут сэкономить время, уменьшить количество ошибок, допускаемых вручную, и повысить производительность. Более того, благодаря улучшенному качеству данных банки второго уровня могут избежать дорогостоящих ошибок и проблем с соблюдением нормативных требований [4].

7. Улучшенный клиентский опыт. Банки второго уровня могут использовать ETL для анализа данных о клиентах и получения информации об их потребностях и предпочтениях. С помощью этой информации банки могут создавать персонализированный опыт для клиентов, предлагать индивидуальные продукты и услуги и повышать лояльность клиентов.

8. Соблюдение нормативных требований. Соблюдение нормативных требований, таких как закон Сарбейнса — Оксли, Базель III и GDPR (англ. *General Data Protection Regulation* — Общие правила защиты данных), имеет решающее значение для банков второго уровня. ETL может помочь банкам в соблюдении этих норм, обеспечивая точность, целостность и конфиденциальность данных.

Данная статья посвящена важности отслеживания изменений в значениях аналитических показателей измерений. Техника SCD (англ. *Slowly Changing Dimensions* — «медленно меняющиеся измерения») применяется для отслеживания происходящих изменений в результатах аналитического учета в хранилище данных. В этом исследовании детально представлены типы SCD. Кроме того, обсуждаются примеры ее применения в хранилищах данных.

Медленно меняющееся измерение является ключевым понятием в хранилище данных для внесения данных в систему анализа. В связи с тем, что бизнес-аналитики часто используют хранилища данных для их изучения, чрезвычайно важно обеспечивать несколько состояний данных.

При хранении записей в хранилище используются информационные таблицы и измерения. Таблицы измерений применяются при оценке таблиц данных. Обработка данных начинается в операционных базах данных в информационной среде, после чего они извлекаются, трансформируются и загружаются в хранилище данных на основе аналитической среды.

В качестве примеров таблиц измерений выступают клиентские и продуктовые таблицы. С течением времени показатели этих измерений меняются, следовательно, требуется отслеживать их историю в рамках информационного распределителя. Можно перезаписать в операционных системах изменившиеся признаки, так как архивированные параметры информации могут оказаться бесполезными. С

другой стороны, внутри центра распределения информации главной целью является анализ информации в достоверном виде, но при этом возникает вероятность, что переписать информацию не удастся, поэтому необходимо актуализировать особые стратегии по защите информационных документов, учитывая экспозиционные и пространственные аспекты функционирования центра по распределению информации и приложения. Данная задача решается с помощью использования постепенно меняющихся измерений в хранилищах данных.

Есть несколько видов таких загрузок. Широко распространены следующие варианты:

- тип 0 — отсутствуют изменения в значениях атрибутов;
- тип 1 — данные в таблице перезаписываются;
- тип 2 — записи добавляются в виде новой строки;
- тип 3 — информация добавляется в новый столбец.

В некоторых ситуациях не требуется изменять данные, поэтому их не следует учитывать. К примеру, если сотрудник устраивается в компанию впервые, в базу данных вносятся такие признаки и сведения, как дата приема на работу и дата интервью. Это данные, которые не должны изменяться или обновляться с течением времени. Подобная информация соответствует типу 0.

В случае SCD типа 1 измеряемые данные просто перезаписываются. Это обусловлено тем, что набор данных может начинаться с измерений и содержать не все входные значения. Например, когда создается первая новая запись клиента, могут отсутствовать некоторые атрибуты. Таким образом, если клиентская запись запускается в рабочей базе данных, она может содержать пустые строки или пустые записи. При выполнении такие незаполненные записи образуются в хранилище данных. Однако эти атрибуты должны быть обновлены после их ввода в оперативную базу данных.

SCD типа 2 является наиболее распространенным измерением, применяемым в большинстве хранилищ данных. Как уже упоминалось, хранилища данных зачастую предназначены для проведения анализа. Поэтому необходимо учитывать все архивные и исторические аспекты данных. Приведем пример записи сотрудника с позицией менеджера в хранилище данных. В хранилище данных фиксируется информация о должностном положении в виде обозначения «1». Этого сотрудника повышают в должности до старшего менеджера, и ему присваивается кодовое обозначение «4». При этом, если просто обновить запись, как в примере SCD первого типа, архивная информация о предыдущей должности сотрудника не будет сохранена. В SCD типа 2 в результате будет создана новая запись с указанием кода должности сотрудника, а все остальные атрибуты скопируются и останутся неизменными.

SCD третьего типа является простой реализацией, в которой сохраняется архивная история. Она размещается в дополнительном столбце. Если связать описанный ранее сценарий для SCD типа 2 с SCD типа 3, то измерение «Сотрудник» будет выглядеть следующим образом: дополнительные столбцы будут содержать информацию о значении прежней занимаемой должности работника. Но в отличие от SCD типа 2, этот метод хранит не все значения, а только последнюю актуальную версию, из-за этого данный метод не подойдет для хранения полного архива. Обычно этот ме-

тод подходит только для таких случаев, как, например, изменение имени сотрудника. Как правило, после замужества сотрудницы меняют свою фамилию. В этих ситуациях можно применять SCD типа 3, так как подобные изменения происходят не так часто и носят менее важный характер [5].

В условиях развивающейся финансовой индустрии банки второго уровня осознают важность использования данных для получения конкурентного преимущества. Внедряя процесс ETL, банки второго уровня могут добиться повышения качества данных, улучшения бизнес-аналитики, соответствия нормативным требованиям и эффективного управления рисками.

В заключение следует отметить, что процесс ETL является важнейшим инструментом для банков второго уровня, позволяющим им оставаться конкурентоспособными, удерживать клиентов и соответствовать нормативным требованиям. Процесс ETL играет важную роль в создании надежного хранилища данных. Он позволяет автоматически извлекать, трансформировать и загружать данные в централизованное хранилище, что помогает банкам принимать более обоснованные решения. Однако для успешной реализации ETL-процесса необходимо определить источники данных, выбрать подходящие инструменты для извлечения и трансформации данных, а также установить соответствующие права доступа для пользователей. Кроме того, необходимо обеспечить безопасность данных и сохранить их целостность и точность после трансформации.

Внедрение процессов ETL в банках второго уровня дает значительные преимущества, включая улучшенную интеграцию данных, повышение качества данных, эффективную обработку данных, а также повышение гибкости и масштабируемости. Применяя инструменты ETL, банки второго уровня могут использовать данные для принятия более обоснованных решений, оптимизации операций и сохранения конкурентоспособности в динамичном банковском секторе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Maheshwari, N. A Practical Guide to Data Warehousing in a Post-Big Data World. — Berkeley (CA): Apress, 2019. — 352 p.
2. Design and Implementation of an Efficient Electronic Bank Management Information System Based Data Warehouse and Data Mining Processing / J. Luo, J. Xu, O. Aldosari, [et al.] // Information Processing & Management. 2022. Vol. 59, Is. 6. Art. No. 10386. 17 p. DOI: 10.1016/j.ipm.2022.103086.
3. Cheng, W. Adaptive Factorization Network: Learning Adaptive-Order Feature Interactions / W. Cheng, Y. Shen, L. Huang, [et al.] // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020. Vol. 34, No. 4. Pp. 3609–3616. DOI: 10.1609/aaai.v34i04.5768.
4. Machine Learning Classification of Entrepreneurs in British Historical Census Data / P. Monteburno, R. J. Bennett, H. Smith, C. van Lieshout // Information Processing and Management. 2020. Vol. 57, Is. 3. Art. No. 102210. 22 p. DOI: 10.1016/j.ipm.2020.102210.
5. Кириллов, Д. С. Реализация медленно меняющихся измерений (SCD) в хранилищах данных / Д. С. Кириллов, Д. Д. Молостов // Студенческие научные достижения: Сборник статей XV Международного научно-исследовательского конкурса (Пенза, Россия, 15 июня 2022 г.). — Пенза: Международный центр научного сотрудничества «Наука и просвещение», 2022. — С. 7–9.

# Using an ETL Process to Create a Data Warehouse in Second-Tier Banks

N. A. Abdiraimov, PhD L. M. Alimzhanova  
International Information Technology University  
Almaty, Kazakhstan  
nurs.99.xd@gmail.com

**Abstract.** ETL processes are used to extract, transform and download data from different systems in an organisation. To improve the ability to make time-based decisions, any business corporations need to analyse data based on historical and current data. The Data Warehouse plays a critical role in handling this data. This paper describes methods for developing a process for downloading historical records, which is based on the Slowly Changing Dimension mechanism. Based on this information provided by the DWH system, customized and individual reports are generated for each department of a second-tier bank. Database performance therefore plays an important role in making fast and efficient decisions. In order to ensure high DWH performance, it is essential that data is integrated across the entire enterprise during its development, ready for business reporting and analysis.

**Keywords:** Data Warehouse, ETL process, Slowly Changing Dimension.

## REFERENCES

1. Maheshwari N. A Practical Guide to Data Warehousing in a Post-Big Data World. Berkeley (CA), Apress, 2019, 352 p.
2. Luo J., Xu J., Aldosari O., et al. Design and Implementation of an Efficient Electronic Bank Management Information System Based Data Warehouse and Data Mining Processing, *Information Processing & Management*, 2022, Vol. 59, Is. 6, Art. No. 10386, 17 p. DOI: 10.1016/j.ipm.2022.103086.
3. Cheng W., Shen Y., Huang L., et al. Adaptive Factorization Network: Learning Adaptive-Order Feature Interactions, *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2020, Vol. 34, No. 4, Pp. 3609–3616. DOI: 10.1609/aaai.v34i04.5768.

4. Montebruno P., Bennett R. J., Smith H., van Lieshout C. Machine Learning Classification of Entrepreneurs in British Historical Census Data, *Information Processing and Management*, 2020, Vol. 57, Is. 3, Art. No. 102210, 22 p. DOI: 10.1016/j.ipm.2020.102210.

5. Kirillov D. S., Molostov D. D. Implementation of Slowly Changing Measurements (SCD) in Data Warehouses [Realizatsiya medlenno menyayushchikhsya izmereniy (SCD) v khranilishchakh dannykh], *Student scientific achievements: Collection of articles of the XV International Research Competition [Studencheskie nauchnye dostizheniya: Sbornik statey XV Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa]*, Penza, Russia, June 15, 2022. Penza, International Center for Scientific Cooperation «Science and Education», 2022, Pp. 7–9.

# Важность построения формального языка, характеризующего нормативные документы

А. Ж. Абдукаримова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Алматы, Казахстан

abdukarimova\_anel@mail.ru

**Аннотация.** Формальный язык рассматривается как множество со всеми строками, которые находятся под конечным числом алфавитов. Теория формального языка утверждает, что изучение всех семейств осуществляется формальными методами. Этот формальный метод в основном используется для разработки и верификации программных и аппаратных систем.

**Ключевые слова:** формальный язык, документы, нормативные документы, право.

## ВВЕДЕНИЕ

Построение формального языка, характеризующего нормативные документы, является важным инструментом для обеспечения точности и ясности в описании правил и требований, содержащихся в нормативных документах. Нормативные документы используются в различных сферах деятельности, от юриспруденции до технической документации, и часто имеют юридическое значение. Поэтому необходимо, чтобы они были написаны четким и понятным языком, чтобы пользователи могли легко разобраться в содержащихся в них требованиях.

Однако нормативные документы часто сложны и запутанны, что затрудняет их понимание и приводит к ошибкам в толковании и применении. Построение формального языка позволяет разработать единый язык, который будет использоваться для описания документов, и установить четкие синтаксические правила его использования. Это облегчит пользователю понимание требований, содержащихся в нормативных документах, и снизит вероятность ошибок.

Кроме того, построение формального языка может помочь в разработке новых нормативных документов и внесении поправок в существующие. С помощью языка можно быстро определить, какие понятия уже используются в других нормативных документах, какие синтаксические правила применяются и как описываются различные требования. Это может значительно ускорить процесс разработки и изменения документов.

## ПОНЯТИЕ ФОРМАЛЬНОГО ЯЗЫКА И ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВА

Теория формального языка утверждает, что изучение всех семейств основано на формальных методах. Формальные методы используются в основном для разработки и верификации программных и аппаратных систем. Как правило, формальные языки имеют дело с набором строк и определяются двумя наборами правил. Первое правило касается синтаксиса, который указывает, как использовать символы, в то время как второе правило касается семантики, которая сообщает значение символов и допустимых выражений. Здесь рассматривается теория

графических языков, которая является уникальной и необычной категорией теории формального языка. Было введено множество моделей, которые, как оказалось, представляют графические языки [1].

В то время как арифметика изучает числа и отношения над ними, теория формального языка основана на изучении наборов строк. Знакомая специалистам по информатике строка — это просто конечная последовательность токенов из некоторого конечного алфавита  $\Sigma$ . Пусть, например,  $\Sigma = \{a, b\}$ . Тогда  $ab$ ,  $aabb$  и  $bbaba$  являются примерами строк над  $\Sigma$ . Каждая строка имеет конечную длину, но на самом деле существуют счетно-бесконечные строки над  $\Sigma$ . Мы обозначим это бесконечное множество всех строк над  $\Sigma$  как  $\Sigma^*$ . Формальный язык — это обычно бесконечный набор строк, то есть подмножество  $\Sigma^*$ . Множество всех языков над  $\Sigma$  неисчислимо бесконечно [2].

Формальный язык представляет собой строго определенную систему символов и правил, которые могут быть использованы для описания и анализа нормативных документов. В отличие от естественных языков, формальные языки обладают строгой семантикой и синтаксисом, что делает их более точными и однозначными. Преимущества использования формального языка включают улучшение понимания нормативных документов, возможность автоматической проверки их согласованности, а также обеспечение более точного и надежного применения.

Существуют различные методы и подходы к описанию нормативных документов, такие как контекстно-свободная грамматика, формальная онтология, машинное обучение, обработка естественного языка и т. д. Их преимущества и недостатки, а также возможности использования в конкретных ситуациях определены.

Один из возможных способов описания нормативных документов — использование формальной грамматики, такой как контекстно-свободная грамматика или регулярные выражения. Подобный подход позволяет формализовать структуру документа и автоматизировать процесс его анализа и обработки.

Также можно рассмотреть подходы, основанные на моделях онтологии и формального образования. Онтология — формально явная характеристика общего понятия.

Другой способ описания нормативных документов на формальном языке — это машинное обучение и использование методов обработки естественного языка. Например, можно рассмотреть алгоритмы автоматического извлечения информации из нормативных документов на основе методов машинного обучения, таких как классификация и

кластеризация текста. Такой подход помогает автоматизировать процесс анализа нормативных документов и извлекать из них информацию.

**СЛОЖНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

Нормативные документы — это документы, написанные на естественном языке, которые описывают разрешения, обязательства и запреты двух или более сторон в отношении набора действий, включая описания штрафов, которые должны быть выплачены при нарушении основных норм [3]. Объем и плотный лингвистический стиль таких документов часто затрудняют их понимание неспециалистами, и многие люди соглашаются с этими юридически обязательными документами, даже не читая их.

Большинство нормативных документов используют специфические термины и определения, которые могут быть двусмысленными или иметь неоднозначное толкование. Это может приводить к различным интерпретациям, что затрудняет применение нормативных документов и может вызывать конфликты и споры. Формальный язык помогает преодолеть эти сложности, поскольку основан на точных определениях и ясных правилах, которые минимизируют вероятность неправильной интерпретации.

При разработке нормативных документов могут возникать проблемы с согласованностью и противоречиями между различными частями документа. Использование формального языка позволяет определить явные правила и ограничения, которые помогают автоматически проверять согласованность документов и выявлять потенциальные противоречия. Это повышает качество нормативных документов и уменьшает возможность ошибок в их применении.

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНОГО ЯЗЫКА  
В ПРАКТИЧЕСКИХ СФЕРАХ**

Формальный язык может быть использован для разработки юридических текстов и законов с целью улучшения их понятности и применимости. В научных исследованиях формальный язык может быть использован для определения точных определений и терминов, а также для обеспечения единообразия в использовании терминологии. В бизнесе формальный язык может помочь в разработке и анализе корпоративных политик и процедур, а также в автоматическом контроле их соблюдения.

Возможные применения формального языка в различных сферах деятельности показаны в таблице 1.

Таблица 1

**Применение формального языка в практических сферах**

Сфера деятельности	Применение формального языка
Право	<ul style="list-style-type: none"> <li>• разработка юридических текстов и законов с использованием точных определений и ясных правил;</li> <li>• обеспечение единообразия и ясности терминологии;</li> <li>• автоматическая проверка согласованности и противоречий в нормативных документах</li> </ul>

Наука	<ul style="list-style-type: none"> <li>• определение точных определений и терминов для использования в научных исследованиях;</li> <li>• обеспечение единообразия в терминологии;</li> <li>• формализация научных теорий и моделей для улучшения их понимания и применимости;</li> </ul>
Бизнес	<ul style="list-style-type: none"> <li>• разработка корпоративных политик и процедур с использованием формального языка;</li> <li>• автоматический контроль соблюдения политик и процедур;</li> <li>• улучшение понимания и интерпретации бизнес-правил и регламентов</li> </ul>
Технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• описание и моделирование систем и процессов с использованием формального языка;</li> <li>• разработка и анализ алгоритмов и протоколов;</li> <li>• обеспечение точности и надежности в разработке и внедрении технологических решений</li> </ul>
Медицина	<ul style="list-style-type: none"> <li>• разработка медицинских протоколов и стандартов с использованием формального языка;</li> <li>• систематизация медицинской терминологии;</li> <li>• автоматический контроль соответствия процедур и протоколов медицинским стандартам и регуляциям.</li> </ul>

**Выводы**

В статье была рассмотрена важность построения формального языка, специально разработанного для описания и характеристики нормативных документов. Формальный язык обеспечивает точность, ясность и однозначность в применении нормативных документов, что улучшает их понимание, интерпретацию и согласованность. Применение формального языка в различных сферах деятельности, таких как право, наука и бизнес, способствует повышению эффективности и надежности применения нормативных документов. В будущем разработка и использование формального языка в нормативных документах будет продолжать играть важную роль в обеспечении правовой и профессиональной ясности и согласованности.

**ЛИТЕРАТУРА**

- Govindaraj, R. Computational Theory of Formal Languages on Picture Languages // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 51, Part 1. Pp. 196–200. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.05.072.
- Merrill, W. C. Formal Language Theory Meets Modern NLP // ArXiv. 2021. Vol. abs/2102.10094. 25 p.
- Camilleri, J. J. Analysing Normative Contracts: On the Semantic Gap Between Natural and Formal Languages: Thesis for the Degree of Licentiate of Philosophy. — Gothenburg: Chalmers University of Technology: University of Gothenburg, 2015. — 127 p.



# The Importance of Building a Formal Language That Characterizes Normative Documents

A. Zh. Abdugarimova  
Al-Farabi Kazakh National University  
Almaty, Kazakhstan  
abdukarimova\_anel@mail.ru

**Abstract.** A formal language is considered as a set with all strings that are under a finite number of alphabets. The theory of formal language asserts that the study of all families is carried out by formal methods. This formal method is mainly used for the development and verification of software and hardware systems.

**Keywords:** formal language, documents, normative documents, law.

## REFERENCES

1. Govindaraj R. Computational Theory of Formal Languages on Picture Languages, *Materials Today: Proceedings*, 2022, Vol. 51, Part 1, Pp. 196–200.  
DOI: 10.1016/j.matpr.2021.05.072.

2. Merrill W. C. Formal Language Theory Meets Modern NLP, *ArXiv*, 2021, Vol. abs/2102.10094, 25 p.

3. Camilleri J. J. Analysing Normative Contracts: On the Semantic Gap Between Natural and Formal Languages: Thesis for the Degree of Licentiate of Philosophy. Gothenburg, Chalmers University of Technology, University of Gothenburg, 2015, 127 p.

# Внедрение системы электронного документооборота в целях повышения конкурентоспособности компании

А. Б. Баймуратова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Алматы, Казахстан

baimuratova@mail.ru

**Аннотация.** Целью исследования является изучение необходимости внедрения системы электронного документооборота в компании и определение того, как это может повлиять на конкурентоспособность компании. Анализируются основные проблемы, связанные с бумажным документооборотом, рассматриваются преимущества электронного документооборота. Также рассматриваются основные этапы внедрения системы электронного документооборота и даются рекомендации по ее успешному внедрению.

**Ключевые слова:** документооборот, система менеджмента качества, версии документов, автоматизация рабочих процессов.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях ведения бизнеса эффективный документооборот является одним из ключевых элементов, способствующих конкурентоспособности компании. Внедрение системы электронного документооборота (СЭД) является одним из наиболее эффективных способов ускорения и оптимизации бизнес-процессов, что снижает затраты на обработку документов, улучшает контроль за их перемещением, а также повышает качество и скорость принятия решений.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Документы можно найти как в электронном, так и в физическом виде. В эту новую эпоху физические документы остаются актуальными по нескольким причинам. Одной из них является то, что любой электронный файл уязвим для вредоносных программ. Также бумажные документы в документации более приемлемы из-за своей простоты, аннотаций и даже «универсального стана» отображения информации [1].

Внедрение системы электронного документооборота в систему менеджмента качества (СМК) не является обязательным, но может быть очень полезным. СЭД помогает оптимизировать процессы управления документами, обеспечить соответствие нормативным актам и стандартам, улучшить сотрудничество и коммуникацию, а также повысить безопасность документов — все это является основными составляющими СМК [1].

Система менеджмента качества включает политику качества, интерактивные процессы, руководства по качеству, документированные процедуры и рабочие руководства, документы, необходимые для использования, мониторинга и контроля процессов, а также записи о качестве.

Контроль документооборота в системе менеджмента качества имеет решающее значение для обеспечения наличия

всех необходимых документов, их актуальности и доступности для нуждающихся в них работников. СЭД помогает автоматизировать процесс управления документами, предоставляя контроль версий, контроль доступа, журналы мониторинга и другие функции для обеспечения соответствия требованиям и безопасности [2].

Кроме того, СЭД помогает облегчить сотрудничество между командами и заинтересованными сторонами, обеспечивая каждому доступ к самой последней версии документов и эффективную работу. Это особенно важно в системе управления качеством, где функциональным группам может потребоваться сотрудничество для обеспечения соблюдения правил и стандартов.

В таблице 1 расписаны преимущества и недостатки традиционных бумажных систем и СЭД.

Таблица 1

Преимущества и недостатки систем документооборота

Вид	Преимущества	Недостатки
Традиционные бумажные системы	<ol style="list-style-type: none"> <li>Осязаемость</li> <li>Доступность</li> <li>Знакомая система</li> <li>Надежность</li> <li>Совместимость</li> <li>Постоянство</li> <li>Простота</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Пространство</li> <li>Занимает много времени</li> <li>Уязвимость к повреждению</li> <li>Негибкость</li> <li>Ограниченное сотрудничество</li> <li>Ограниченный доступ</li> <li>Неточность</li> <li>Ограниченная мобильность</li> <li>Сложность резервного копирования</li> <li>Воздействие на окружающую среду</li> </ol>
Системы электронного документооборота	<ol style="list-style-type: none"> <li>Экономия места</li> <li>Экономия времени</li> <li>Улучшение совместной работы</li> <li>Доступность</li> <li>Резервное копирование и восстановление</li> <li>Индивидуальная настройка</li> <li>Улучшенная безопасность</li> <li>Масштабируемость</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Зависимость от технологии</li> <li>Кривая обучения</li> <li>Проблемы совместимости</li> <li>Риски кибератак</li> <li>Соответствие законодательству</li> </ol>

9. Интеграция	10. Уменьшение воздействия на окружающую среду
---------------	------------------------------------------------

Таблица 2

Время, затрачиваемое на различные операции в системах документооборота, мин.

Выполняемая операция	Традиционные бумажные системы	Системы электронного документооборота
Регистрация документа	3	1
Тиражирование документа	5	1
Поиск документа	7	2
Доставка до исполнителя	20	2
Подготовка отчета	45	10
Согласование документа	360	30
Общая трудоемкость	440	46

В целом, хотя внедрение СЭД в СМК не является строго необходимым, это может значительно повысить эффективность процессов управления документами, что делает его ценным вложением для многих организаций [3].

ОБСУЖДЕНИЕ

Система электронного документооборота может стать важной составляющей системы менеджмента качества. Вот несколько методов, которые можно использовать с СЭД в СМК:

1. Контроль документооборота. СМК в основном полагается на контролируемые документы, такие как политики, процедуры, рабочие инструкции и формы. СЭД может обеспечить централизованное расположение для хранения, управления и контроля этих документов. Это поможет сохранить последнюю версию каждого документа, отслеживать изменения и гарантирует, что только уполномоченные сотрудники имеют доступ к этим документам [4].

2. Управление рабочим процессом. СЭД может автоматизировать рабочие процессы, связанные с процессами СМК, такими как управление изменениями, корректирующие и предупреждающие действия и внутренние аудиты. Это помогает гарантировать, что нужный человек будет уведомлен в нужное время, чтобы принять необходимые меры за счет уменьшения задержек и повышения эффективности [5].

В таблице 2 приведено время, затрачиваемое на ту или иную операцию в традиционной бумажной системе документооборота и электронном документообороте.

Анализируя таблицу 2, можно отметить, что регистрация при электронном документообороте (ЭДО) проходит в 3 раза быстрее бумажного документа. Тиражирование проходит в 5 раз быстрее, также заметно сокращаются затраты на поиск документа. Доставка до исполнителя бумажного документа составляет в среднем 20 минут, при этом, документ приходится относить или отвозить физически. А при ЭДО на это требуется лишь несколько движений мышкой.

По итогу трудоемкость в минутах при ЭДО составляет 46 минут, что почти в 10 раз быстрее чем при бумажном документообороте.

Система электронного документооборота используется для контроля документов и записей. Эта система демонстрирует механизм управления документами на основе рабочего процесса, назначая работу, передавая ее дальше и отслеживая ее ход. На рисунке 1 показан жизненный цикл документа в СЭД.

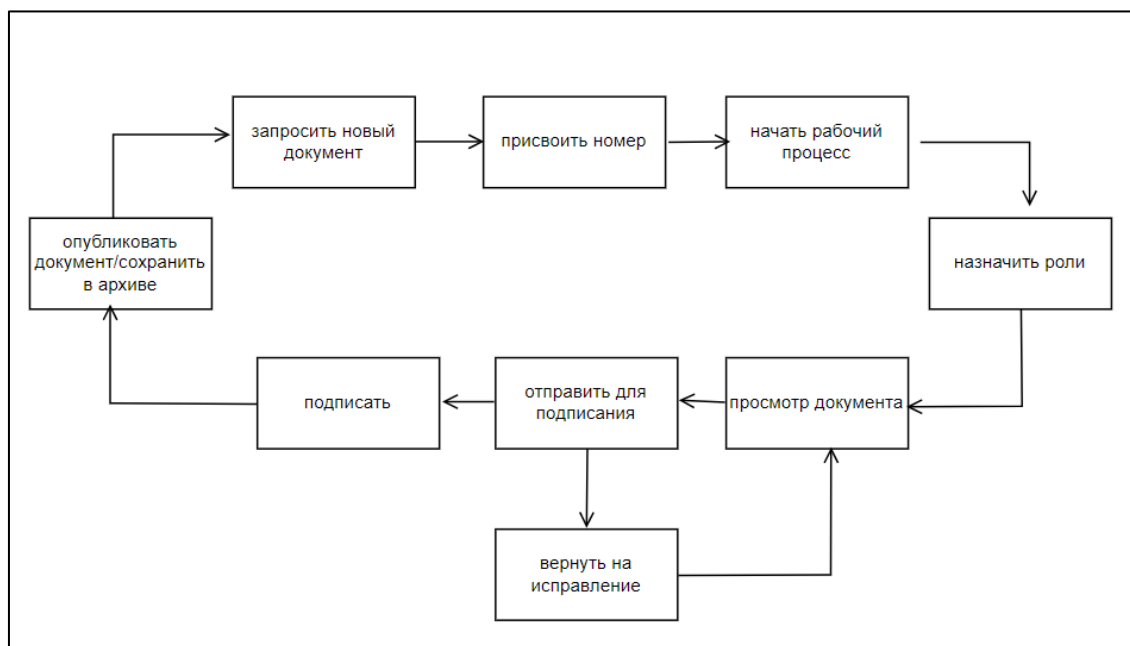


Рис. 1. Жизненный цикл документа

В целом СЭД помогает оптимизировать процессы СМК, обеспечить соответствие нормативным требованиям и повысить эффективность [6].

Стоит отметить, что многие компании отказываются от сертификации из-за увеличения интенсивности документооборота, сложности ведения бизнеса и, например, высокой цены на услуги системы электронного документооборота. В настоящее время наблюдается тенденция к снижению интереса потребителей к стандартам ISO. На начало 2022 года количество предприятий, сертифицированных по стандарту ISO в Республике Казахстан, составило 4,4 тыс. и по сравнению с 2010 годом сократилось в 2,5 раза [7].

В таблице 3 приведена матрица SWOT-анализа СЭД: показаны сильные стороны системы, ее недостатки, возможности, которые она предоставляет предприятию, а также риски при внедрении электронного документооборота.

Таблица 3

Матрица SWOT-анализа системы электронного документооборота

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Контроль за движением и исполнением документа внутри организации; 2. Гибкое отключение прав доступа (групп доступа, ролей) 3. Значительно более быстрый поиск и выбор документов 4. Снижение количества ошибок из-за «человеческого фактора»; 5. Снижение потребности в дополнительных сотрудниках	1. Затраты на закупки 2. Дополнительные расходы во время использования 3. Ввод в эксплуатацию: размещение системы в рабочей среде, настройка интеграции с существующими системами, обучение, практическая эксплуатация
Функции	Риски
1. Архивирование — архив всей электронной документации (составляется для сравнения при возникновении спорных ситуаций) 2. Эффективное управление 3. Поддержка системы контроля качества 4. Оптимизация бизнес-процессов 5. Развитие корпоративной культуры	1. Вероятность повреждения базы данных неизвестным вредоносным кодом 2. Сложность адаптации сотрудников возрастной категории 40+ к цифровому типу взаимодействия 3. Некомпетентность рабочего персонала назидательной системы 4. Консерватизм кадров 5. Необходимость взаимодействия с миром внешней «бумаги»

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод, что внедрение системы электронного документооборота является эффективным способом повышения конкурентоспособности компании, позволяющим сократить время, затрачиваемое на обработку документов и улучшить контроль за их перемещением. В свою очередь, это позволяет принимать решения быстрее и качественнее, что способствует росту бизнеса и укреплению позиций компании на рынке.

Однако внедрение системы ЭДО может столкнуться с рядом препятствий, таких как нехватка квалифицированных специалистов, необходимых для внедрения и обслуживания системы, а также трудности с адаптацией работников к новой системе. Следовательно, для успешного внедрения системы ЭДО необходимо провести соответствующее обучение персонала, а также обеспечить своевременную и качественную техническую поддержку системы.

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Преимущества систем электронного документооборота включают экономию времени, физического пространства и уменьшение количества ошибок из-за «человеческого фактора», улучшенную организацию документов, более эффективное использование оборудования, прозрачность внутренней работы организации, повышение гибкости в физическом размещении сотрудников, повышение безопасности информации и документов, сокращение расходов на печать и штамповку документов, почтовых расходов.

2. Основным требованием при внедрении СЭД являются финансовые затраты. Система включает в себя множество компонентов и может требовать значительных затрат на приобретение и настройку необходимого программного и аппаратного обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Недошитко І. Р. Електронний документообіг та його цінність для бізнесу / І. Р. Недошитко, О. Т. Патряк // Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2022. Т. 5, № 2. С. 368–379. DOI: 10.31866/2617-796X.5.2.2022.270142.
2. Bouchetara, M. The Implementation of a Quality Management System in Accordance with ISO 9001:2015 Standard: A Case Study / M. Bouchetara, A. F. Z. Amrani, I. E. Bedaida // International Journal of Economics and Business Administration. 2022. Vol. X, Is. 1. Pp. 261–286. DOI: 10.35808/ijeba/762.
3. Abidin, S. S. Z. Improving Accessibility and Security on Document Management System: A Malaysian Case Study / S. S. Z. Abidin, M. H. Husin // Applied Computing and Informatics. 2020. Vol. 16, No. 1/2. Pp. 137–154. DOI: 10.1016/j.aci.2018.04.002.
4. Ragimova, N. A. Analysis of Main Requirements for Electronic Document Management Systems / N. A. Ragimova, V. H. Abdullayev, V. S. Abbasova // ScienceRise. 2020. No. 1 (66). Pp. 28–31. DOI: 10.21303/2313-8416.2020.001148.
5. Putra, C. A. Implementation Strategy of Secure Electronic Document Management System in National Cyber and Crypto Agency / C. A. Putra, A. D. Yustisia // Proceedings of 3rd International Conference on Strategic and Global Studies (ICSGS 2019), (Jakarta, Indonesia, 06–07 November 2019) / M. S. Rofii, [et al.]. — European Alliance for Innovation, 2020. — Pp. 62–81. — (EAI Computing and Communication in Emerging Regions). DOI: 10.4108/eai.6-11-2019.2297260.

6. Estrera, P. J. M. Electronic Document Management System for Higher Education Institution // International Journal of Innovative Science and Research Technology. 2017. Vol. 2, Is. 5. Pp. 549–556.

7. Internal Reasons for the Low Efficiency of QMS in Many Kazakhstanis Enterprises / Z. T. Kushebayev, G. K. Moldashev,

K. S. Daurenbekova, A. K. Jussibaliyeva // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. 2022. Vol. 66, Is. 4. Pp. 76–85. DOI: 10.47703/ejebis.v4i66.223.

# Implementation of Electronic Document Management System in Order to Improve the Competitiveness of the Company

A. B. Baimuratova

Al-Farabi Kazakh National University

Almaty, Kazakhstan

baimuratova@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to study the need to introduce an electronic document management system in a company and determine how this can affect the company's competitiveness. The main problems associated with paper document management are analyzed, the advantages of electronic document management are considered. The main stages of the implementation of the electronic document management system are also considered and recommendations are given for its successful implementation.

**Keywords:** document management system, quality management system, document versions, workflow automation.

## REFERENCES

1. Nedoshytko I. R., Patriak O. T. Electronic Document Management and Its Value for Business [Elektronniy dokumentoobig ta yogo tsinnist dlya biznesu], *Digital Platform Information Technologies in Sociocultural Sphere [Tsifrova platforma: informatsiyini tekhnologii v sotsiokulturniy sferi]*, 2022, Vol. 5, No. 2, Pp. 368–379. DOI: 10.31866/2617-796X.5.2.2022.270142.
2. Bouchetara M., Amrani A. F. Z., Bedaida I. E. The Implementation of a Quality Management System in Accordance with ISO 9001:2015 Standard: A Case Study, *International Journal of Economics and Business Administration*. 2022, Vol. X, Is. 1, Pp. 261–286. DOI: 10.35808/ijeba/762.
3. Abidin S. S. Z., Husin M. H. Improving Accessibility and Security on Document Management System: A Malaysian Case Study, *Applied Computing and Informatics*, 2020, Vol. 16, No. 1/2, Pp. 137–154. DOI: 10.1016/j.aci.2018.04.002.
4. Ragimova N. A., Abdullayev V. H., Abbasova V. S. Analysis of Main Requirements for Electronic Document Management Systems, *ScienceRise*, 2020, No. 1 (66), Pp. 28–31. DOI: 10.21303/2313-8416.2020.001148.
5. Putra C. A., Yustisia A. D. Implementation Strategy of Secure Electronic Document Management System in National Cyber and Crypto Agency. In: *Rofii M. S., et al. (eds) Proceedings of 3rd International Conference on Strategic and Global Studies (ICSGS 2019), Jakarta, Indonesia, November 06–07, 2019*. European Alliance for Innovation, 2020, Pp. 62–81. DOI: 10.4108/eai.6-11-2019.2297260.
6. Estrera P. J. M. Electronic Document Management System for Higher Education Institution, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2017, Vol. 2, Is. 5, Pp. 549–556.
7. Kushebayev Z. T., Moldashev G. K., Daurenbekova K. S., Jussibaliyeva A. K. Internal Reasons for the Low Efficiency of QMS in Many Kazakhstans Enterprises, *Eurasian Journal of Economic and Business Studies*, 2022, Vol. 66, Is. 4, Pp. 76–85. DOI: 10.47703/ejeb.v4i66.223.

# Анализ новых технологий в области управления рисками

М. Н. Бухараева

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Алматы, Казахстан

mbukharayeva@mail.ru

**Аннотация.** Информационные технологии играют важную роль в риск менеджменте, так как они позволяют собирать, обрабатывать и анализировать большие объемы данных, связанных с рисками, а также автоматизировать процессы оценки и управления рисками.

Существует множество новых технологий, которые могут использоваться для управления рисками. Переход от международных стандартных моделей и методологий к использованию численных моделей для оценки рисков привел к совершенствованию моделей искусственного интеллекта, использованию технологий больших данных и технологии блокчейн в управлении рисками.

**Ключевые слова:** риски, искусственный интеллект, большие данные, технологии блокчейн.

## ВВЕДЕНИЕ

ИТ-отрасль активно развивается. С ней связывается все больше аспектов человеческой и общественной жизни. Управление рисками в предприятиях — не исключение. Бизнес использует большое количество решений при выполнении поставленных задач. Информационные системы и технологии в сфере управления рисками — это методы, которые позволяют эффективно производить планирование, обмениваться данными, контролировать поставки, а также совершать другие действия, направленные на оптимизацию рабочих процессов и максимизацию прибыли.

В области управления рисками существует несколько новых технологий, которые значительно повышают эффективность и точность процессов оценки и управления рисками. Вот некоторые из них:

- искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение;

- аналитика больших данных;
- блокчейн-технология.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Алгоритмы искусственного интеллекта, разработанные для управления рисками, помогают организациям снижать риски, внедрять автоматизированные инструменты для смягчения и управления этими рисками, улучшать изменения и быстро реагировать, выявлять тенденции для информирования политики и повышать эффективность рисков компании. С помощью ИИ можно собрать и проанализировать большие объемы данных, чтобы выявить потенциальные риски и принять меры по их предотвращению. ИИ можно использовать для обнаружения аномалий в данных, что позволяет быстро выявлять потенциальные проблемы и предотвращать их развитие. Варианты использования технологии искусственного интеллекта, интегрированной с системой управления рисками [1]:

1. Обнаружение мошенничества. Системы искусственного интеллекта могут использовать модели машинного обучения для обработки текста, анализа социальных сетей и поиска в базах данных, чтобы уменьшить накладные расходы на эти процессы и уменьшить ущерб от мошенничества.

2. Классификация данных. Молодые интеллектуальные инструменты также могут обрабатывать и классифицировать всю информацию в соответствии с предварительно проверенными шаблонами и категориями и получать доступ к этим данным.

На рисунке 1 показано, как может функционировать система, основанная на искусственном интеллекте.

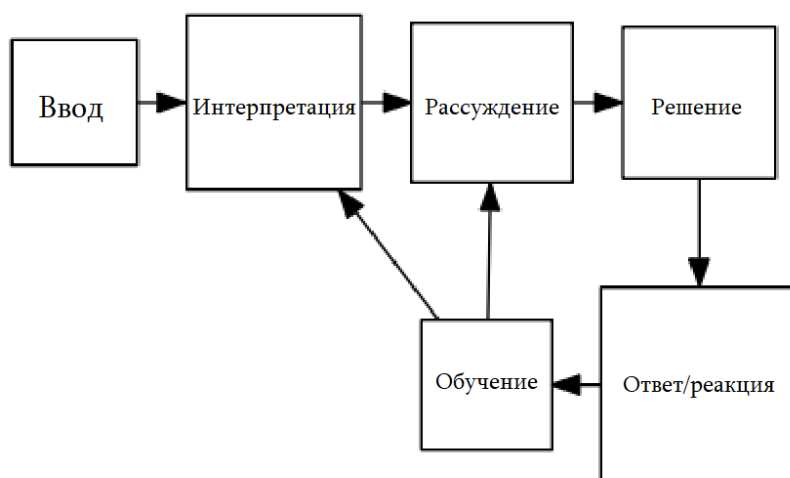


Рис. 1. Функционирование системы, основанной на искусственном интеллекте

Система, основанная на искусственном интеллекте, принимает входные данные, делает некоторый вывод о том, что представляет собой ввод, выполняет некоторые рассуждения о выводах, сделанных на основе предшествующих знаний, и, наконец, принимает решение о действии.

Искусственный интеллект можно использовать несколькими способами в управлении рисками [2]:

1. Обнаружение мошенничества. ИИ можно использовать для мониторинга транзакций и выявления подозрительных действий, которые могут указывать на мошенничество. Например, ИИ может анализировать данные о поведении клиентов, чтобы обнаруживать необычные закономерности, которые могут свидетельствовать о мошеннических действиях.

2. Обработка естественного языка. ИИ можно использовать для анализа неструктурированных данных, таких как электронные письма, сообщения в социальных сетях и новостные статьи, для выявления потенциальных рисков. Например, ИИ может анализировать новостные статьи для выявления потенциальных рисков, связанных с нормативными изменениями или рыночными тенденциями.

3. Поддержка принятия решений. ИИ может оказывать поддержку в принятии решений менеджерам по рискам, анализируя данные и предоставляя рекомендации по стратегиям управления рисками. Например, ИИ может анализировать данные о страховых претензиях, чтобы выявлять закономерности и рекомендовать изменения в страховых полисах или процедурах.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет автоматизировать процессы анализа и

оценки рисков. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности и тренды, что помогает предсказывать возможные риски и принимать более обоснованные решения.

#### АНАЛИТИКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Большие данные (Big Data) — это большие объемы структурированных и неструктурированных данных, которые не могут быть обработаны и проанализированы с помощью традиционных методов обработки данных. Большие данные предлагают возможности снижения рисков, которые можно использовать для внедрения инноваций, обнаружения мошенничества и мониторинга в режиме реального времени.

С помощью специальных технологий и инструментов, таких как Hadoop, Spark, NoSQL и других, большие данные могут быть обработаны в реальном времени и масштабированы в соответствии с потребностями организации.

Решения для работы с большими данными обычно включают один или несколько из следующих типов рабочей нагрузки [3]:

- пакетная обработка источников больших данных в состоянии покоя;
- обработка больших данных в реальном времени в движении;
- интерактивное исследование больших данных;
- предиктивная аналитика и машинное обучение.

На рисунке 2 показаны логические компоненты, которые входят в архитектуру для обработки больших данных.

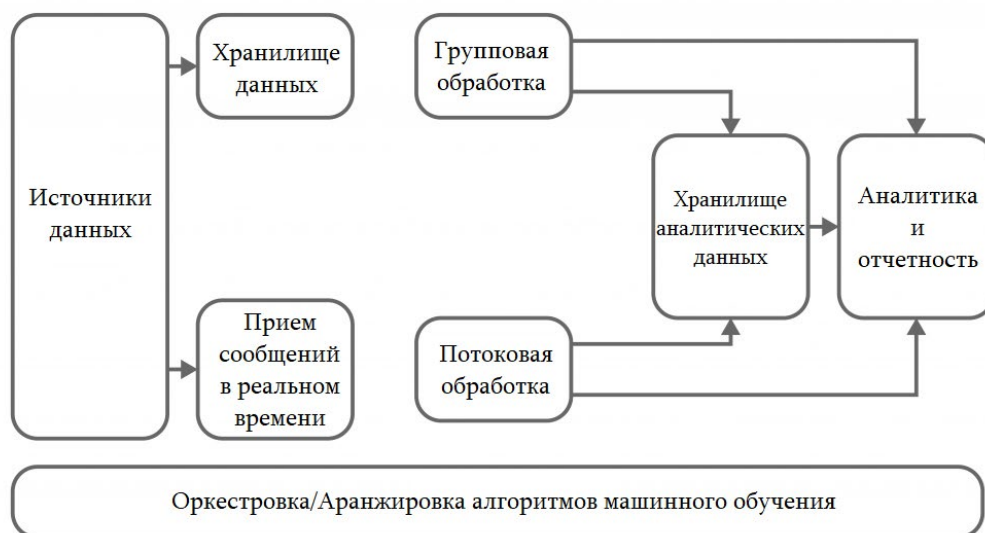


Рис. 2. Архитектура больших данных

Большие данные могут быть очень полезны в риск-менеджменте. Собирая большие объемы данных и анализируя их, можно выявить тенденции и паттерны, которые могут указывать на потенциальные риски. Это может помочь компаниям принимать более обоснованные решения в отношении управления рисками.

Использование больших данных в риск менеджменте [4]:

1. Управление рисками поставщиков (Vendor Risk Management, VRM). Позволяет выбирать поставщиков,

оценивать серьезность рисков, устанавливать внутренние средства контроля для снижения рисков, такие как брандмауэры или многофакторная авторизация, а затем отслеживать текущую деятельность поставщиков.

2. Предиктивная аналитика. Предоставляет точный и подробный метод предотвращения и сведения к минимуму мошеннических или подозрительных действий. Правительства и международные кредитные учреждения применяют



методы управления рисками больших данных и их смягчения. Это включает веб-аналитику, текстовую аналитику, аналитику цены и веса единицы продукции, а также профили взаимоотношений торговых партнеров. Такие данные могут помочь идентифицировать подставные компании.

3. Выявление оттока. Существенным риском для организаций является отток. Потеря клиентов сильно влияет на итоговый результат. Лояльность клиентов можно определить, используя большие данные в качестве инструмента управления рисками. Основываясь на данных, компании могут ускорить принятие мер по снижению оттока и предотвращению оттока клиентов.

#### БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯ

Блокчейн рассматривается как ключевая технология управления рисками будущего. Блокчейн — это технология распределенных баз данных, которая позволяет создавать надежные и безопасные записи о транзакциях и других событиях. Она основана на распределенной системе учета транзакций, которая обеспечивает неизменяемость данных и защиту от подделки. Блокчейн использует криптографию для обеспечения безопасности данных и защиты приватности.

В основе блокчейна лежит понятие блока, который содержит информацию о транзакции, включая ее время, сумму и идентификаторы отправителя и получателя. Каждый блок связан с предыдущим блоком в цепочке блоков, что образует непрерывную цепочку блоков, называемую

блокчейном. Блокчейн позволяет участникам сети обмениваться информацией и выполнять транзакции без участия посредников. Это делает блокчейн особенно полезным для финансовых транзакций и других операций, требующих высокого уровня безопасности и надежности.

В силу своей безопасности и надежности, блокчейн может обеспечивать более эффективную и прозрачную систему управления рисками. Для предприятий блокчейн позволяет повысить эффективность бизнес-процессов и снизить риски. Блокчейн работает двумя способами [5]:

1. Блокчейны без разрешения. Когда дело доходит до блокчейна без разрешения, риски, связанные с ним, легко увидеть. Блокчейн без разрешения имеет проблемы с масштабируемостью с точки зрения конфиденциальности и масштабируемости. Он не предназначен для компаний или финансовых учреждений.

2. Блокчейны, защищенные разрешениями. Блокчейны, защищенные разрешениями могут проверять транзакции, что делает их идеальными для блокчейнов. Такие блокчейны не имеют проблем с конфиденциальностью или масштабируемостью.

Блокчейн состоит из двух основных элементов (рис. 3):

- транзакции: действия, генерируемые участниками системы.
- блоки: нужно записывать транзакции и следить за тем, чтобы они шли в правильной последовательности и не были подделаны.

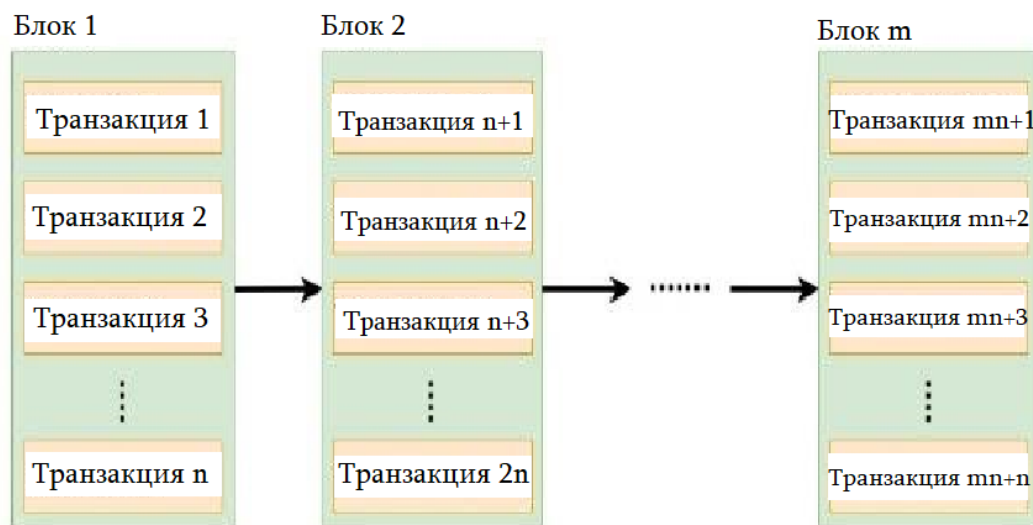


Рис. 3. Структура блокчейна

Применение блокчейн-технологии в риск-менеджменте может включать [6]:

1. Регистрацию и анализ данных о рисках. Блокчейн может использоваться для создания децентрализованных баз данных, которые позволяют регистрировать и анализировать данные о рисках. Это может улучшить прогнозирование рисков и помочь в принятии более эффективных решений в области управления рисками.

2. Управление цепочками поставок. Блокчейн может обеспечить более прозрачную систему управления цепочками поставок, что может помочь в снижении рисков в этой

области. Блокчейн может использоваться для отслеживания поставок и документов, что позволяет уменьшить вероятность возникновения задержек, ошибок и мошенничества.

3. Управление финансовыми рисками. Блокчейн может быть использован для улучшения управления финансовыми рисками, такими как кредитный риск и рыночный риск, а также для создания прозрачной системы управления финансовыми данными, что позволяет уменьшить риски и обеспечить более эффективное управление рисками.

#### ВЫВОДЫ

Информационные технологии являются неотъемлемой частью современного риск-менеджмента, помогая компаниям и организациям более эффективно управлять своими рисками и минимизировать потенциальные убытки. Использование ИИ, технологий блокчейн и больших данных в риск-менеджменте может помочь компаниям и организациям быстрее и эффективнее обнаруживать риски и управлять ими, что, в свою очередь, способствует устойчивому развитию бизнеса и снижению потерь, а также обеспечить более эффективное управление рисками в различных отраслях.

Однако необходимо учитывать, что обработка больших объемов данных может быть сложной и требовать значительных затрат на инфраструктуру и специалистов. Кроме того, сбор и использование данных должны соответствовать законодательству о защите данных и учитывать приватность клиентов.

Это лишь некоторые из возможных технологий, которые могут использоваться для управления рисками. Новые технологии появляются каждый день, и в будущем мы, вероятно, увидим еще больше инноваций в этой области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Artificial Intelligence Techniques for Flood Risk Management in Urban Environments / W. Sayers, D. Savić,

Z. Kapelan, R. Kellagher // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 70. Pp. 1505–1512. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.165.

2. Deiva Ganesh, A. Future of Artificial Intelligence and Its Influence on Supply Chain Risk Management — A Systematic Review / A. Deiva Ganesh, P. Kalpana // *Computers and Industrial Engineering*. 2022. Vol. 169. Art. No. 108206. 20 p. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108206.

3. Supply Chain Risk Management: An Interactive Simulation Model in a Big Data Context / A. A. C. Vieira, L. Dias, M. Y. Santos, [et al.] // *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 42. Pp. 140–145. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.035.

4. Calvard, T. S. Developing Human Resource Data Risk Management in the Age of Big Data / T. S. Calvard, D. Jeske // *International Journal of Information Management*. 2018. Vol. 43. Pp. 159–164. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.011.

5. Doguchaeva, S. Blockchain in Public Supply Chain Management: Advantages and Risks / S. Doguchaeva, S. Zubkova, Y. Katrashova // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. Pp. 2172–2178. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.244.

6. Meier, O. Circular Supply Chain Management with Blockchain Technology: A Dynamic Capabilities View / O. Meier, T. Gruchmann, D. Ivanov // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2023. Vol. 176. Art. No. 103177. 14 p. DOI: 10.1016/j.tre.2023.103177.

# Analysis of New Technologies in the Field of Risk Management

M. N. Bukharayeva

Al-Farabi Kazakh National University

Almaty, Kazakhstan

mbukharayeva@mail.ru

**Abstract.** Information technologies play an important role in risk management, as they allow you to collect, process and analyze large amounts of risk-related data, as well as automate risk assessment and management processes.

There are many new technologies that can be used to manage risks. The transition from international standard models and methodologies to the use of numerical models for risk assessment has led to the improvement of artificial intelligence models, the use of big data technologies and blockchain technology in risk management.

**Keywords:** risks, artificial intelligence, big data, blockchain technology.

## REFERENCES

1. Sayers W., Savić D., Kapelan Z., Kellagher R. Artificial Intelligence Techniques for Flood Risk Management in Urban Environments, *Procedia Engineering*, 2014, Vol. 70, Pp. 1505–1512. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.165.

2. Deiva Ganesh A., Kalpana P. Future of Artificial Intelligence and Its Influence on Supply Chain Risk Management — A Systematic Review. *Computers and Industrial Engineering*, 2022, Vol. 169, Art. No. 108206, 20 p. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108206.

3. Vieira A. A. C., Dias L., Santos M. Y., et al. Supply Chain Risk Management: An Interactive Simulation Model in the Context of Big Data, *Procedia Manufacturing*, 2020, Vol. 42, Pp. 140–145. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.035.

4. Calvard T. S., Jeske D. Developing Human Resource Data Risk Management in the Age of Big Data, *International Journal of Information Management*, 2018, Vol. 43, Pp. 159–164. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.011.

5. Doguchayeva S., Zubkova S., Katrashova Y. Blockchain in Public Supply Chain Management: Advantages and Risks, *Transportation Research Procedia*, 2022, Vol. 63, Pp. 2172–2178. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.244.

6. Meier O., Gruchmann T., Ivanov D. Circular Supply Chain Management with Blockchain Technology: A Dynamic Capabilities View, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2023, Vol. 176, Art. No. 103177, 14 p. DOI: 10.1016/j.tre.2023.103177.

# Прикладные аспекты выбора между развитием средств предсказания будущих состояний и оптимизацией задачи подбора граничных значений для мониторинга ИТ-услуги

М. А. Большаков

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
bolshakovm@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматривается вопрос использования накопленных данных систем мониторинга в части решения прикладной задачи — повышения надежности наблюдаемого комплекса. Существуют различные подходы использования методов машинного обучения для использования указанных данных, например реализация задачи восстановления регрессии с целью прогнозирования точного состояния того или иного параметра или реализация задачи классификации для отнесения того или иного временного среза к нормальному или аномальному состоянию. С прикладной точки зрения два этих подхода противопоставлены друг другу — в статье дана концептуальная оценка указанных подходов и определен наиболее практичный для реализации на реальном программно-аппаратном комплексе, занятом в предоставлении ИТ-услуг пользователю.

**Ключевые слова:** мониторинг ИТ-инфраструктуры, машинное обучение, граничные условия, Service Desk, ИТ-услуга.

## ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития информационных технологий в настоящее время позволяет собирать огромные объемы разнородных данных, в том числе это касается и параметров работы непосредственно элементов ИТ-инфраструктуры. Самые простые SNMP-запросы и множество других (агентских и безагентских) способов определения актуальных параметров состояния оборудования позволяют получать срезы указанных параметров работы практически для любого устройства с наименьшей дискретностью.

С учетом наличия указанных данных и текущих возможностей машинного обучения в части решения задач прогнозирования велик соблазн использовать полученные данные системы мониторинга, собираемые со всех устройств, занятых в предоставлении различных информационных сервисов, для прогнозирования будущих состояний данных сервисов [1]. Однако зачастую ресурсы вычислительного комплекса заняты другими задачами и тогда встает вопрос: целесообразна ли постановка такой задачи перед вычислительными ресурсами или корректнее использовать ресурсы непосредственно на расширение охвата мониторингом и автоматизацию средств реагирования?

Рассмотрим разницу этих подходов в части распределения ресурсов и получаемых эффектов. При этом под системой мониторинга будем понимать систему, которая обнаруживает достижение и переход наблюдаемого параметра через заданное граничное значение и выполнение

некоторого действия в этом случае. Действия при этом делятся на две категории: информирование причастных (отправка сообщения необходимым способом, автоматизированное формирование обращения в систему регистрации заявок (Service Desk) и др.) и непосредственно автоматизированные действия на элементах ИТ-инфраструктуры (перезагрузка, корректировка необходимых настроек и др.).

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОНИТОРИНГА ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ

Существует два принципиально разных подхода к мониторингу: реактивный и проактивный, при этом распространено мнение, что реактивный мониторинг — это пережиток прошлого, и в настоящее время необходимо развивать исключительно проактивный мониторинг. При этом под проактивным мониторингом часто понимается программно-аппаратный комплекс, который позволяет наблюдать за параметрами сопровождаемого объекта и прогнозировать его состояние в будущем исходя из текущих и прошлых значений параметров, то есть решать задачу восстановления регрессии и пытаться предсказать значения наблюдаемых параметров в будущем. Данный подход является некорректным, в реальности тип мониторинга, необходимый к внедрению, определяется не только уровнем зрелости процессов эксплуатации ИТ в организации, но и непосредственно объектами, для которых внедряется выбранный тип мониторинга [2]. Более наглядно различия для реактивного и проактивного мониторинга представлены в таблице 1.

Далее следует определить понятия «инцидент» и «проблема» [3]:

- инцидент — это внеплановое прекращение предоставления сервиса или снижение его качества;
- проблема — неизвестная причина одного или нескольких инцидентов.

Определено, что при управлении инцидентами основная цель управления жизненным циклом всех инцидентов — это скорейшее восстановление ИТ-услуги для пользователей, а при управлении проблемами целью является предотвращение инцидентов в будущем. Методы управления проблемами нацелены на предотвращение и устранение возможности возникновения инцидентов или повторяющихся проблем за счет выявления взаимосвязей и осуществления мер по решению корневых причин их возникновения. В обновленной версии ITIL 4 при управлении

Сравнение реактивного и проактивного мониторинга

Критерий \ Тип мониторинга	Реактивный	Проактивный	
		Превентивный	Предиктивный
Подход к обслуживанию	Обслуживание после сбоя/отказа	Обслуживание с заранее определенными периодами	Непрерывная диагностика и контроль состояния с целью поиска «предотказных» состояний и реагирование до момента отказа оборудования
Полигон внедрения	Оборудование, временный отказ которого не несет существенных потерь. Само оборудование при этом редко выходит из строя	Оборудование с небольшой стоимостью простоя	Оборудование, отказ которого приводит к существенным потерям для бизнеса

проблемами для ИТ-услуги существенно расширен горизонт рассмотрения — теперь рассматриваются проблемы не только непосредственно по работе оборудования, но и по процессам, продуктам, поставщикам и персоналу. При этом все эти направления встроены в общий бэклог по ИТ-услуге, то есть являются неотъемлемой частью общего пула параметров, состояния которых считается определяющим для оценки уровня качества предоставления ИТ-услуги. Такой подход является логичным развитием от мониторинга ИТ-инфраструктуры к мониторингу и управлению ИТ-сервисами и услугами, которые строятся на рассматриваемой ИТ-инфраструктуре, а, следовательно, с увеличением количества переменных для функции прогнозирования общего уровня качества предоставления ИТ-услуги увеличивается и сложность указанной задачи.

**ПРИКЛАДНОЙ СМЫСЛ ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ**

Определение функции, которой можно описать значения собираемых с ИТ-инфраструктуры или расчетных (синтетических) параметров более высокого уровня, является нетривиальной задачей и количество переменных в этой функции безусловно велико. Таким образом, следует понимать, что компании, ставящие перед собой такую задачу, должны располагать существенными вычислительными ресурсами, которые можно выделить непосредственно для решения указанной задачи. При этом задача проактивного мониторинга ставится и решается обычно на этапе уже после развертывания непосредственно ландшафта ИТ-инфраструктуры — этапе, когда компании вкладывают огромные средства и закладывают необходимые резервные мощности. Необходимое резервирование и развитые средства балансировки нагрузки на ИТ-инфраструктуру являются обязательными требованиями при формировании ландшафта ИТ-инфраструктуры, и именно эти условия позволяют своевременно подключать дополнительно необходимые ресурсы при их утилизации.

Описанные условия и ставят под сомнение целесообразность прогнозирования точных значений параметров работы, так как это дорого (требуют выделения достаточного количества вычислительных ресурсов) и не всегда может быть точно (например, никогда нельзя гарантировано предсказать действия пользователя, который может резко снизить или увеличить нагрузку на комплекс вследствие нерегламентной (невозможной к внесению в график

заданий заранее) бизнес-задачи или другого форматора).

Более логичным в данном случае является подход глубокой проработки граничных значений, выставляемых при наблюдении за параметрами работы, и автоматизация реакции на превышение данного значения. При этом следует понимать, что один из основных показателей при внедрении системы мониторинга – это доля инцидентов, которые сгенерированы автоматизированно непосредственно системой мониторинга, значение это стремится к 100 %. Чтобы добиться приближения к указанному значению проходит достаточно длительное время, в течение которого специалисты проводят работы по подбору и поддержанию в актуальном состоянии граничных значений для каждого критичного наблюдаемого или расчетного итогового параметра. Помимо технической документации к оборудованию, знаний администраторов и других специалистов технической поддержки обязательно должны приниматься во внимание и значения наблюдаемых параметров при ручном создании инцидента пользователем, то есть обязательно должен происходить анализ параметров в момент, когда уже пользователь обращает внимание на падение уровня качества предоставления ИТ-услуги.

Именно на этом этапе целесообразно начать применять методы машинного обучения, используя в качестве обучающей и тренировочной выборки массивы данных из системы мониторинга и модуля Service Desk:

$$\begin{matrix} X_{11} & \dots & X_{m1} & Y_1 \\ \dots & X_{ij} & \dots & Y_j \\ X_{nk} & \dots & X_{mk} & Y_k \end{matrix}$$

где  $X_{ij}$  — значение  $i$ -го параметра в  $j$ -й момент времени среди наблюдаемых системой мониторинга либо расчетных  $n$  параметров;  $Y_j$  — метка наличия или отсутствия инцидента в Service Desk в  $j$ -й момент времени, принимаемые значения — 1 или 0.

Таким образом, ресурсоемкая задача прогнозирования путем восстановления регрессии трансформируется в задачу бинарной классификации, что требует существенно меньших ресурсов для решения — зачастую метод градиентного бустинга является достаточным для решения указанной задачи [4].

Предложенный подход позволяет всегда поддерживать в актуальном состоянии список на самом деле критичных параметров и формирует базу для рассмотрения (на этапе внедрения и опытной эксплуатации системы мониторинга) устанавливаемых граничных значений администраторами системы. При этом администраторы системы в ходе анализа временного среза, когда инцидент был зафиксирован, могут просматривать в том числе динамику значений этих параметров и устанавливать граничные значения с некоторым запасом [5].

Дальнейшая эксплуатация системы мониторинга и анализ доли инцидентов, которые формируются автоматизированным способом системой мониторинга, направлена на максимизацию данного показателя и здесь обязательным условием успешного внедрения и эксплуатации является анализ на предмет лишних инцидентов. Существуют понятия стоимости инцидента и стоимости реакции на инцидент, где под стоимостью инцидента понимается ущерб, который принес конкретный сбой для бизнеса в целом, а под стоимостью реакции — затраты на привлечение специалистов или других средств реагирования. Разумеется, эти стоимости несопоставимы и порой службы технической поддержки в стремлении перестраховаться от инцидентов совершают ошибку и начинают реагировать на любое отклонение значений критичных параметров, например время от времени перезагружая серверные мощности на всякий случай. Решением такой ситуации является адекватная оценка граничных значений и развитие средств реагирования на отклонения различными способами, ведь перезагрузка оборудования может лишь временно помочь ситуации, то есть является решением непосредственно потенциального инцидента, тогда как более правильной является работа, направленная на предотвращение инцидентов в будущем.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе развития методов получения в режиме онлайн значений параметров работы оборудования, занятого в предоставлении ИТ-услуг, и других параметров более высокого уровня (прикладное программное обеспечение, данные об эмуляции работы пользователя, показатели рабочих процессов и пр.) специалисты поддержки имеют в своем распоряжении огромные массивы данных. При

этом зачастую задача использования этих данных ставится как необходимость прогнозирования будущего состояния требуемых параметров через определение функций, описывающих поведение указанных параметров, что требует колоссального объема вычислительных ресурсов и трудозатрат при интерпретации результатов. В то же время существует иной подход, с помощью которого основной фокус направляется на интерпретацию текущего состояния и отнесение его к нормальному или аномальному, то есть решение задачи бинарной классификации, что, безусловно, проще как с точки зрения методов решения, так и с точки зрения временных затрат. Высвобожденные трудозатраты при этом следует направлять на развитие корректных средств реагирования на аномальные состояния — вопрос адекватной реакции на те или иные события с ИТ-инфраструктурой и иными элементами, входящими в контур формирования и предоставления ИТ-услуги, является достаточно объемным и требует дополнительного рассмотрения в отдельной статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Саенко, И. Б. Мониторинг и прогнозирование состояния компьютерных сетей на основе применения гибридных нейронных сетей / И. Б. Саенко, Ф. А. Скорик, И. В. Котенко // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 10. С. 795–800. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-10-795-800.
2. Дубровин, М. Г. Концепция проактивного мониторинга и управления объектами ИТ-инфраструктуры // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2020. № 1 (15). С. 44–49.
3. ITIL Foundation: ITIL4 Edition. — Norwich: TSO (The Stationery Office), 2019. — 259 p.
4. Большаков, М. А. Сравнительный анализ методов машинного обучения для оценки качества ИТ-услуг / М. А. Большаков, И. А. Молодкин, С. В. Пугачев // Защита информации. Инсайд. 2020. № 4 (94). С. 36–43.
5. Большаков, М. А. Об использовании алгоритмов анализа и обработки данных системы мониторинга ИТ-сервисов ГВЦ ОАО «РЖД» / М. А. Большаков, С. В. Пугачев // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2018. № 4 (16). С. 5–10.

# Applied Aspects of the Choice Between the Development of Tools for Predicting Future States and Optimizing the Problem of Selecting Boundary Values for Monitoring an IT Service

M. A. Bolshakov

Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
bolshakovm@yandex.ru

**Abstract.** The issue of using the accumulated data of monitoring systems in terms of solving an applied problem is considered - increasing the reliability of the observed complex. There are various approaches to using machine learning methods to use the specified data — for example, the implementation of the regression recovery task in order to predict the exact state of a particular parameter and the implementation of the classification task to classify a particular time slice as normal or abnormal. From an applied point of view, these two approaches are opposed to each other — the article gives a conceptual assessment of these approaches and determines the most practical one for implementation on a real software and hardware complex engaged in providing IT services to the user.

**Keywords:** IT infrastructure monitoring, machine learning, boundary conditions, Service Desk, IT service.

## REFERENCES

1. Saenko I. B., Skorik F. A., Kotenko I. V. Monitoring and Forecasting Computer Network State Based on the Use of Hybrid Neural Networks [Monitoring i prognozirovanie sostoyaniya kompyuternykh setey na osnove primeneniya gibridnykh neyronnykh setey], *Journal of Instrument Engineering [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroeniye]*, 2016, Vol. 59, No. 10, Pp. 795–800.  
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-10-795-800.

2. Dubrovin M. G. Concept of Proactive Monitoring and Object Management of IT Infrastructure [Kontseptsiya proaktivnogo monitoringa i upravleniya obektami IT-infrastruktury], *ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii [ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii]*, 2020, No. 1 (15), Pp. 44–49.

3. ITIL Foundation: ITIL4 Edition. Norwich, TSO (The Stationery Office), 2019, 259 p.

4. Bolshakov M. A., Molodkin I. A., Pugachev S. V. Comparative Analysis of Machine Learning Methods to Assess the Quality of IT Services [Sravnitelnyy analiz metodov mashinnogo obucheniya dlya otsenki kachestva IT-uslug], *Zashchita informacii. Inside [Zashchita informatsii. Insayd]*, 2020, No. 4 (94), Pp. 36–43.

5. Bolshakov M. A., Pugachev S. V. About Algorithms for the Analysis and Processing of Data from IT-Services Monitoring Systems in Main Computing Centre JSC RZD [Ob ispolzovanii algoritmov analiza i obrabotki dannykh sistemy monitoringa IT-servisov GVTs OAO «RZhD»], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2018, No. 4 (16), Pp. 5–10.

# Актуальность использования чат-ботов для автоматизации работы приемной комиссии

Г. П. Бордовский, М. Д. Сгибнев, Н. С. Разживин, М. Ф. Соломатова  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
bordovskijgp@mail.ru, sgibnev\_mihail@mail.ru, nick.spitsyn.programme@yandex.ru, isaeva@pgups.ru

**Аннотация.** Рассматривается актуальность чат-ботов на мировом рынке, их возможности и области применения. Описано, как чат-боты могут повлиять на сферу образования при использовании их в высших учебных заведениях. Приводится вариант решения для реализации чат-бота с использованием социальной сети VK.

**Ключевые слова:** чат-бот, backend, frontend, мессенджер, социальная сеть.

## ВВЕДЕНИЕ

Чем больше пользователи сети Интернет используют различные сервисы, тем выше вероятность обращений в адрес технической поддержки того или иного сервиса. Для автоматизации и упрощения работы пользователей стали активно использоваться чат-боты. В рамках ежегодной приемной кампании в университет поступает большое количество однотипных вопросов от абитуриентов и их родителей. Актуальность разработки чат-бота обоснована тем, что с каждым годом запросов через социальные сети становится все больше, и из-за этого становится все труднее и труднее проводить приемную комиссию вуза в связи с необходимостью отвечать на каждое обращение лично. Большое количество абитуриентов желают поступить в вуз на разные специальности, хотят узнать различного рода информацию по поступлению или другую полезную для них информацию. И это очень сильно нагружает сотрудников

вуза, которые пытаются ответить на каждую заявку поступающих, из-за чего могут возникать задержки в ответах или небольшие ошибки. Чат-бот может исправить подобную ситуацию, так как он освобождает время сотрудников на решение более сложных задач.

## ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАТ-БОТОВ

Рассмотрим важность и востребованность чат-ботов на мировом рынке. Наиболее показательным будет приведение состояния рынка чат-ботов на настоящий момент. Согласно исследованиям компании Just AI [1] объем российского рынка чат-ботов составляет около 33 млрд рублей, а объем мирового рынка — около 1,23 млрд долларов. Из приведенных оценок видно, что доля российского рынка составляет треть от мирового, что в свою очередь говорит о том, что в нашей стране внедрение и эксплуатация чат-ботов осуществляется в разных сферах деятельности и весьма активно.

При изучении глобального рынка чат-ботов и оценки большинства сфер их использования можно получить следующую картину (рис. 1).

Как видно из приведенной диаграммы, наиболее крупной сферой применения чат-ботов является сфера недвижимости, второе и третье место соответственно занимают сферы путешествия и образования.

## Интеграция чат-ботов

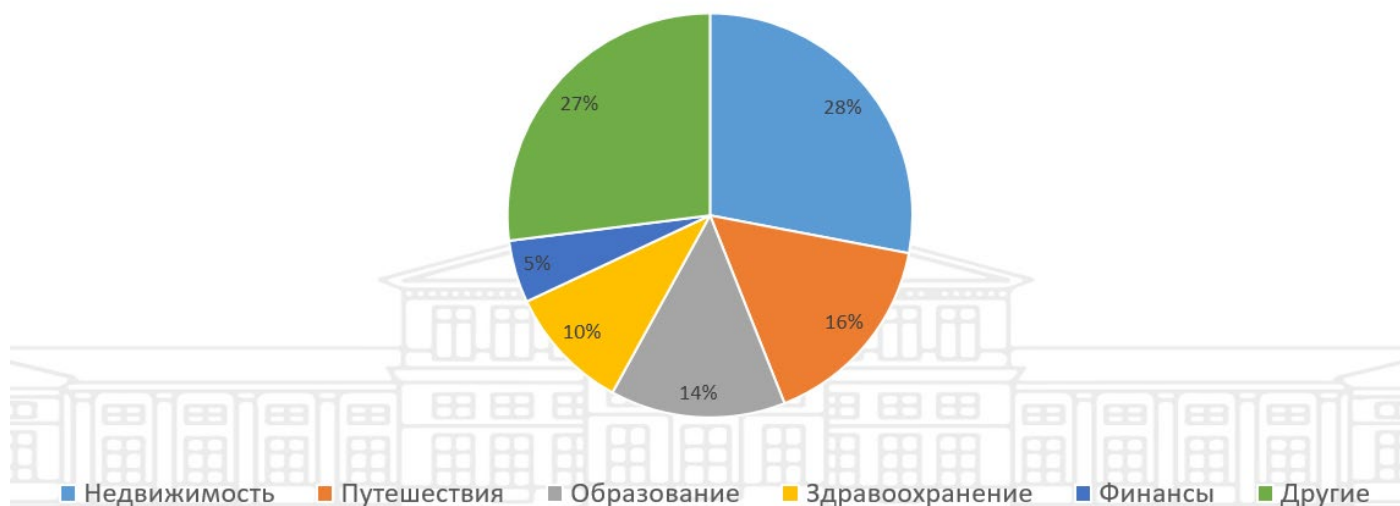


Рис. 1. Сферы использования чат-ботов



В связи с возрастающей популярностью чат-ботов было проведено немало исследований этой темы [2]. Одним из наиболее интересующих факторов в исследовании стало установление факта, почему рассматриваемая технология развивается такими темпами, и все больше как частных компаний, так и государственных организаций стремятся освоить и внедрить в работу этот инструмент. В результате исследования удалось установить, что использование чат-ботов позволило:

1. Повысить продуктивность сотрудников за счет автоматического отслеживания запланированных задач.
2. В кратчайшие сроки закрывать типовые клиентские запросы.
3. Более эффективно распределять работу операторов.
4. Оптимизировать коммуникацию внутри компании.
5. Привлечь и удержать большее количество клиентов с помощью звонков в процессе закупки.

Также стоит упомянуть, что качество оказания услуг и используемые для этого инструменты, такие как чат-бот, позволяют выполнить важное для большинства современных клиентов условие, а именно обеспечение круглосуточной доступности услуг, предоставляемых компаниями, что существенно влияет как на доход самих компаний, так и на повышение популярности чат-ботов, которые во многом позволяют автоматизировать процесс оказания услуг.

Немалую роль в повсеместном росте актуальности чат-ботов сыграло то, что наиболее популярные социальные ресурсы, такие как VK, Telegram, Viber, Госуслуги и другие, внедрили в свои платформы удобные инструменты для взаимодействия и создания чат-ботов, что привело к тому, что для множества услуг, оказываемых с использованием того или иного ресурса, пользователями были разработаны или внедрены уже готовые чат-боты. Наиболее распространенными являются предоставляющие информацию, собирающие информацию (например, путем опросов) и «продающие» чат-боты, то есть позволяющие вести коммерческую деятельность.

#### ЧАТ-БОТЫ В ОБРАЗОВАНИИ

В последнее время чат-боты все чаще появляются в нашей жизни, все больше организаций стремятся реализовать своего собственного виртуального помощника для различных нужд, с которыми реальному сотруднику сложно справиться. Сфера образования тоже не собирается отставать от времени, во многих высших учебных заведениях идет работа по созданию подобного помощника [3].

Высшее учебное заведение — это сложная система, выполняющая огромное количество задач, основной спектр которых направлен на работу со студентами. Именно в таких задачах может пригодиться чат-бот, который выступит посредником между вузом и студентами, поможет новым студентам быстрее адаптироваться, а тем, кто уже обучается, — сделать их обучение комфортнее. Такие задачи можно разделить на три класса:

1. Задачи по сбору данных. Данный класс задач направлен на сбор информации студентов, их контактных данных, успеваемости, достижений и может даже увлечениях. При внедрении в чат-бот подобного функционала можно повысить скорость обработки данных о студентах, также преподавателю будет гораздо легче работать со своими студентами, если вся нужная информация будет доступна по

одному запросу у чат-бота.

2. Задачи по обратной связи. Задачи данного класса являются основой чат-бота, так как после подачи запроса пользователю необходимо дать ответ. Если это преподаватель, то это могут быть запросы о студентах или мероприятиях вуза, если же это студент, то запросы могут быть о собственной успеваемости, о том, где находятся кабинеты преподавателей или какое у них расписание занятий.

3. Задачи по активному обучению. Под активным обучением стоит понимать, что чат-бот не может в действительности обучать студентов, но с помощью преподавателя он сможет помочь студентам. И это будет комфортнее как для самих студентов, так и для преподавателя. Чат-бот может выдавать студентам тесты, а преподавателю отправлять все результаты или присылать ссылки на материалы по дополнительным заданиям или ошибкам студентов.

При грамотной реализации чат-бота можно добиться очень хороших результатов. Все задачи, которые возможно автоматизировать, можно переложить на чат-бот, тем самым освободив время сотрудников на более уникальные задачи, такие как написание научных работ, подготовка мероприятий или другую деятельность, где действительно необходима работа человека. Сама реализация чат-бота и его внедрение в систему не является трудной задачей и при этом не требует специального обучения сотрудников для работы с ним. Ведь помимо того, что чат-бот может автоматизировать различного рода задачи и прост во внедрении, он также прост в обращении: буквально в один клик можно быстро получить всю необходимую информацию.

Таким образом, если реализовывать чат-бота для приемной комиссии, большое внимание следует уделить первым двум классам задач, так как работа ведется не со студентами, а с желающими поступить. В таких условиях чат-бот отлично справляется со своей задачей и удовлетворяет потребности каждого. Потребности вуза — в получении информации о поступающих, чего они хотят, какие специальности имеют наибольший спрос и любой другой информации, которая может пригодиться вузу. Для желающих поступить это может быть просто информация о вузе, специальностях, проходных баллах, достижениях вуза и многие другие вопросы, на которые чат-бот способен ответить [4]. А если чат-бот не сможет ответить на необходимый вопрос, всегда можно оставить возможность связи с оператором, и чем больше чат-бот будет использоваться, чем больше информации он будет получать, тем лучше и лучше он будет становиться, что в конечном итоге делает из него хорошего помощника, которому можно будет доверять.

#### УСТРОЙСТВО ЧАТ-БОТОВ

Рассмотрим, как работают чат-боты. Передача сообщений, вводимых пользователем, и ответов, создаваемых чат-ботом, осуществляется посредством HTTP-запросов. Связь между чат-ботом и платформой, на которой он реализован, происходит посредством взаимодействия двух частей, а именно: backend и frontend.

Backend является программно-аппаратной частью сервиса, которая выполняется на сервере. Его назначение — принять сообщение от пользователя, обработать и дать ему ответ [6].

Frontend является клиентской стороной интерфейса. Для этого можно использовать почти любой популярный мессенджер (Telegram, Вконтакте и др.).

Алгоритм работы чат-бота начинается с поступления в систему запроса. Далее запрос анализируется, в этом действии происходит поиск по ключевым словам в специальной базе данных. После анализа чат-бот выдает ответ пользователю.

Деятельность любого бота заключается в двух принципах: набор правил и машинное обучение.

Чат-боты первого типа основываются на некотором наборе команд или правил. При этом распознаются только зарезервированные команды.

Что касается ботов, основанных на машинном обучении, они уже обладают искусственным интеллектом. Такой бот может дать ответ пользователю даже без наличия ключевых слов. Процесс общения с пользователями позволяет таким ботам узнавать новые слова, особенности речи, то есть становиться еще умнее [5].

#### РЕАЛИЗАЦИЯ ЧАТ-БОТА В МЕССЕНДЖЕРЕ «ВКОНТАКТЕ» ДЛЯ ПРИЕМНОЙ КОМИССИИ

Социальная сеть «ВКонтакте» предоставляет большой инструментарий для ведения групп и сообществ, благодаря которым можно внедрить backend для реализации чат-бота. В сообщество можно интегрировать чат-бот, с которым можно контактировать посредством личных сообщений сообщества. Пользователь находит официальную группу на сайте, вступает в нее и может написать в личные сообщения.

Основные задачи чат-бота для приемной кампании состоят в консультации пользователей (абитуриентов), облегчая поиск информации, и в разгрузке работы приемной комиссии (рис. 2). Консультация состоит из автоматического ответа на заранее заготовленные вопросы и предоставленные общих сведений о вузе. Также пользователь с помощью бота может узнать актуальную информацию о проходных баллах и программах вступительных испытаний. Помимо этого, чат-бот позволяет быстро рассылать заготовленные сообщения.

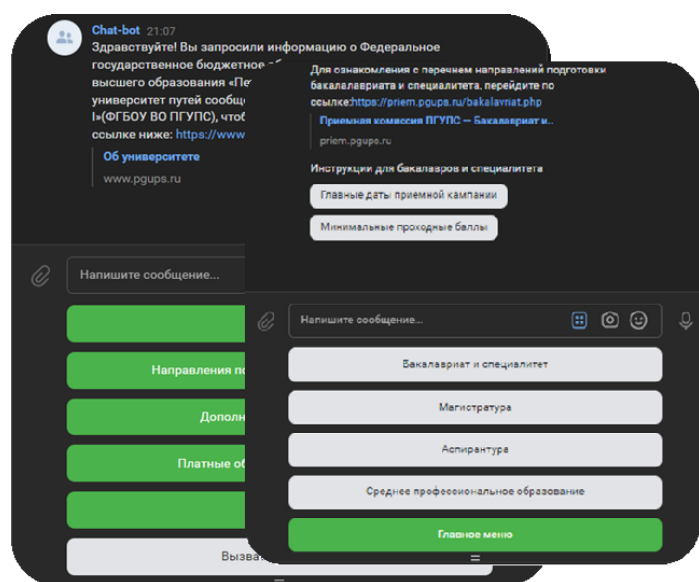


Рис. 2. Общение с чат-ботом

В редких случаях пользователь может не найти ответ на свой вопрос, для этого чат-бот позволяет быстро подключить оператора (рис. 3). Общение проходит через личные сообщения группы, где подключен чат-бот, что облегчает работу поддержки, так как происходит автоматическое распределение пользователей между операторами, а также пользователю нет необходимости совершать дополнительные действия.

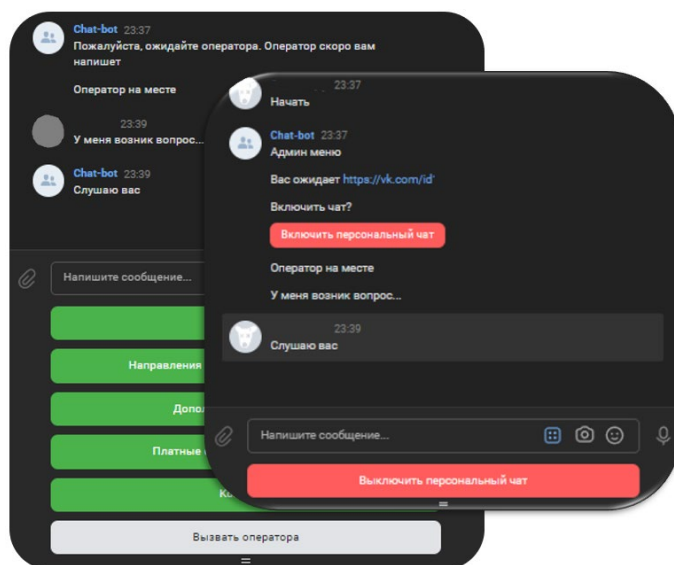


Рис. 3. Общение с поддержкой

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с тем, что количество информации, представляемой для анализа абитуриентам, с каждым годом постепенно растет, чат-боты, разрабатываемые для нужд приемной комиссии, становятся все более востребованными и даже необходимыми, так как позволяют более эффективно распределять работников и не тратить слишком много ресурсов на типовые задачи и вопросы, которых из года в год меньше не становится.

Чат-бот — это одна из наиболее значимых ступеней в развитии и оптимизации работы не только лишь приемной комиссии университета, но и других, не менее важных подразделений. В итоге, внедрение этой технологии положительно скажется на проведении приемных кампаний и наборе новых обучающихся, что не может не сказаться на вузе и не улучшить мнение абитуриентов и иных заинтересованных лиц о нем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование. Рынок разговорного ИИ в России 2020–2025 // Блог о разговорном AI. — 2021. — 12 августа. URL: <http://just-ai.com/blog/issledovanie-rynok-razgovornogo-ii-v-rossii-2020-2025> (дата обращения 03.04.2023).
2. Чат-боты — это больше, чем вы думали, и вот почему // Блог Dmytro Hoi. — 2022. — 02 февраля. URL: <http://habr.com/ru/articles/649361> (дата обращения 25.03.2023).
3. Суханова, Н. Т. Использование чат-ботов для автоматизации предоставления справочной информации абитуриентам и студентам вузов / Н. Т. Суханова, Т. М. Вежелис // Проблемы современного педагогического образования. 2022. Вып. 76, Ч. 2. С. 178–181.

4. Булаев, А. А. Информационно-справочный чат-бот для обучающихся и преподавателей вуза на основе социальной сети VK и системы MOODLE / А. А. Булаев, А. В. Жидков // Компьютерные инструменты в образовании. 2022. № 2. С. 97–110. DOI: 10.32603/2071-2340-2022-2-97-110.

5. Алгоритм работы чат-бота // Sber Developer. — 2022. — 22 декабря. URL: <http://developers.sber.ru/help/salutebot/chat-bot-algorithm> (дата обращения 03.04.2023).

6. Python Documentation // Python.org. URL: <http://www.python.org/doc> (дата обращения 25.03.2023).

# The Relevance of Using Chatbots to Automate the Work of the Admissions Committee

G. P. Bordovsky, M. D. Sgibnev, N. S. Razzhivin, M. F. Solomatova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Saint Petersburg, Russia

bordovskijgp@mail.ru, sgibnev\_mihail@mail.ru, nick.spitsyn.programme@yandex.ru, isaeva@pgups.ru

**Abstract.** Discusses the relevance of chatbot on the world market, their capabilities and area of using, describes how chatbots can influence on education when it uses in higher education institution. Solution for the implementation of the chatbot are given with using VK social network.

**Keywords:** chatbot, backend, frontend, messenger, social network.

## REFERENCES

1. Research. Conversational AI Market in Russia 2020-2025 [Issledovanie. Rynok razgovornogo II v Rossii 2020–2025], *Blog about Conversational AI [Blog o razgovornom AI]*. Published online at August 12, 2021. Available at: <http://just-ai.com/blog/issledovanie-rynok-razgovornogo-ii-v-rossii-2020-2025> (accessed 03 Apr 2023).

2. Chatbots Are More Than You Thought, and Here's Why [Chat-boty — eto bolshe, chem vy dumali, i vot pochemu], *Dmytro Hoi Blog*. Published online at February 02, 2022. Available at: <http://habr.com/ru/articles/649361> (accessed 25 Mar 2023).

3. Sukhanova N. T., Vezhelis T. M. Using Chatbots to Automate the Provision of Reference Information to Applicants and University Students [Ispolzovanie chat-botov dlya avtomatizatsii predostavleniya spravocnoy informatsii abiturientam i studentam vuzov], *Problems of Modern Pedagogical Education [Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya]*, 2022, Is. 76, Pt. 2, Pp. 178–181.

4. Bulaev A. A., Zhidkov A. V. Informational Chat-bot for Students and Teachers Based on VK and MOODLE [Informatsionno-spravochnyy chat-bot dlya obuchayushchikhsya i prepodavateley vuza na osnove sotsialnoy seti VK i sistemy MOODLE], *Computer Tools in Education [Kompyuternye instrumenty v obrazovanii]*, 2022, No. 2, Pp. 97–110.

DOI: 10.32603/2071-2340-2022-2-97-110.

5. Алгоритм работы чат-бота [Algoritm raboty chat-bota], *Sber Developer*. Published online at December 22, 2022. Available at: <http://developers.sber.ru/help/salutebot/chat-bot-algoritm> (accessed 03 Apr 2023).

6. Python Documentation, *Python.org*. Available at: <http://www.python.org/doc> (accessed 25 Mar 2023).

# Разработка интерактивной карты университета

Л. В. Селина, Н. М. Лавров, И. А. Платунов, М. Ф. Соломатова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия

luba.selina.2003@mail.ru, calebcintaryu@gmail.com, vanya.platun@yandex.ru, isaeva@pgups.ru

**Аннотация.** В настоящее время информационные системы для навигации внутри здания являются крайне нераспространенными. Они, как правило, опираются на различные проприетарные механизмы и завязаны на конкретном оборудовании. В статье обоснован подход к выбору инструментальных средств для разработки интерактивной карты здания на основе открытых решений картографирования, системы управления базами данных Postgres и системы логики интерактивной карты собственной разработки. Данный подход определяется следующими факторами: простота используемых программных компонентов, скорость работы приложения, доступность приложения. Дается обоснование структурной схемы информационной системы, а также ее архитектура с описанием интеграции компонентов.

**Ключевые слова:** карты, навигация, базы данных, Leaflet, PostGIS, СУБД, информационная система.

## ВВЕДЕНИЕ

Интерактивные карты стали популярным способом для навигации и изучения различных мест. В последние годы все большее значение приобретает разработка интерактивных карт для различных зданий. Интерактивные карты зданий предоставляют пользователям простой способ ориентироваться на местности, находить определенные помещения или зоны, а также получать доступ к важной информации.

Современный университет — это сложная система, которая включает в себя множество зданий, корпусов, аудиторий, лабораторий, кафе и других объектов. Ориентироваться на территории университета может быть сложно для новых студентов и гостей. В связи с этим разработка интерактивной карты университета является актуальной задачей.

Кампус Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I состоит из 11 корпусов, расположенных в шаговой доступности друг от друга. Между большинством корпусов располагаются переходы, как правило, на втором этаже. Каждый из этажей одного корпуса имеет до 40 помещений: четные по одну сторону, нечетные — по другую. Однако в Университете нередка ситуация, когда, например, между 11-й и 15-й аудиториями нет 13-й. Иногда посетителю тяжело найти кабинет первого этажа, поскольку маршрут к нему проходит не через главную лестницу и на это нет явных указателей. Также в Университете есть аудитории, вход в которые осуществляется через улицу. Подобные ситуации с нумерацией аудиторий приводят к тому, что обучающиеся 1-го курса или новые работники Университета тратят большое количество времени на поиск нужной аудитории.

Факультеты и кафедры в Университете располагаются в разных корпусах, однако одна группа в течение семестра взаимодействует с преподавателями нескольких кафедр, что приводит к необходимости регулярных перемещений между корпусами. Так, например, у группы может быть

пара на втором этаже 1-го корпуса, а следующая пара может быть в 7-м корпусе на пятом этаже. В связи с тем, что кабинеты могут находиться в неочевидных местах, в Университете существует программа «Наставники» для обучающихся 1-го курса. Наставниками группы являются обучающиеся 2-го курса и выше, в обязанности которых входит как налаживание взаимоотношений между студентами группы, так и сопровождение группы в процессе адаптации к жизни в Университете.

Целью статьи является описание процесса разработки интерактивной карты Университета, ее функционала, преимуществ и возможных областей применения.

Актуальность проекта заключается в том, что первокурсники, студенты по обмену или приглашенные гости Университета смогут за пару нажатий найти нужную аудиторию. Это увеличит начальную успеваемость студентов, так как уменьшится количество опоздавших и не нашедших нужный кабинет, и уменьшит нагрузку на администрацию вуза в помощи потерявшимся студентам. Кроме того, интерактивная карта здания может быть использована для улучшения безопасности здания и защиты от несанкционированного доступа. Данное решение может значительно улучшить качество образования и упростить процесс его получения.

## ПОНЯТИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Интерактивная карта — это карта, которая предоставляет пользователю возможность взаимодействия с ней. Это может быть поиск объектов, прокладка маршрутов, отображение информации о различных местах и объектах на карте, а также другие функции, облегчающие использование карты.

Работа происходит в режиме двустороннего диалогового взаимодействия человека (пользователя) и компьютера с помощью визуальной информационной системы. Она позволяет расширить понятие информативности благодаря скрытым данным. Выполнив определенные действия (наведение курсора), пользователь может получить дополнительные сведения об объекте.

Интерактивные карты используются в различных областях, включая туризм, науку, образование, бизнес и другие. Они позволяют быстро и удобно получать нужную информацию и легко ориентироваться на местности.

Подобные карты также могут использоваться для обучения и воспитания, например для изучения географии или истории. Они могут быть полезны для экологических исследований, позволяя отслеживать изменения в экосистемах и рассчитывать оптимальные маршруты для исследователей.

В целом, интерактивные карты имеют широкий спектр применения в различных областях. Они позволяют быстро

получать и анализировать геоданные, что делает жизнь более комфортной и безопасной.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Несколькими годами ранее уже предпринималась попытка создания интерактивной карты Университета. К сожалению, проект реализован не был. Исходя из этого, было принято решение о создании интерактивной карты «с нуля».

Были выделены следующие этапы:

- 1) сбор данных;
- 2) стек используемых технологий;
- 3) создание геоданных;
- 4) создание дизайна и функций карты.

Первым этапом являлся сбор данных. Были предоставлены планы пяти этажей 7-го корпуса, выполненные в программе AutoCAD. Впоследствии эти чертежи стандартными средствами данных программ были сохранены в формате DXF [1, 2]. Способ представления планов и относящейся к помещениям информации в виде используемых приложением данных описан далее.

Также частью первого этапа являлась перепись всех аудиторий 7-го корпуса. Нужно было обойти каждую аудиторию и собрать информацию о ней, чтобы в дальнейшем пользователи интерактивной карты могли получать ее при нажатии на какую-либо аудиторию.

Конечным действием этапа было определение списка объектов, которые будут отображаться на карте.

#### АРХИТЕКТУРА ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ

Реализация интерактивной карты здания представляет собой сайт, выполняющий роль самой карты. Сайт построен с использованием рендеринга на клиенте ввиду невозможности использовать полный функционал некоторых библиотек при серверном рендеринге.

Серверный рендеринг (Server-Side Rendering, SSR) — рендеринг на сервере клиентской части или универсального приложения в HTML [3].

Рендеринг на клиенте (Client-Side Rendering, CSR) — рендеринг приложения на стороне клиента (в браузере), обычно с помощью DOM [4].

Структурная диаграмма сервиса приведена на рисунке 1.

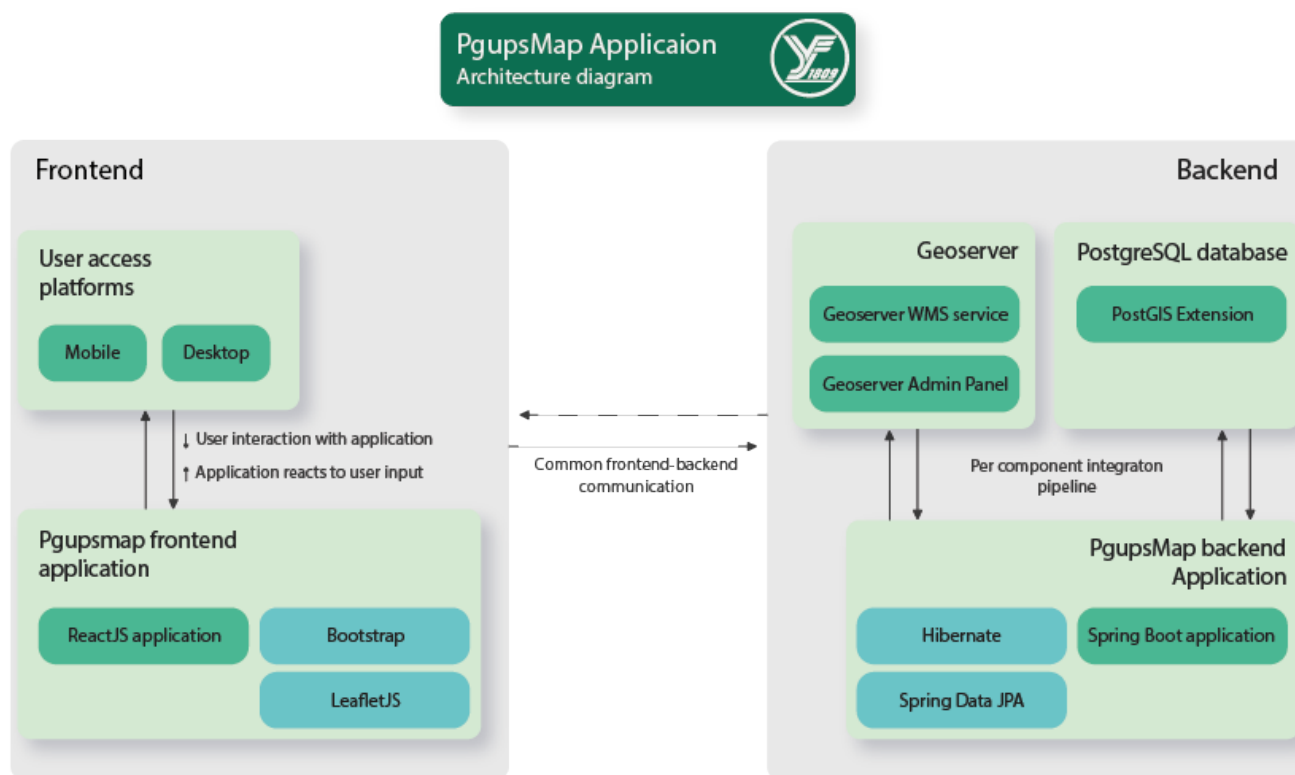


Рис. 1. Структурная диаграмма сервиса

Стек используемых технологий следующий:

#### 1. Backend:

- Java 17+ [5];
- Spring Boot 3.0+ [6];
- Hibernate + Spring Data JPA [7, 8];
- PostgreSQL + PostGIS [9, 10];

#### 2. Frontend:

- ReactJS [11];
- Bootstrap 5 [12];

- LeafletJS [13];
- 3. Geoserver 2.22+ [14].

Frontend работает в взаимодействии не только с backend, от которого он распространяется, но и использует REST API от отдельно запущенного Geoserver.

Домашняя страница сайта представляет собой саму карту, а также пользовательский интерфейс для работы с ней. На данный момент карта предоставляет подробную информацию о кабинете при нажатии на него или при поиске по номеру кабинета. Рисунок 2 иллюстрирует работу карты.

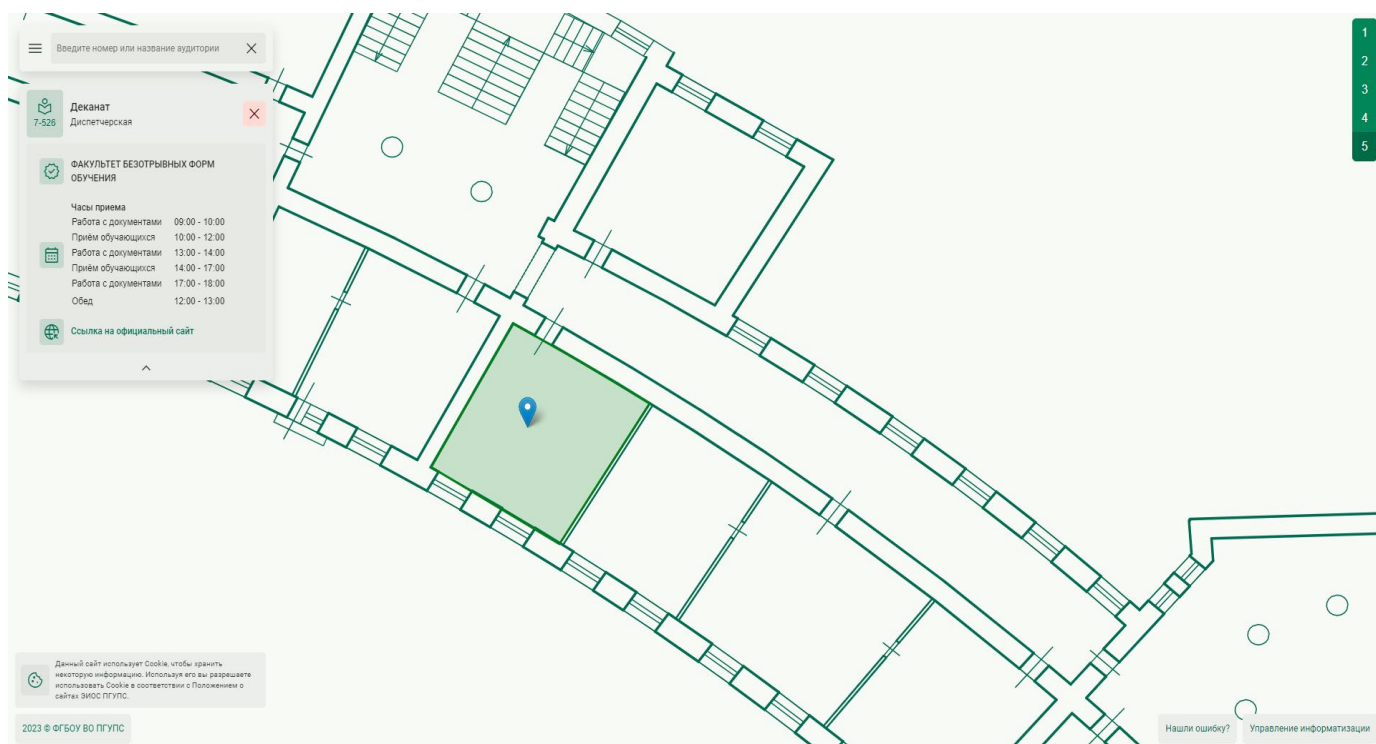


Рис. 2. Демонстрация работы карты

Компонентами пользовательского интерфейса являются:

1. Строка поиска — элемент пользовательского интерфейса, который позволяет пользователям искать определенные кабинеты или места на карте университета. Располагается в верхней части страницы.

2. Этажи корпуса — элемент пользовательского интерфейса, который позволяет пользователям выбирать определенный этаж здания на карте. Элемент содержит кнопки с номерами этажей.

3. Возможность нажатия на карту с целью получения информации о кабинете — это функция, которая позволяет пользователям получить информацию о конкретном кабинете или месте на карте. Пользователи могут нажать на кабинет или объект на карте, чтобы узнать дополнительную информацию о нем (название, расположение и т. д.)

4. Информационные кнопки на футере сайта — это элемент пользовательского интерфейса, который располагается в нижнем левом углу страницы и содержит информацию о сайте, контактную информацию и ссылки на социальные сети.

#### СОЗДАНИЕ ГЕОДАНЫХ

В разделе описывается способ создания векторного слоя карты. GeoServer — программное обеспечение с открытым исходным кодом, написанное на Java, предоставляющее возможность администрирования и публикации геоданных на сервере.

Данное программное обеспечение является одним из лучших решений в сфере OSM. Интересующим нас модулем Geoserver является Geoserver WMS, который представляет собой набор REST API для получения тайлов карты. WMS (англ. *Web Map Service* — сервис веб-карт) — стандартный протокол для обслуживания через Интернет географически привязанных изображений, генерируемых картографическим сервером на основе данных из БД ГИС.

Тайлы представляют собой квадратные изображения разрешением 256 на 256 пикселей, которые склеиваются в карту на стороне клиента различными библиотеками для карт [15]. Говоря простыми словами — это картинки с изображением объектов слоя, однако есть методы, возвращающие информацию о слое.

Рассмотрим доступные нам методы.

1. GetCapabilities возвращает параметры WMS (такие как формат изображения карты и совместимость версий WMS) и доступные слои (ограничивающая рамка карты (bounding box), системы координат, URI данных и является ли слой в основном непрозрачным или нет).

2. GetMap возвращает изображение карты. Параметры включают ширину и высоту карты, систему координат, стиль рендеринга, формат изображения.

3. GetFeatureInfo позволяет при клике на тайл получить информацию об объектах в данной точке.

4. GetLegendGraphic возвращает изображение легенды карты, предоставляя визуальное руководство по элементам.

Как говорилось выше, изначальными данными для карты являются планы здания, выполненные в программе AutoCAD. Данные чертежи необходимо стандартными средствами данной программы сохранить в формате DXF, предназначенным для передачи чертежей между различными САПРами.

После авторизации под профилем администратора на карте становится доступна панель администрирования, которая позволяет загрузить чертежи в базу данных сайта. Загрузка данных чертежа помогает в сохранении чертежных структур, таких как отрезки, полулинии и дуги, в виде структур базы данных. После выполнения этой операции чертежные данные готовы к публикации на стороне Geoserver.

Когда слой сформирован на стороне Geoserver, его необходимо добавить на стороне карты через панель администрирования. После этого слой становится доступен на карте для выбора в виде этажа карты.

#### СОЗДАНИЕ ДИЗАЙНА

Для создания дизайна интерактивной карты Университета было использовано специализированное программное обеспечение Figma. Figma — это онлайн-сервис для разработки интерфейсов и прототипирования с возможностью организации совместной работы в режиме реального времени. Сначала был создан общий макет карты, на котором были указаны все основные объекты 7-го корпуса Университета. Затем были добавлены дополнительные элементы, такие как кнопки для выбора определенных этажей здания или объектов, а также информационные окна с дополнительной информацией о каждом объекте. Использование Figma позволило легко вносить изменения в дизайн карты при необходимости. Все элементы на карте были созданы в виде отдельных слоев, что позволяло быстро перемещать их или изменять их размеры.

В процессе работы над дизайном карты особое внимание было уделено ее удобству и понятности для пользователей. Были использованы яркие цвета и четкие контуры объектов, чтобы пользователи могли легко ориентироваться на карте. Также были добавлены элементы анимации, которые делают использование карты более интересным и привлекательным. В целом, создание дизайна интерактивной карты Университета требует внимательного подхода и учета требований к функциональности, а также соответствия корпоративному стилю Университета.

После того как дизайн карты был готов, авторами было проведено тестирование интерфейса с помощью прототипа, созданного в Figma. Это позволило проверить работоспособность всех элементов интерфейса и убедиться, что пользователи смогут легко использовать карту для поиска нужных мест.

#### ПОСЛЕДУЮЩИЙ ЗАПЛАНИРОВАННЫЙ ФУНКЦИОНАЛ

Некоторые функции интерактивной карты еще находятся на этапе разработки. Окончательная реализация описанных далее функций запланирована в течение двух месяцев. К данным функциям относятся:

1. Отчеты об ошибках. В случае несоответствия предоставляемых платформой данных пользователь может сообщить об этом при помощи кнопки «Нашли ошибку?». Она представляет собой форму с указанием категории проблемы, имени и почты отправителя и подробной информации о проблеме. Для отправки заявки используется кнопка «Отправить» под формой. Заявка сохраняется на сайте карты в разделе администрирования и автоматически отправляется на адрес электронной почты поддержки карты. После обработки заявки ее необходимо закрыть со стороны карты. В случае если пользователь оставил свою почту, ему отправляется автоматическое письмо о том, что его заявка обработана.

2. Интеграция с Личным кабинетом электронной информационно-образовательной среды (ЛК ЭИОС). Ввиду сотрудничества с Управлением информатизации ФГБОУ ВО ПГУПС планируется последующее внедрение данного сервиса в число сервисов ЭИОС Университета для обеспе-

чения наилучшего взаимодействия пользователя с конечным продуктом.

В случае если у зарегистрированного пользователя имеется готовое расписание на сайте ЛК ЭИОС, он должен иметь возможность воспользоваться меню карты для быстрого поиска кабинета из расписания. Для этого расписание пользователя выгружается из ЛК ЭИОС и, в случае наличия кабинета в расписании, на карте реализуется быстрый переход к нему.

3. Навигация. Для обеспечения первокурсников информацией о кабинетах карта должна иметь возможность строить маршруты от кабинета до кабинета с поэтапной расшифровкой. Данная операция должна производиться путем построения навигационного графа. Поиск кратчайшего пути должен осуществляться при помощи алгоритма Беллмана — Форда. Алгоритм Беллмана — Форда — это алгоритм, который вычисляет кратчайший путь от одной исходной вершины ко всем остальным вершинам во взвешенном орграфе.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном мире востребованность интерактивных карт зданий в последнее время становятся выше. Разработка интерактивной карты здания включает в себя несколько этапов, в том числе сбор, обработку и визуализацию данных, а также разработку пользовательского интерфейса. Технологии, используемые при разработке интерактивных карт, включают картографическое программное обеспечение, программное обеспечение для 3D-моделирования и рамки для веб-разработки. Поскольку технологии продолжают развиваться, можно ожидать дальнейшего прогресса в разработке интерактивных карт для зданий.

Разработка такой карты требует проведения анализа научной литературы и опроса пользователей, а также соблюдения мер безопасности и защиты от несанкционированного доступа. Использование интерактивной карты Университета может быть полезным в различных областях применения, что делает ее необходимым инструментом для современного университета. Важно следить за актуальностью информации на карте и обеспечить ее регулярное обновление и поддержку.

Таким образом, разработка интерактивной карты Университета — важный шаг в улучшении качества обслуживания студентов и гостей Университета. Карта помогает ориентироваться на местности, упрощает поиск нужного объекта и повышает эффективность работы персонала.

В результате проведенной научно-исследовательской работы была разработана интерактивная карта Университета. Задачи, поставленные на начальных этапах выполнения проекта, были реализованы. Но для дальнейшего улучшения качества образования и упрощения процесса его получения необходимо продолжать работу над развитием интерактивной карты Университета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. AutoCAD DXF // Wikipedia. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD\\_DXF](http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_DXF) (дата обращения 02.04.2023).
2. AutoCAD 2012. DXF Reference. — San Rafael (CA): Autodesk Inc., 2011. — 270 p.
3. Server-Side Scripting // Wikipedia. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Server-side\\_scripting](http://en.wikipedia.org/wiki/Server-side_scripting) (дата обращения 02.04.2023).



4. Dynamic Web Page // Wikipedia. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_web\\_page](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_web_page) (дата обращения 02.04.2023).

5. Java® Platform, Standard Edition & Java Development Kit Version 17 API Specification // Oracle. URL: <http://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/api/index.html> (дата обращения 20.03.2023).

6. Spring Boot // Spring.io. URL: <http://spring.io/projects/spring-boot> (дата обращения 29.03.2023).

7. Hibernate Shards. Horizontal Partitioning with Hibernate. Reference Guide 3.0.0.Beta2. URL: <http://docs.jboss.org/hibernate/stable/shards/reference/en/html> (дата обращения 28.03.2023).

8. Spring Data JPA // Spring.io. URL: <http://spring.io/projects/spring-data-jpa> (дата обращения 29.03.2023).

9. PostGIS Documentation. URL: <http://postgis.net/documentation> (дата обращения 28.03.2023).

10. PostgreSQL 14.8 Documentation. URL: <http://www.postgresql.org/docs/14/index.html> (дата обращения 28.03.2023).

11. React. Документация. URL: <http://ru.legacy.reactjs.org/docs/getting-started.html> (дата обращения 02.04.2023).

12. React-Bootstrap. URL: <http://react-bootstrap.github.io> (дата обращения 02.04.2023).

13. React Leaflet. Introduction. URL: <http://react-leaflet.js.org/docs/start-introduction> (дата обращения 28.03.2023).

14. GeoServer Documentation. URL: <http://docs.geoserver.org> (дата обращения 02.04.2023).

15. Tiled Web Map // Wikipedia. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Tiled\\_web\\_map](http://en.wikipedia.org/wiki/Tiled_web_map) (дата обращения 02.04.2023).

# Developing of an Interactive Map of the University

L. V. Selina, N. M. Lavrov, I. A. Platunov, M. F. Solomatova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia

luba.selina\_2003@mail.ru, calebcintaryy@gmail.com, vanya.platun@yandex.ru, isaeva@pgups.ru

**Abstract.** Currently, information systems for navigating within a building are extremely uncommon. Moreover, they rely on various proprietary mechanisms and are dependent on specific hardware. This article substantiates the approach to selection of tools for development of interactive map of the building, based on open-source mapping solutions, Postgres database management system and self-developed interactive map logic system. This approach is determined by the following factors: the simplicity of the used software components, the processing speed of the application and the availability of the application. Also, this article provides justification of the structural scheme of the information system, as well as its architecture with a description of the components integration is given.

**Keywords:** maps, navigation, databases, Leaflet, PostGIS, DBMS, information system.

## REFERENCES

1. AutoCAD DXF, *Wikipedia*. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD\\_DXF](http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_DXF) (accessed 02 Apr 2023).
2. AutoCAD 2012. DXF Reference. San Rafael (CA), Autodesk Inc., 2011, 270 p.
3. Server-Side Scripting, *Wikipedia*. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Server-side\\_scripting](http://en.wikipedia.org/wiki/Server-side_scripting) (accessed 02 Apr 2023).
4. Dynamic Web Page, *Wikipedia*. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_web\\_page](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_web_page) (accessed 02 Apr 2023).
5. Java® Platform, Standard Edition & Java Development Kit Version 17 API Specification, Oracle. Available at: <http://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/api/index.html> (accessed 20 Mar 2023).
6. Spring Boot, Spring.io. Available at: <http://spring.io/projects/spring-boot> (accessed 29 Mar 2023).
7. Hibernate Shards. Horizontal Partitioning with Hibernate. Reference Guide 3.0.0.Beta2. Available at: <http://docs.jboss.org/hibernate/stable/shards/reference/en/html> (accessed 28 Mar 2023).
8. Spring Data JPA, Spring.io. Available at: <http://spring.io/projects/spring-data-jpa> (accessed 29 Mar 2023).
9. PostGIS Documentation. Available at: <http://postgis.net/documentation> (accessed 28 Mar 2023).
10. PostgreSQL 14.8 Documentation. Available at: <http://www.postgresql.org/docs/14/index.html> (accessed 28 Mar 2023).
11. React. Documentation [React. Dokumentatsiya]. Available at: <http://ru.legacy.reactjs.org/docs/getting-started.html> (accessed 02 Apr 2023).
12. React-Bootstrap. Available at: <http://react-bootstrap.github.io> (accessed 02 Apr 2023).
13. React Leaflet. Introduction. Available at: <http://react-leaflet.js.org/docs/start-introduction> (accessed 28 Mar 2023).
14. GeoServer Documentation. Available at: <http://docs.geoserver.org> (accessed 02 Apr 2023).
15. Tiled Web Map, *Wikipedia*. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Tiled\\_web\\_map](http://en.wikipedia.org/wiki/Tiled_web_map) (accessed 02 Apr 2023).

# Онтологический подход к разработке адаптивной модели компетенций и профессиональной подготовки в сфере информационных технологий

А. Н. Тимофеев

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления  
Улан-Удэ, Россия  
89021632777@mail.ru

**Аннотация.** Освещены вопросы применения онтологических подходов к созданию модели компетенций и профессиональной подготовки в сфере информационных технологий, анализируется возможность применения семантического моделирования, предлагается модель, которая позволит проводить формальную верификацию индивидуальных наборов профессиональных компетенций и строить траектории профессионального развития с возможностью выбора альтернативных путей.

**Ключевые слова:** модель компетенций, онтология, база знаний, информационные технологии.

## ВВЕДЕНИЕ

Динамичное развитие информационных технологий, характеризующееся ускоряющейся сменой ведущих парадигм и трендов, повышением сложности процессов и систем и усилением специализации, обуславливает изменение требований к профессиональной подготовке ИТ-специалистов. Концептуально эти изменения можно охарактеризовать как актуализацию проблемы непрерывности образовательного процесса, его направленности и содержания на всех уровнях существующей образовательной системы [1] с одновременным переходом к компетентностно-ориентированной модели профессионального образования.

Модели компетенций в той или иной мере отражают определенную предметную область, термины и объекты, входящие в нее.

В условиях цифровизации актуализируется вопрос формализации методов построения компетентностных моделей. В связи с этим целью статьи является описание метода автоматизированного построения и использования модели компетенций с использованием онтологического подхода и баз знаний.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть существующие модели компетенций, онтологии и базы знаний. На основе проведенного анализа выработать методы формализации модели компетенций в виде онтологии, обогащения онтологии информацией из баз знаний и автоматизированного наполнения и актуализации полученной онтологической модели компетенций.

## ОБЗОР МОДЕЛЕЙ КОМПЕТЕНЦИЙ

В экономически развитых государствах [2] образовательные и профессиональные стандарты создаются на международном или государственном уровне, а также

отдельными организациями и компаниями. Они могут описываться как требования к компетенциям, так и подход к «управлению талантами» [3].

Computer Science Curricula — составленный Association for Computing Machinery (ACM) и Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) международный рекомендательный документ для вузов, который включает примерный перечень областей, которые должны покрываться дисциплинами учебного плана для обучения бакалавров в области Computer Science [4].

European Competency Framework (e-CF) — общеевропейская модель оценки и развития профессиональных навыков и карьерного роста в ИТ-секторе. В ней определены классификация и набор спецификаций 40 компетенций (e-competencies) в области информационно-коммуникационных технологий.

European Qualification Framework (EQF) — еще одна общеевропейская модель, которая определяет 8 уровней освоения компетенции (квалификации). Каждый уровень детализирует результаты обучения или повышения квалификации, фиксируя степень овладения знаниями и умениями. Модель ориентирована на все уровни и виды образования.

В Великобритании Институтом информационных технологий создан стандарт SFIA (Skills Framework for the Information Age), который предназначен для определения профессиональных навыков и каскадного определения компетенций для ИТ-специалистов. В общей сложности SFIA содержит описание более 100 навыков, классифицированных по шести категориям и нескольким субкатегориям.

Управлением развития инфокоммуникаций и медиа (Infocomm Media Development Authority, IMDA) Сингапура в целях адаптации к изменяющемуся цифровому ландшафту создано комплексное руководство, которое определяет навыки и компетенции, необходимые для различных профессиональных ролей в цифровую эпоху — The Skills Framework for ICT.

В Республике Корея разработаны национальные стандарты компетентности (NCS), которые определяют и стандартизируют компетенции, необходимые для успешного выполнения работы, включая знания, умения и подходы, необходимые для выполнения работы и оценки способностей. Стандартом вводятся единицы компетенций,

включающие элементы, критерии, области применения и руководства по оценке.

Малайзийская матрица навыков и компетенций была разработана совместно Корпорацией развития мультимедиа (MDeC) и DeltaKnot International (DKI). В рамках матрицы и ее различных кластеров существует 432 должностные роли, которые определены для технических и нетехнических ролей. Каждая должностная роль имеет навыки, определенные в соответствии с четырьмя кластерами навыков и упорядоченные по пяти уровням владения навыками.

В IBM существует библиотека должностных компетенций IBM Kenexa Talent Frameworks, организованная в виде моделей должностей, семейств и структур, с более чем 3 000 готовых к использованию описаний должностей, охватывающих общие корпоративные функции и более 2 000 основных компетенций. Для информационных технологий описаны 21 группа должностей, 414 «работ» (должностные инструкции, профиль, основные обязанности и ожидаемый уровень квалификации уровни для сотрудников, выполняющих эту роль), 685 компетенций.

В России разработаны Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), установленные для разных уровней образования, включая общее и профессиональное образование. ФГОС описывает образовательные программы, включая уровень и структуру программ и требования к компетенциям, которые должны быть освоены студентами. В разработанной в конце 2010-х годов новой модификации ФГОС ВО 3++ в качестве результатов обучения и уже как структурных элементов компетенций (за исключением универсальных) рассматриваются компоненты трудовых функций: необходимые знания, умения и трудовые действия.

Минтрудом России с середины 2010-х годов создано более 30 профессиональных стандартов в сфере связи, информационных и коммуникационных технологий. Трудовой кодекс РФ (ст. 195.1) определяет профессиональный стандарт как характеристику квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности.

Существующие модели компетенций характеризуются разнообразным подходом к систематизации изложенной в них информации и использованием формализмов, позволяющих структурировать эту информацию. Модели компетенций, как правило, включают в себя:

- сгруппированные по областям знаний понятия и отношения между ними из таких понятийных сфер как «абстрактное — конкретное», «принадлежность», «форма и содержание», «тождество и противопоставление»;

- роли или уровни компетенций, которые агрегируют описание характерных функциональных отношений между понятиями; каждая роль является агентом, оперирующим знаниями (компетенциями).

Указанный подход к построению модели хорошо описывает общие подходы, однако для выполнения конкретных трудовых функций требуется серьезное расширение объема понятий, связанных семиотическими и иерархическими отношениями. Иными словами, компетенции описаны до уровня классов систем или методов, а выбор конкретных инструментов по понятным причинам в компетентностных моделях не описан.

## ОБЗОР ОНТОЛОГИЙ В СФЕРЕ ИТ

Онтологии — это концептуальные модели, которые используются для описания формальных знаний о различных объектах, понятиях и их отношениях в определенной области знания. Согласно М. Генезерту (M. Genesereth) и Н. Нильсону (N. Nilsson) совокупность формально представленных знаний основана на концептуализации: объекты, понятия и другие объекты, которые, как предполагается, существуют в некоторой интересующей области, и отношения, которые существуют между ними [5].

OWL-S — это основанная на OWL (Web Ontology Language) онтология, которая используется для описания веб-сервисов, их функциональности и свойств. Она состоит из трех основных частей: профиля услуги, модели процесса и основания. OWL-S предоставляет набор терминов для формального описания служб, интерфейсов и протоколов, связанных с веб-сервисами [6].

DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) — модульная система онтологий, разработанная в рамках проекта WonderWeb, предназначенная для описания фундаментальных понятий в разделах философии, психологии и лингвистики. Описание производится с помощью языков XML или RDF, оно очень четкое и последовательное.

Сус является одной из самых крупных и разработанных онтологий, содержащая около 1,5 млн аксиом [7]. База знаний Сус включает около 24,5 млн фактов и разделена на свободные от противоречий микротеории, коллекции концепций и фактов, принадлежащих одной конкретной области знаний. Создание онтологии осуществляется вручную, однако описаны методы ее автоматического наполнения из Интернета [8] и Сус подключена к проекту DBpedia.

Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) — онтология верхнего уровня, предназначенная в качестве базовой онтологии для множества компьютерных систем обработки информации. SUMO состоит из 25 000 терминов и 80 000 аксиом [9] и включает онтологию среднего уровня (Mid-Level Ontology, MILO) и набор отраслевых онтологий. Существует интеграция SUMO с проектом YAGO [10].

Computer Science Ontology (CSO) — это созданная Springer Nature и The Open University [11] онтология областей исследований, которая была автоматически сгенерирована с помощью алгоритма Klink-2 на наборе данных Rexplore, состоящем из около 16 миллионов публикаций, в основном в области компьютерных наук. Алгоритм Klink-2 объединяет семантические технологии, машинное обучение и знания из внешних источников для автоматического создания полностью заполненной онтологии областей исследований.

Существующие онтологии достаточно полно описывают многие предметные области, в том числе область информационных технологий. Проработаны ручные, автоматические и комбинированные методы пополнения онтологий.

Ориентированность онтологий на использование механизмов логического вывода и достаточно общий характер определяют то, что в них слабо описаны функциональные отношения, задающие объем компетенций для конкретных ролей.

#### ОБЗОР БАЗ ЗНАНИЙ

Согласно международному стандарту ISO/IEC/IEEE 24765-2010 «Systems and software engineering — Vocabulary» база знаний — это база данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области.

DBpedia — это мультязычная база данных общего назначения, основанная на информации из Википедии. Она извлекает структурированные многоязычные знания из Википедии и делает их свободно доступными в Интернете в виде RDF-триплетов. Доступ к данным в DBpedia осуществляется с использованием языка SPARQL [12].

YAGO — это семантическая база знаний, полученная из Wikipedia, WordNet и GeoNames. В настоящее время YAGO обладает знаниями о более чем 10 миллионах объектов и содержит более 120 миллионов фактов об этих объектах. Точность YAGO была оценена вручную, подтвержденная точность составляет 95 %. Каждое отношение аннотируется значением достоверности.

Knowledge Graph — семантическая технология и база знаний, используемая Google для повышения качества своей поисковой системы с семантической-поисковой информацией, собранной из различных источников. Knowledge Graph предоставляет структурированную и подробную информацию о теме в дополнение к списку ссылок на другие сайты.

Microsoft Concept Graph — граф знаний, построенный на основе более раннего проекта Probase, который предоставляет доступ к 5,4 млн концептов. В Microsoft Concept Graph модель концептуализации направлена на сопоставление текста с семантическими категориями понятий с некоторыми вероятностями. Структура графа знаний включает: слой построения знаний, слой концептуализации и прикладной уровень [13].

ConceptNet — это свободно доступная семантическая сеть, разработанная, чтобы помочь компьютерам понять значения слов, которые используют люди. ConceptNet содержит следующие сегменты на различных языках: реляционные знания, из Open Mind Common Sense, DBpedia, Викисловаря. ConceptNet используется в различных приложениях, таких как системы обработки естественного языка и роботы [14].

WordNet — это большая лексическая база данных английского языка. Существительные, глаголы, прилагательные и наречия сгруппированы в наборы когнитивных синонимов (синсетов), каждый из которых выражает отдельное понятие. Синсеты связаны между собой посредством понятийно-семантических и лексических отношений.

Базы знаний являются важным источником структурированной и систематизированной информации. Активно пополняемые базы знаний могут служить источником данных для выявления понятий, уточняющих абстрактные понятия онтологий верхнего уровня и моделей компетенций.

#### СОСТОЯНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ КОМПЕТЕНЦИЙ

Онтологический подход к созданию и совершенствованию компетентностно-ориентированных моделей образования, в том числе в сфере информационных технологий, находит широкий отклик у исследователей.

Е. Ю. Благов, И. А. Лещева, С. А. Щербан описывают алгоритм формирования «дополнительных» компетенций, на основе которого ими предложена усовершенствованная онтологическая модель компетентностно-ориентированного учебного плана, включающая в себя внешние источники «дополнительных» компетенций.

Т. А. Ткалич и Е. Г. Гриневиц рассматривают подходы к формированию востребованных адаптивных и актуальных образовательных программ на основе технологии и моделей, систематизирующих и структурирующих компетенции современного IT-специалиста, а также представляют основанную на применении европейских моделей компетенций EQF и e-CF схему верхнего уровня онтологии образовательного процесса, ориентированного на современные рыночные требования.

В работе В. В. Никитина рассматривается применение методов классификационного анализа для одного из этапов разработки государственных профессиональных и образовательных стандартов. Автор делает вывод, что применение данных методов позволяет повысить формализуемость и объективность процесса проектирования профессиональных и образовательных стандартов.

М. С. Гаспарян, С. А. Лебедев, Ю. Ф. Тельнов в своей статье рассматривают вопросы инжиниринга образовательных программ высшего образования в соответствии с потребностями рынка труда, отражаемыми в профессиональных стандартах. Предложен алгоритм формирования образовательных программ по профилям подготовки на основе анализа обобщенных трудовых функций и трудовых функций профессиональных стандартов.

Е. Katis, Н. Kondylakis, G. Agathangelos и V. Kostas рассматривают концептуализации образовательных структур знаний в академической среде и представляют методологию и процесс разработки образовательной онтологии.

N. Hubert, A. Brun и D. Monticolo в своей работе создали онтологию EducOnto, которая направлена на моделирование университетских учебных планов и профилей студентов, и EduKG — граф знаний, наследующий семантику EducOnto и созданный с использованием данных о французских студентах и учебных планах. Авторы также предлагают метод обогащения EduKG путем сопоставления ключевых слов EduKG с записями DBpedia или Wikidata.

M. Dascalu и соавторы описывают практики использования онтологий при разработке учебных программ (например, Болонской онтологии, онтологии учебных программ BBC или онтологии CCSO) и предлагают онтологическую модель разработки учебных программ в области инженерного образования, разработанных в рамках расширения проекта Erasmus+.

L. Cassel и соавторы в своей статье рассказывают о создании онтологии, описывающей сферу информационных технологий. Одной из целей разработки данной онтологии ставится ее использование в разработке учебных программ. Роль онтологии заключается в том, чтобы показать концепцию и связанные с ней понятия таким образом, чтобы можно было сделать осознанный выбор в заданной ситуации. Авторы рассматривают несколько способов применения созданной онтологии.

A. Salatino и соавторы описывают онтологию Computer Science Ontology (CSO), варианты ее использования и историю развития. Это крупномасштабная, автоматически

генерируемая онтология областей исследований, который включает в себя около 14 тысяч тем и 162 тысячи семантических связей. CSO создана с применением алгоритма Klink-2 на наборе данных из 16 млн научных статей.

Исследователи рассматривают применение онтологий и баз знаний для описания и уточнения моделей компетенций, используют при практическом применении моделей компетенций. Большинство таких работ является зарубежными. Это определяет то, что для отечественных моделей компетенций онтологический подход используется только в части создания небольших специализированных онтологий.

Проведенный обзор показывает существенные достижения онтологического подхода к моделям компетенций и позволяет сформулировать некоторые проблемы в онтологическом подходе к компетентностным моделям и возможные пути их решения.

Концептуально описывающие модели компетенций онтологий, как правило, являются оригинальными разработками, что влечет сложность их сопряжения с крупными онтологиями верхнего уровня и базами знаний общего назначения.

Формирование большинства онтологий происходит ручным способом с использованием эвристик, без детальной проработки вопросов автоматического построения.

С содержательной точки зрения онтологии описывают предметную область «Образование», некоторые сегменты предметной области «Информационные технологии» и особенности конкретного стандарта или подхода.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование баз знаний в моделях компетенций в некоторой степени проработано в зарубежных исследованиях и применяется на практике. В отношении отечественных трудовых и образовательных стандартов использование открытых баз знаний описано слабо.

Вследствие внешнего сходства онтологий и баз знаний, но разности их целей, представления и назначения (онтология — абстрактная модель концептуальной структуры области знаний, а база знаний — хранилище конкретных фактов) эффективно не решен вопрос установления границ концептуального описания и перечисления экземпляров (инстанций), что усложняет практическое использование.

Не рассматриваются вопросы обогащения баз знаний предметной области «Информационные технологии» на основе автоматического извлечения информации из структурированных источников информации, таких как репозитории пакетов, зависимостей, сценарии сборки в открытых проектах.

Указанные выше проблемы актуализируют следующие вопросы, связанные с их решением:

1. Может ли для концептуального описания модели компетенций использоваться сегмент или расширение уже существующих онтологий?

2. Что необходимо для сопряжения и одновременного разграничения созданного сегмента или расширения онтологии и одной или нескольких существующих открытых баз знаний?

3. Позволит ли установление эквиваленций понятий и экземпляров между онтологиями и базами знаний

установить эквиваленции между различными моделями компетенций?

4. Что требуется для создания алгоритма автоматического наполнения базы знаний, используемой при онтологическом подходе к компетентностной модели?

#### Выводы

Поскольку поставленные выше проблемы и вопросы в различной степени решены за рубежом, актуальным является их решение применительно к отечественным профессиональным и образовательным стандартам, таким как ФГОС и профессиональные стандарты Минтруда России. Для этого предлагается модель, которая позволяет гармонизировать требования стандартов и соотнести концепты сегментов специализированной онтологии с терминами широко применяемых баз знаний общего назначения.

Специализированная онтология связывается с общими онтологиями через отношение эквиваленции и с открытыми базами знаний (например, DBPedia, Wikidata) отношениями «часть — целое» и «абстрактное — конкретное». Выявление данных отношений позволит определить объем понятий онтологии. Определение объема понятий придает модели практический характер, поскольку абстрактные «знание», «умение» или «навык» реализуются путем применения конкретных инструментов, разнообразие которых неуклонно растет [15].

Установление связей определяет возможность автоматического наполнения нужных сегментов базы знаний модели путем обработки открытых баз знаний, а также извлечения зависимостей на основе открытых репозиториях программного обеспечения.

Таким образом предлагаемая модель имеет следующий вид верхнего уровня:

$$M = \langle S, O, B, A, V \rangle,$$

где  $S$  — модель компетенций, стандарт;

$O$  — онтология, соответствующая  $S$ ,

$$O = \{o^s\} \cup \{o_1, o_2, \dots, o_n\} \cup \{o_1 \rightarrow o^s, o_2 \rightarrow o^s, \dots, o_n \rightarrow o^s\},$$

где  $o^s$  — специализированная онтология на основе стандарта  $S$ ,  $o_i$  — общая онтология,  $o_i \rightarrow o^s$  — отношения эквиваленции понятий онтологии общей онтологии  $o_i$  и специализированной онтологии  $o^s$ ;

$B$  — база знаний в сфере ИТ,

$$B = \{b^s\} \cup \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \cup \{b_1 \rightarrow b^s, b_2 \rightarrow b^s, \dots, b_n \rightarrow b^s\} \cup \{b_1 \rightarrow o_n, b_2 \rightarrow o_n, \dots, b_n \rightarrow o_n\},$$

где  $b^s$  — специализированная база знаний модели на основе стандарта  $S$ ,  $b_i$  — открытая база знаний,  $b_i \rightarrow b^s$  — отношения элементов открытой базы знаний  $b_i$  и специализированной базы знаний  $b^s$ ;

$A$  — алгоритм пополнения базы знаний;

$V$  — алгоритм верификации индивидуальных наборов профессиональных компетенций и построения траектории профессионального развития, такой, что

$$V = \langle K, T, P \rangle,$$

где  $K$  — входные знания субъекта, такие, что

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}, k_i \in o_j \mid k_i \in b_q,$$

$T$  — верифицирующие правила, который находят отображения  $b_q \rightarrow o_j$  для каждого  $k_i$ , иными словами, устанавливают знания по определенным процессам и областям,  $P$  — траектория развития, определяемая, как множество  $b_t$  и  $o_p$ , находящихся в отношениях с соответствующими  $b_q$  и  $o_j$ .

Таким образом, предложенная адаптивная модель компетенций в сфере информационных технологий позволит проводить формальную верификацию индивидуальных наборов профессиональных компетенций, строить траектории профессионального развития с возможностью выбора альтернативных путей. Очевидно, что модель позволяет определять отношения между стандартами путем установления эквиваленций между онтологиями, описывающими данный стандарт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пушкарёв, Ю. В. Непрерывное образование в современных условиях: основные концептуальные подходы / Ю. В. Пушкарёв, Е. А. Пушкарёва // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2015. № 6 (28). С. 161–171. DOI: 10.15293/2226-3365.1506.17.
2. Бочкарева, Е. В. Разработка профессиональных стандартов: зарубежные и российские практики // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2014. № 11 (121). С. 141–144.
3. Завьялова, Н. Б. Автоматизация управления талантами в повышении эффективности компании / Н. Б. Завьялова, А. А. Киреева // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10, № 5. С. 1413–1424. DOI: 10.18334/epp.10.5.110193.
4. Слива, М. В. Содержательный аспект международного стандарта образования в области Computer Science // Прикладная информатика. 2016. Т. 11, № 1 (61). С. 83–92.
5. Genesereth, M. R. Logical Foundations of Artificial Intelligence / M. R. Genesereth, N. J. Nilsson. — Los Altos (CA): Morgan Kaufmann, 2012. — 406 p.
6. OWL-S: Semantic Markup for Web Services // W3C. URL: <http://www.w3.org/Submission/OWL-S> (дата обращения 06.04.2023).
7. Константинова, Н. С. Онтологии как системы хранения знаний / Н. С. Константинова, О. А. Митрофанова // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»: Сборник статей. — Москва: Информика, 2008. — 54 с.
8. Searching for Common Sense: Populating Cyc™ from the Web / C. Matuszek, M. Witbrock, R. C. Kahlert, [et al.] // Proceedings the 20th National Conference on Artificial Intelligence and the 17th Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference (Pittsburgh, PA, USA, 09–13 July 2005) / M. M. Veloso, S. Kabhampati (eds.). — MIT Press, 2005. — Pp. 1430–1435.
9. Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) // Ontology Portal. URL: <http://www.ontologyportal.org> (дата обращения 09.04.2023).
10. YAGO-SUMO: A Large-Scale Formal Ontology. URL: <http://gerard.demelo.org/yagosumo> (дата обращения 09.04.2023).
11. Springer Nature and The Open University Launch a Unique Computer Science Ontology (CSO) // Springer Nature. URL: <http://group.springernature.com/gp/group/media/press-releases/springer-nature-and-the-open-university-launch-a-unique/16386730> (дата обращения 12.04.2023).
12. About DBpedia // DBpedia Association. URL: <http://www.dbpedia.org/about> (дата обращения 12.04.2023).
13. Microsoft Concept Graph: Mining Semantic Concepts for Short Text Understanding / L. Ji, Y. Wang, B. Shi, [et al.] // Data Intelligence. 2019. Vol. 1, Is. 3. Pp. 238–270. DOI: 10.1162/dint\_a\_00013.
14. What is ConceptNet? // ConceptNet. URL: <http://conceptnet.io> (дата обращения 12.04.2023).
15. Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 1) / А. Н. Тимофеев, И. С. Евдокимова, Н. Б. Хаптахаяева, А. А. Сенотрусова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 12. С. 85–91. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.12.31.

# An Ontological Approach to the Development of an Adaptive Model of Competencies and Professional Training in the Field of Information Technology

A. N. Timofeev

East Siberia State University of Technology and Management  
Ulan-Ude, Russia  
89021632777@mail.ru

**Abstract.** The report highlights the issues of using ontological approaches to creating a model of competencies and professional training in the field of information technology, analyzes the possibility of using semantic modeling, suggests a model that will allow formal verification of individual sets of professional competencies and build professional development trajectories.

**Keywords:** competence model, ontology, knowledge base, information technology.

## REFERENCES

1. Pushkarev Yu. V., Pushkareva E. A. The Main Conceptual Approaches to Contemporary Lifelong Learning and Continuing Education [Nepriyemnoe obrazovanie v sovremennykh usloviyakh: osnovnye kontseptualnye podkhody], *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin [Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta]*, 2015, No. 6 (28), Pp. 161–171. DOI: 10.15293/2226-3365.1506.17.
2. Bochkareva E. V. Development of Professional Standards: Russian and Foreign and Practice [Razrabotka professionalnykh standartov: zarubezhnye i rossiyskie praktiki], *Vestnik of Samara State University of Economics [Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]*, 2014, No. 11 (121), Pp. 141–144.
3. Zavyalova N. B., Kireeva A. A. Talent Management Automation in Improving Company Efficiency [Avtomatizatsiya upravleniya talantami v povyshenii effektivnosti kompanii], *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law [Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo]*, 2020, Vol. 10, No. 5, Pp. 1413–1424. DOI: 10.18334/epp.10.5.110193.
4. Sliva M. V. Substantial aspect of the international standard of education in the field of Computer Science [Soderzhatelnyy aspekt mezhdunarodnogo standarta obrazovaniya v oblasti Computer Science], *Journal of Applied Informatics [Prikladnaya informatika]*, 2016, Vol. 11, No. 1 (61), Pp. 83–92.
5. Genesereth M. R., Nilsson, N. J. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Los Altos (CA): Morgan Kaufmann, 2012. — 406 p.
6. OWL-S: Semantic Markup for Web Services, *W3C*. Available at: <http://www.w3.org/Submission/OWL-S> (accessed 06 Apr 2023).
7. Konstantinova N. S., Mitrofanova O. A. Ontologies as Knowledge Storage Systems [Ontologii kak sistemy

khraneniya znaniy], *Collected Paper of the All-Russian Competitive Selection of Review and Analytical Articles in the Priority Direction «Information and telecommunication systems» [Vserossiyskiy konkursnyy otkor obzorno-analiticheskikh statey po prioritetnomu napravleniyu «Informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy»]: Sbornik statey*. Moscow, Informika, 2008, 54 p.

8. Matuszek C., Witbrock M., Kahlert R. C., et al. Searching for Common Sense: Populating Cyc™ from the Web. In: *Velooso M. M., Kabhampati S. (eds.) Proceedings the 20th National Conference on Artificial Intelligence and the 17th Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, Pittsburgh, PA, USA, July 09–13, 2005*. MIT Press, 2005, Pp. 1430–1435.

9. Suggested Upper Merged Ontology (SUMO), *Ontology Portal*. Available at: <http://www.ontologyportal.org> (accessed 09 Apr 2023).

10. YAGO-SUMO: A Large-Scale Formal Ontology. Available at: <http://gerard.demelo.org/yagosumo.org> (accessed 09 Apr 2023).

11. Springer Nature and The Open University Launch a Unique Computer Science Ontology (CSO), *Springer Nature*. Available at: <http://group.springernature.com/gp/group/media/press-releases/springer-nature-and-the-open-university-launch-a-unique/16386730> (accessed 12 Apr 2023).

12. About DBpedia, *DBpedia Association*. Available at: <http://www.dbpedia.org/about> (accessed 12 Apr 2023).

13. Ji L., Wang Y., Shi B., et al. Microsoft Concept Graph: Mining Semantic Concepts for Short Text Understanding, *Data Intelligence*, 2019, Vol. 1, Is. 3, Pp. 238–270. DOI: 10.1162/dint\_a\_00013.

14. What is ConceptNet? *ConceptNet*. Available at: <http://conceptnet.io> (accessed 12 Apr 2023).

15. Timofeev A. N., Evdokimova I. S., Khaptakhaeva N. B., SEnotrusova A. A. Semantic Modeling of the Software Development Domain: Tools, Methods, Knowledge (Part 1) [Semanticheskoe modelirovanie: obzor protsessov, instrumentov, metodov i znaniy predmetnoy oblasti razrabotki programmnogo obespecheniya (Chast 1)], *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences [Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskije nauki]*, 2022, No. 12, Pp. 85–91. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.12.31.



# Применение технологии CUDA для распараллеливания процессов вычислений при расчете устойчивости оболочечных конструкций

Н. А. Мишуренко, А. А. Семенов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
Санкт-Петербург, Россия  
nikolai8421@mail.ru, sw.semenov@gmail.com

**Аннотация.** Проведен анализ эффективности применения технологии CUDA при расчете устойчивости оболочечных конструкций методом Рунге и методом Ньютона в математическом пакете Maple с точки зрения сокращения временных затрат на осуществление решения одной задачи. При этом в ходе решения задачи определялось время, затраченное для выполнения отдельных участков алгоритма. В результате получена количественная оценка влияния применения технологии CUDA на производительность решения подобных задач в ПО Maple.

**Ключевые слова:** оболочечные конструкции, устойчивость, распараллеливание вычислений, CUDA, метод Рунге, метод Ньютона.

Оболочечные конструкции получили широкое распространение в различных областях промышленности: космостроении, авиастроении, судостроении, строительстве, гидротехнике, атомной энергетике, в результате чего продолжается развитие основанной в XX веке нелинейной теории расчета оболочечных конструкций [1–4].

Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочечных конструкций применяются различные методы, среди которых можно выделить метод конечного элемента (МКЭ) [5–8]. В работах [8, 9] отмечается, что МКЭ имеет ряд недостатков, которые усложняют процесс исследования НДС оболочечных конструкций. Следует отметить, что отдельные недостатки возможно устранить путем модернизации МКЭ [8]. Однако данные модернизации зачастую не подходят для решения широкого спектра задач, в связи с чем возникает необходимость в применении других методов. Одним из наиболее распространенных является метод Рунге (включая различные его модификации) [10–13].

При этом для исследований оболочечных конструкций, проявляющих в процессе деформирования нелинейные эффекты (геометрическая и физическая нелинейности, ползучесть), а также имеющих подкрепление ребрами жесткости [14–16]. или ослабление отверстиями [16, 17], для использования метода Рунге требуется разработка специализированного высокопроизводительного программного обеспечения.

Основой подобного рода программного обеспечения является математическая модель, описывающая поведение объекта. В данной работе рассматривается математическая

модель Тимошенко — Рейснера, учитывающая геометрическую нелинейность, поперечные сдвиги, ортотропию материала, подкрепление ребрами жесткости, ослабления отверстиями. Данная модель представлена в виде функционала полной потенциальной энергии деформации:

$$E_s = E_s^0 + E_s^R + E_s^V, \quad (1)$$

где  $E_s^0$ ,  $E_s^R$ ,  $E_s^V$  — функционалы полной потенциальной энергии деформации обшивки, ребер жесткости и зон ослаблений соответственно. Подробно составляющие функционала полной потенциальной энергии представлены в [14–16].

В модели Тимошенко — Рейснера неизвестными являются три функции перемещений  $U = U(x, y)$ ,  $V = V(x, y)$ ,  $W = W(x, y)$  и две функции углов поворота нормали в плоскостях  $xOz$ ,  $yOz$ :  $\Psi_x(x, y)$ ,  $\Psi_y(x, y)$ .

Рассматриваются пологие оболочки двоякой кривизны под действием статического нагружения. Геометрический вид данных конструкций характеризуется параметрами Ляме  $A = B = 1$  радиусами главных кривизн вдоль координат  $x$  и  $y$ :  $R_1 = \text{const}$ ,  $R_2 = \text{const}$ .

Анализ устойчивости оболочечных конструкций сводится к нахождению минимума функционала. Численное решение вариационной задачи по нахождению минимума функционала при использовании метода Рунге сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ). Для ее получения неизвестные функции представляются в виде

$$U = U(x, y) = \sum_{k=1}^{\sqrt{N}} \sum_{l=1}^{\sqrt{N}} U_{kl} X_1^k Y_1^l,$$

$$V = V(x, y) = \sum_{k=1}^{\sqrt{N}} \sum_{l=1}^{\sqrt{N}} V_{kl} X_2^k Y_2^l,$$

$$W = W(x, y) = \sum_{k=1}^{\sqrt{N}} \sum_{l=1}^{\sqrt{N}} W_{kl} X_3^k Y_3^l,$$

$$\Psi_x = \Psi_x(x, y) = \sum_{k=1}^{\sqrt{N}} \sum_{l=1}^{\sqrt{N}} \Psi_{xkl} X_4^k Y_4^l,$$

$$\Psi_y = \Psi_y(x, y) = \sum_{k=1}^{\sqrt{N}} \sum_{l=1}^{\sqrt{N}} \Psi_{y_{kl}} X_5^k Y_5^l.$$

В данной работе рассматриваются пологие оболочки двоякой кривизны, шарнирно-неподвижно закрепленные по контуру, тогда аппроксимирующие функции имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} X_1^k &= \sin\left(2k\pi \frac{x-a_1}{a-a_1}\right), Y_1^l = \sin\left((2l-1)\pi \frac{y}{b}\right), \\ X_2^k &= \sin\left((2k-1)\pi \frac{x-a_1}{a-a_1}\right), Y_2^l = \sin\left(2l\pi \frac{y}{b}\right), \\ X_3^k &= \sin\left((2k-1)\pi \frac{x-a_1}{a-a_1}\right), Y_3^l = \sin\left((2l-1)\pi \frac{y}{b}\right), \\ X_4^k &= \cos\left((2k-1)\pi \frac{x-a_1}{a-a_1}\right), Y_4^l = \sin\left((2l-1)\pi \frac{y}{b}\right), \\ X_5^k &= \sin\left((2k-1)\pi \frac{x-a_1}{a-a_1}\right), Y_5^l = \cos\left((2l-1)\pi \frac{y}{b}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

После подстановки (2) в функционал (1), нахождения производных и приравнивания к нулю получена система нелинейных алгебраических уравнений, которая подробно представлена в работах [18, 19].

Решение СНАУ осуществляется методом Ньютона. Система решалась последовательно при разном значении нагрузки (при этом в начале каждой итерации значение функций перемещений и углов поворота принималось равным значениям, полученным в ходе предыдущей итерации). Шаг по нагрузке принят постоянным. Условие останова итерации:

$$X_n - X_{n-1} \leq 0,00005.$$

Исполнение представленного алгоритма осуществлено в математическом пакете Maple. Для исследования оболочечных конструкций требуется большая вычислительная мощность [15], что занимает много времени при решении одной задачи [9], однако Maple позволяет осуществлять распараллеливание процессов вычислений посредством интегрированной технологии CUDA, разработанной NVIDIA Corporation.

Для осуществления вычислительного эксперимента использован компьютер на базе процессора AMD Ryzen 7 3750H с 64 Гб ОЗУ, с дискретной видеокартой NVIDIA GeForce GTX1650, операционная система Windows 10.

Проведены расчеты пологой оболочки двоякой кривизны со следующими геометрическими параметрами:  $a = b = 10,8$  м;  $R_1 = R_2 = 40,05$  м;  $h = 0,09$  м. Материал — сталь ( $\mu_{12} = \mu_{21} = \mu = 0,3$ ;  $E_1 = E_2 = E = 2,1 \times 10^5$  МПа). Параметры ребер жесткости: ширина  $r_i = r_j = 2h = 0,18$  м; высота  $h_i = h_j = 3h = 0,27$  м. Параметры ослаблений: ширина  $v_\alpha = 0,1a = 1,08$  м;  $v_\beta = 0,1b = 1,08$  м; высота  $h^{\alpha\beta} = h = 0,09$  м.

Количество ребер жесткости и ослаблений принято одинаковым в обоих направлениях и для каждого нового варианта расчета увеличивается на 2.

Нагрузка статическая, равномерно распределенная в интервале от 0 до 3 МПа с шагом 0,01 МПа.

Расчеты выполнены с использованием и без использования технологии CUDA. Длительность вычислений представлена в таблице 1. Продолжительность расчетов отслеживалась в Maple с помощью встроенной функции *time*.

Таблица 1

Длительность решения системы уравнений методом Ньютона, с

Количество ребер и ослаблений	0×0	2×2	4×4	6×6	8×8
$N = 9$					
Без технологии CUDA	682,937	1 078,400	1 479,344	1 606,969	1 709,110
С технологией CUDA	610,594	991,700	1 381,438	1 525,703	1 683,297
$N = 16$					
Без технологии CUDA	9 147,360	15 189,610	15 995,110	18 736,780	26 359,380
С технологией CUDA	9 118,156	14 108,810	15 526,890	18 614,890	26 147,440

Сравнительно небольшая разница в получаемых значениях здесь может быть объяснена малым количеством функций, распараллеливание которых на видеокартах предусмотрено в Maple. В частности, предусмотрено автоматическое распараллеливание функций библиотеки линейной алгебры, которые используются при реализации метода Ньютона.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности сокращения времени выполнения расчетов оболочечных конструкций в Maple за счет применения технологии CUDA в части решения СНАУ методом Ньютона на 8 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Discontinuous Galerkin Isogeometric Analysis with Peridynamic Model for Crack Simulation of Shell Structure / Y. Xia, H. Wang, G. Zheng, [et al.] // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2022. Vol. 398. Art. No. 115193. DOI: 10.1016/j.cma.2022.115193.
2. Phase-Field Modelling of Brittle Fracture along the Thickness Direction of Plates and Shells / M. Ambati, J. Heinzmann, M. Seiler, M. Kästner // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2022. Vol. 123, Is. 17. Pp. 4094–4118. DOI: 10.1002/nme.7001.

3. Gokyer, Y. Topology Optimization of Cylindrical Shells with Cutouts for Maximum Buckling Strength / Y. Gokyer, F. O. Sonmez // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2023. Vol. 45, Is. 1. Art. No. 13. DOI: 10.1007/s40430-022-03941-w.
4. Li, Z. Influence of Geometric Imperfections on the Axially Loaded Composite Conical Shells with and Without Cutout / Z. Li, Y. Cao, G. Pan // *AIP Advances*. 2020. Vol. 10, Is. 9. Art. No. 095106. 10 p. DOI: 10.1063/5.0021103.
5. Investigation of Buckling Behavior of Composite Shell Structures with Cutouts / M. A. Arbelo, A. Herrmann, S. G. P. Castro, [et al.] // *Applied Composite Materials*. 2015. Vol. 22, Is. 6. Pp. 623–636. DOI: 10.1007/s10443-014-9428-x.
6. Shahani, A. R. Numerical and Experimental Investigation on Post-Buckling Behavior of Stiffened Cylindrical Shells with Cutout subject to Uniform Axial Compression / A. R. Shahani, F. Kiarasi // *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2022. 20 p. DOI: 10.22055/jacm.2021.33649.2261.
7. Groh, R. M. J. Nonlinear Buckling and Postbuckling Analysis of Tow-Steered Composite Cylinders with Cutouts / R. M. J. Groh, K. C. Wu // *AIAA Journal*. 2022. Vol. 60, No. 9. Pp. 5533–5546. DOI: 10.2514/1.J061755.
8. Хайруллин, Ф. С. Расчет ортотропных конструкций вариационным методом на основе трехмерных функций с конечными носителями / Ф. С. Хайруллин, О. М. Сахбиев // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2017. № 2. С. 195–207. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.2.11.
9. Згода, Ю. Н. Высокопроизводительный расчет тонкостенных оболочечных конструкций с использованием параллельных вычислений и графических ускорителей / Ю. Н. Згода, А. А. Семенов // *Вычислительные технологии*. 2022. Т. 27, № 6. С. 45–57. DOI: 10.25743/ICT.2022.27.6.005.
10. Jacobi–Ritz Method for Free Vibration Analysis of Uniform and Stepped Circular Cylindrical Shells with Arbitrary Boundary Conditions: A Unified Formulation / H. Li, F. Pang, X. Miao, Y. Li // *Computers and Mathematics with Applications*. 2019. Vol. 77, Is. 2. Pp. 427–440. DOI: 10.1016/j.camwa.2018.09.046.
11. A Semi Analytical Method for the Free Vibration of Doubly-Curved Shells of Revolution / F. Pang, H. Li, X. Wang, [et al.] // *Computers and Mathematics with Applications*. 2018. Vol. 75, Is. 9. Pp. 3249–3268. DOI: 10.1016/j.camwa.2018.01.045.
12. Free Vibrations of Composite Laminated Doubly-Curved Shells and Panels of Revolution with General Elastic Restraints / Q. Wang, D. Shi, Q. Liang, F. Pang // *Applied Mathematical Modelling*. 2017. Vol. 46. Pp. 227–262. DOI: 10.1016/j.apm.2017.01.070.
13. Vibration of Cylindrical Shells with Embedded Annular Acoustic Black Holes Using the Rayleigh-Ritz Method with Gaussian Basis Functions / J. Deng, O. Guasch, L. Maxit, L. Zheng // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. Vol. 150. Art. No. 107225. DOI: 10.1016/j.ymssp.2020.107225.
14. Karpov, V. V. Refined Model of Stiffened Shells / V. V. Karpov, A. A. Semenov // *International Journal of Solids and Structures*. 2020. Vol. 199. Pp. 43–56. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2020.03.019.
15. Устойчивость цилиндрических панелей, подкреплённых ортогональной сеткой ребер / А. А. Семенов, Л. П. Москаленко, В. В. Карпов, М. В. Сухотерин // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 6 (83). С. 117–125. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-6-117-125.
16. Karpov, V. V. Models of the Shells Having Ribs, Reinforcement Plates and Cutouts // *International Journal of Solids and Structures*. 2018. Vol. 146. Pp. 117–135. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2018.03.024.
17. Каменев, И. В. Обоснование использования метода конструктивной анизотропии при расчете пологих оболочек двоякой кривизны, ослабленных вырезами / И. В. Каменев, А. А. Семенов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2016. № 2. С. 54–68. DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.05.
18. Карпов, В. В. Прочность и устойчивость подкреплённых оболочек вращения: в 2 ч. Ч. 1. Модели и алгоритмы исследования прочности и устойчивости подкреплённых оболочек вращения. — Москва: Физматлит, 2010. — 286 с.
19. Карпов, В. В. Математические модели и алгоритмы исследования прочности и устойчивости оболочечных конструкций / В. В. Карпов, А. А. Семенов // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2017. Т. 20, № 1 (69). С. 53–65. DOI: 10.17377/SIBJIM.2017.20.106.

# Application of CUDA Technology for Parallelization of Computational Processes in the Calculation of the Buckling of Shell Structures

N. A. Mishurenko, A. A. Semenov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Saint Petersburg, Russia  
nikolai8421@mail.ru, sw.semenov@gmail.com

**Abstract.** The analyses of the effectiveness of using CUDA technology in calculating the buckling of shell structures by the Ritz method and the Newton method in the Maple mathematical package in terms of reducing the time spent on solving one problem is carried out. At the same time, in the course of solving the problem, the time spent to execute individual sections of the algorithm was determined. As a result, a quantitative assessment of the impact of using CUDA technology on the performance of solving such problems in Maple software was obtained.

**Keywords:** shell structures, buckling, parallelization of computations, CUDA, Ritz method, Newton method.

## REFERENCES

1. Xia Y., Wang H., Zheng G., et al. Discontinuous Galerkin Isogeometric Analysis with Peridynamic Model for Crack Simulation of Shell Structure, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2022, Vol. 398, Art. No. 115193. DOI: 10.1016/j.cma.2022.115193.
2. Ambati M., Heinzmann J., Seiler M., Kästner M. Phase-Field Modelling of Brittle Fracture along the Thickness Direction of Plates and Shells, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2022, Vol. 123, Is. 17, Pp. 4094–4118. DOI: 10.1002/nme.7001.
3. Gokyer Y., Sonmez F. O. Topology Optimization of Cylindrical Shells with Cutouts for Maximum Buckling Strength, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2023, Vol. 45, Is. 1, Art. No. 13. DOI: 10.1007/s40430-022-03941-w.
4. Li Z., Cao Y., Pan G. Influence of Geometric Imperfections on the Axially Loaded Composite Conical Shells with and Without Cutout, *AIP Advances*, 2020, Vol. 10, Is. 9, Art. No. 095106, 10 p. DOI: 10.1063/5.0021103.
5. Arbelo M. A., Herrmann A., Castro S. G. P., et al. Investigation of Buckling Behavior of Composite Shell Structures with Cutouts, *Applied Composite Materials*, 2015, Vol. 22, Is. 6, Pp. 623–636. DOI: 10.1007/s10443-014-9428-x.
6. Shahani A. R., Kiarasi F. Numerical and Experimental Investigation on Post-Buckling Behavior of Stiffened Cylindrical Shells with Cutout subject to Uniform Axial Compression, *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 2022, 20 p. DOI: 10.22055/jacm.2021.33649.2261.
7. Groh R. M. J., Wu K. C. Nonlinear Buckling and Post-buckling Analysis of Tow-Steered Composite Cylinders with Cutouts, *AIAA Journal*, 2022, Vol. 60, No. 9, Pp. 5533–5546. DOI: 10.2514/1.J061755.
8. Khayrullin F. S., Sakhbiev O. M. Computing Orthotropic Constructions Using the Variation Method Based on Three-Dimensional Functions with Final Carriers [Raschet ortotropnykh konstruktсий variatsionnym metodom na osnove trekhmernykh funktsiy s konechnymi nositelyami], *PNRPU Mechanics Bulletin [Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika]*, 2017, No 2, Pp. 195–207. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.2.11.
9. Zgoda I. N., Semenov A. A. High Performance Computation of Thin Shell Constructions with the Use of Parallel Computations and GPUs [Vysokoproizvoditelnyy raschet tonkostennykh obolocheknykh konstruktсий s ispolzovaniem parallelnykh vychisleniy i graficheskikh uskoriteley], *Computational Technologies [Vychislitelnye tekhnologii]*, 2022, Vol. 27, No 6, Pp. 45–57. DOI: 10.25743/ICT.2022.27.6.005.
10. Li H., Pang F., Miao X., Li Y. Jacobi–Ritz Method for Free Vibration Analysis of Uniform and Stepped Circular Cylindrical Shells with Arbitrary Boundary Conditions: A Unified Formulation, *Computers and Mathematics with Applications*, 2019, Vol. 77, Is. 2, Pp. 427–440. DOI: 10.1016/j.camwa.2018.09.046.
11. Pang F., Li H., Wang X., et al. A Semi Analytical Method for the Free Vibration of Doubly-Curved Shells of Revolution, *Computers and Mathematics with Applications*, 2018, Vol. 75, Is. 9, Pp. 3249–3268. DOI: 10.1016/j.camwa.2018.01.045.
12. Wang Q., Shi D., Liang Q., Pang F. Free Vibrations of Composite Laminated Doubly-Curved Shells and Panels of Revolution with General Elastic Restraints, *Applied Mathematical Modelling*, 2017, Vol. 46, Pp. 227–262. DOI: 10.1016/j.apm.2017.01.070.
13. Deng J., Guasch O., Maxit L., Zheng L. Vibration of Cylindrical Shells with Embedded Annular Acoustic Black Holes Using the Rayleigh-Ritz Method with Gaussian Basis Functions, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2021, Vol. 150, Art. No. 107225. DOI: 10.1016/j.ymsp.2020.107225.
14. Karpov V. V., Semenov A. A. Refined Model of Stiffened Shells, *International Journal of Solids and Structures*, 2020, Vol. 199, Pp. 43–56. DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2020.03.019.
15. Semenov A. A., Moskalenko L. P., Karpov V. V., Sukhoterina M. V. Buckling of Cylindrical Panels Strengthened with an Orthogonal Grid of Stiffeners [Ustoychivost

tsilindricheskikh paneley, podkreplennykh ortogonalnoy setkoy reber], *Bulletin of Civil Engineers [Vestnik grazhdanskikh inzhenerov]*, 2020, No. 6 (83), Pp. 117–125.

DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-6-117-125.

16. Karpov V. V. Models of the Shells Having Ribs, Reinforcement Plates and Cutouts, *International Journal of Solids and Structures*, 2018, Vol. 146, Pp. 117–135.

DOI: 10.1016/j.ijsolstr.2018.03.024.

17. Kamenev I. V., Semenov A. A. Rationale of the Use of the Constructive Anisotropy Method in the Calculation of Shallow Shells of Double Curvature, Weakened Holes [Obosnovanie ispolzovaniya metoda konstruktivnoy anizotropii pri raschete pologikh obolochek dvoyakoy krivizny, oslablennykh vrezami], *PNRPU Mechanics Bulletin [Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika]*, 2016, No. 2, Pp. 54–68.

DOI: 10.15593/perm.mech/2016.2.05.

18. Karpov V. V. The strength and stability of reinforced shells of revolution: In 2 parts. Part 1. Models and algorithms of research of the strength and stability of supported shells of revolution [Prochnost i ustoychivost podkreplennykh obolochek vrashcheniya: v 2 chastyakh. Chast 1. Modeli i algoritmy issledovaniya prochnosti i ustoychivosti podkreplennykh obolochek vrashcheniya]. Moscow, Fizmatlit Publishing House, 2010, 286 p.

19. Karpov V. V., Semenov A. A. Mathematical Models and Algorithms for Studying Strength and Stability of Shell Structures [Matematicheskie modeli i algoritmy issledovaniya prochnosti i ustoychivosti obolocheknykh konstruktsiy], *Sibirskiy zhurnal industrial'noy matematiki [Sibirskiy zhurnal industrial'noy matematiki]*, 2017, Vol. 20, No. 1 (69), Pp. 53–65.

DOI: 10.17377/SIBJIM.2017.20.106.

# Актуальные вопросы использования цифровых технологий в грузовом хозяйстве

С. А. Белокурова

Уральский государственный университет  
путей сообщения  
Екатеринбург, Россия  
belok.sn86@gmail.com

А. А. Картавый

Свердловский учебный центр профессиональных квалификаций  
Свердловской железной дороги  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Рассматривается вопрос организации коммерческого осмотра вагонов и оформления первичных документов, связанных с перевозкой грузов и собственных порожних вагонов. Дано предложение по разработке технологии, позволяющей эффективно использовать трудовые ресурсы путем распределения функций приемосдатчика груза и багажа между участниками перевозочного процесса и создания call-центра обработки документов с целью повышения производительности труда, снижения эксплуатационных расходов в сегменте затрат на оплату труда и отчислений на социальные нужды, а также кадровых рисков, обусловленных нехваткой квалифицированных специалистов.

**Ключевые слова:** приемосдатчик груза и багажа, грузовая работа, call-центр.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный мир диктует необходимость цифровой трансформации процессов и используемых сервисов, оптимизации проводимых операций, снижения эксплуатационных расходов и экономии трудовых ресурсов.

В целях обеспечения сохранности и безопасности грузовых перевозок работниками железнодорожных станций проводится коммерческий осмотр вагонов и грузовых поездов согласно требованиям, установленным единым типовым технологическим процессом коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях [1].

Коммерческий осмотр представляет собой совокупность мероприятий, направленных на выявление соответствия условий размещения и крепления грузов требованиям действующих технических условий, правил перевозки и сохранности груза, в том числе с применением программно-технических средств проведения коммерческого осмотра, проводимых на станциях погрузки, в пути следования: на пунктах коммерческого осмотра вагонов в поездах, постах коммерческой безопасности или постах коммерческой диагностики, на станциях формирования и расформирования поездов, на станциях временного отставления поезда от движения и по прибытии на станциях выгрузки.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

В настоящее время коммерческий осмотр осуществляется как натурным способом непосредственно у вагона представителем перевозчика, так и автоматизированными системами и средствами:

- автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ);
- автоматизированная система коммерческого осмотра (АСКО СВ, или «Смотровая вышка»);

- тепловизионный комплекс дистанционного контроля загрузки вагонов («Тепловизионный комплекс»);
- интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС)
- электронные вагонные весы;
- иные программно-технические средства, используемые при проведении коммерческого осмотра.

В последнее время на сети железных дорог все активнее внедряется зарекомендовавшая себя современная технология приема порожних и груженых вагонов к перевозке в цифровом формате, направленная на решение задач современного мира и ориентированная на повышение удовлетворенности клиентов качеством предоставляемых услуг ОАО «РЖД» и лояльности к перевозкам железнодорожным транспортом, позволяющая принимать к перевозке как груженые, так и порожние вагоны в условиях отсутствия на станции приемосдатчика груза и багажа в фото- и видеоформате посредством дистанционного электронного обмена данными между клиентом и представителем перевозчика — «Цифровой приемосдатчик» [2].

## ЦИФРОВОЙ ПРИЕМОДАТЧИК

Данная технология приема вагонов к перевозке имеет существенные плюсы, такие как: сокращение времени на ожидание приемосдаточных операций (прибытия приемосдатчика груза и багажа к месту приема вагона к перевозке), сокращение простоя подвижного состава на грузовых станциях, повышение эффективности управления парка вагонов, сокращение оборота вагонов, увеличение производительности подвижного состава, минимизация контактов при работе, исключение посещения клиентом железнодорожной станции.

Функциональная схема технологии цифрового приемосдатчика (рис. 1) следующая:

1. Грузоотправитель производит фото- и видеосъемку вагона в целом, элементов вагона и запорно-пломбировочных устройств с фиксацией деталей и элементов вагона, правильности наложения, исправности и оттисков запорно-пломбировочных устройств, знаков, трафаретов, отсутствия просыпания и течи груза, уплотнения щелей, качества заделки конструктивных зазоров и очистки от остатков груза с наружной поверхности вагона и колесных пар. После этой процедуры грузоотправитель оформляет уведомление о завершении грузовой операции в личном кабинете мобильного приложения и направляет отснятый материал цифровому приемосдатчику посредством разрешенных каналов связи.

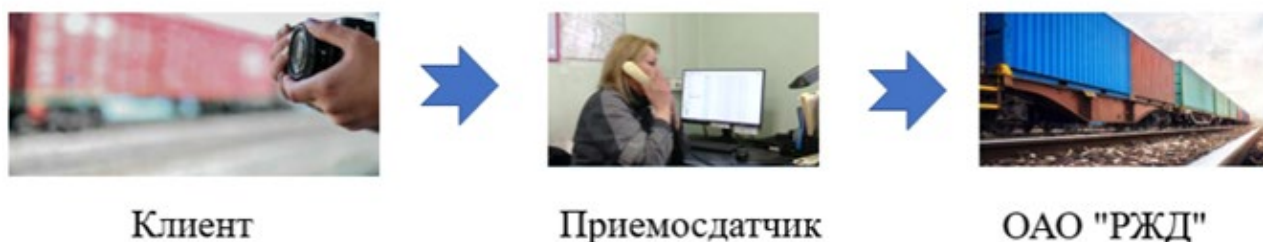


Рис. 1. Функциональная схема технологии цифрового приемосдатчика

2. Грузоотправитель производит фото- и видеосъемку вагона в целом, элементов вагона и запорно-пломбировочных устройств с фиксацией деталей и элементов вагона, правильности наложения, исправности и оттисков запорно-пломбировочных устройств, знаков, трафаретов, отсутствия просыпания и течи груза, уплотнения щелей, качества заделки конструктивных зазоров и очистки от остатков груза с наружной поверхности вагона и колесных пар. После этой процедуры грузоотправитель оформляет уведомление о завершении грузовой операции в личном кабинете мобильного приложения и направляет отснятый материал цифровому приемосдатчику посредством разрешенных каналов связи.

3. Уполномоченный представитель перевозчика производит коммерческий осмотр предъявляемого к перевозке вагона по предоставленным фото- и видеофайлам с сохранением этих файлов в системе хранения данных и при отсутствии замечаний принимает груз к перевозке с оформлением в автоматизированной системе ОАО «РЖД».

4. По сведениям из информационных систем работники центра управления перевозками дирекции управления движением планируют уборку, формирование состава и отправление данного вагона до станции назначения.

Рассматриваемая технология доступна при условии заключенного с клиентом соглашения об оказании информационных услуг и предоставлении электронных сервисов в сфере грузовых перевозок и применима только в определенных условиях:

- на первоначальном этапе на станции приема груза к перевозке;
- при приеме к перевозке порожних или груженых вагонов крытого типа, опломбированных запорно-пломбировочными устройствами или с наложением закруток установленного типа (крытые вагоны, зерновозы, цементовозы, минераловозы);
- при приеме к перевозке порожнего или груженого железнодорожного подвижного состава открытого типа при перевозках грузов насыпью и навалом [2].

С момента опытной эксплуатации на Куйбышевской железной дороге по сегодняшний день цифровой приемосдатчик доказал свою эффективность, и это наглядно видно по географии использования технологии. Ее применяют Дальневосточная, Южно-Уральская, Северная и Московская магистрали [3, 4].

Для дальнейшего внедрения и развития реализованной технологии дистанционного приема вагонов к перевозке требуется доработать нормативную базу (в целях оказания полного перечня цифровых приемо-сдаточных операций) и пересмотреть ряд документов, регламентирующих должностные обязанности приемосдатчика груза и багажа и многоступенчатый контроль по обеспечению безопасности движения поездов при приеме груза и порожних вагонов к перевозке, в пути следования и при выдаче груза [5].

SWOT-анализ, демонстрирующий многокритериальную оценку технологии «Цифровой приемосдатчик», отражен в таблице 1 [6].

Таблица 1

SWOT-анализ технологии «Цифровой приемосдатчик»

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> <li>• обеспечение безопасных условий труда, выведение работников ОАО «РЖД» из зоны риска при нахождении на железнодорожных путях;</li> <li>• снижение трудоемкости работников и экономия фонда заработной платы;</li> <li>• исключение времени на ожидание клиентом прибытия приемосдатчика к месту приема вагона к перевозке;</li> <li>• исключение необходимости посещения клиентом железнодорожной станции, реализация бесконтактного метода работы;</li> <li>• наличие доказательной базы при предъявлении претензий по несохранности перевозимых грузов (материалы видеофиксации принятых к перевозке вагонов);</li> <li>• сокращение времени от момента предъявления груза к перевозке до оформления перевозочных документов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• оказание полного спектра приемо-сдаточных операций невозможно до пересмотра действующих нормативных документов;</li> <li>• удаленный прием к перевозке в настоящее время применим не для всех категорий перевозимых железнодорожным транспортом грузов;</li> <li>• затраты на приобретение клиентом необходимого оборудования видеofиксации</li> </ul>
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> <li>• повышение лояльности к перевозкам;</li> <li>• привлечение новых клиентов на железнодорожный транспорт</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• возникновение нештатных ситуаций</li> </ul>

**СТАТИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «РЖД»**

По итогам 2021 года погрузка грузов по сети ОАО «РЖД» составила 1 282,8 млн т, что на 3,2 % выше уровня аналогичного периода прошлого года (рис. 2). Наибольшее увеличение отмечено в сегментах грузов в контейнерах (10,5 %), перевозок каменного угля (5,2 %), черных металлов (4,3 %) и нефтеналивных грузов (4,2 %) [7].

Грузооборот всего на инфраструктуре ОАО «РЖД» в 2021 году увеличился на 3,1 % и составил 3 320,3 млрд ткм.

При этом грузовой грузооборот железнодорожных перевозок в 2021 году увеличился на 3,7 % к уровню 2020 года, а порожний – на 0,8 % (рис. 3) [7].

Увеличение грузооборота в основном было обусловлено увеличением объемов перевозок каменного угля, нефти и нефтепродуктов, удобрений, минерально-строительных грузов, а также грузов в контейнерах.



Рис. 2. Статистика погрузки за период 2017–2021 гг.



Рис. 3. Динамика грузооборота за период 2017–2021 гг.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

При устойчивом развитии ОАО «РЖД» и увеличении таких значимых показателей грузовой работы, как объемы погрузки и грузооборот особенно актуально совершенствование действующих и внедрение новых технологий.

Несомненно, доработка существующей технологии приведет ОАО «РЖД» к более эффективной работе.

Однако разработка альтернативной технологии работы сетевого цифрового приемосдатчика (рис. 4), предусматривающей реализацию дистанционного приема груза (вагонов) к перевозке в рамках сети дорог, а не границ одной магистрали, с учетом географических особенностей РФ (11 часовых зон) позволит наиболее эффективно использовать трудовые ресурсы.

Создание call-центров дистанционного коммерческого осмотра и обработки документов на опорных станциях сети



Рис. 4. Технология «Сетевой цифровой приемосдатчик»



дорог позволит оптимизировать численность приемосдатчиков груза и багажа, повысить производительность труда, снизить эксплуатационные расходы в сегменте затрат на оплату труда и отчислений на социальные нужды, а также кадровые риски, обусловленные нехваткой квалифицированных кадров, в том числе в малонаселенных местностях.

Оптимизация численности и снижение эксплуатационных расходов предусматривается, в том числе из-за изменения режима труда и отдыха, исключающего работу приемосдатчиков груза и багажа в ночное время суток, за счет распределения заявок о коммерческом осмотре на железнодорожные станции с учетом часовых поясов.

Актуальность вопроса заключается в масштабности проекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Единого типового технологического процесса коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях: Распоряжение ОАО «РЖД» от 31 декабря 2019 г. № 3116/р (с изм. от 09.03.2023 № 521/р).

2. Об утверждении технологии приема порожних и груженых вагонов к перевозке в цифровом формате «Цифровой приемосдатчик» на Куйбышевской железной дороге: Распоряжение начальника Куйбышевской железной дороги от 13 декабря 2021 г. № 359/р.

3. На Куйбышевской железной дороге по технологии «Цифровой приемосдатчик» было оформлено 10 тысяч вагонов // ComNews.ru. — 2022. — 30 сентября.

URL: <http://www.comnews.ru/digital-economy/content/222406/2022-09-30/2022-w39/kuybyshevskoy-zheleznoy-doroge-tekhnologii-cifrovoy-priemosdatчик-bylo-oformleno-10-tysyach-vagonov> (дата обращения 07.04.2023).

4. На Куйбышевской ЖД запущен проект «Цифровой приемосдатчик» // Независимое Информационное Агентство Самара. — 2021. — 16 ноября.

URL: <http://www.niasam.ru/transport/na-kujbyshevskoj-zhd-zapuschen-proekt-tsifrovoy-priemosdatчик-183636.html> (дата обращения 07.04.2023).

5. Москвичева, Е. Е. Цифровая трансформация станционных технологических процессов // Наука и образование транспорту: Материалы XIII Международной научно-технической конференции (Самара, Россия, 10–11 ноября 2020 г.). — Самара: СамГУПС, 2020. — Т. 1. — С. 133–135.

6. Шашкова, А. С. Цифровые принципы работы приемосдатчика груза и багажа / А. С. Шашкова, Е. Е. Москвичева // Дни студенческой науки: Сборник материалов 49-й научной конференции обучающихся СамГУПС (Самара, Россия, 05–16 апреля 2022 г.): в 2 т. Том 1. Технические науки. — Самара: СамГУПС, 2022. — Ч. 1. — С. 50–52.

7. Грузовые перевозки по инфраструктуре ОАО «РЖД» // Российские железные дороги. Годовой отчет–2021. Редакция годового отчета ОАО «РЖД» за 2021 год по итогам утверждения Правительством Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 июня 2022 г. № 1786-р). — С. 45–48.

URL: [http://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar\\_ru\\_annual-report\\_pages\\_rzd\\_2021.pdf](http://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages_rzd_2021.pdf) (дата обращения 07.04.2023).

# Topical Issues of Use Digital Technologies in Cargo Sector

S. A. Belokurova

Ural State University of Railway Transport  
Yekaterinburg, Russia  
belok.sn86@gmail.com

A. A. Kartavyy

Sverdlovsk Training Center for Professional Qualifications  
of the Sverdlovsk Railway  
Yekaterinburg, Russia

**Abstract.** The article considers the issue of organizing a commercial inspection of wagons and registration of primary documents related to the transportation of goods and own empty wagons. A proposal is made to develop a technology that allows efficient use of labor resources by distributing the functions of a cargo and baggage receiver between participants in the transportation process and creating a call center for processing documents in order to increase labor productivity, reduce operating costs in the segment of labor costs and social contributions, as well as personnel risks caused by a shortage of qualified specialists.

**Keywords:** railroad cargo agent, cargo work, call center.

## REFERENCES

1. On Approval of the Unified Standard Technological Process for the Commercial Inspection of Cars and Trains at Railway Stations: Order of Russian Railways JSC [Ob utverzhdenii Edinogo tipovogo tekhnologicheskogo protsessa kommercheskogo osmotra vagonov i poezdov na zheleznodorozhnykh stantsiyakh: Rasporyazhenie OAO «RZhD»] from December 31, 2019 No. 3116/r (last ed. from March 09, 2023 No. 521/r).
2. On Approval of the Technology for Accepting Empty and Loaded Cars for Transportation in the Digital Format «Digital Transceiver» on the Kuibyshev Railway: Order of the Head of the Kuibyshev Railway [Ob utverzhdenii tekhnologii priema porozhnykh i gruzhenykh vagonov k perevozke v tsifrovom формате «Tsifrovoy priemosdatchik» na Kuybyshevskoy zheleznoy doroge: Rasporyazhenie nachalnika Kuybyshevskoy zheleznoy dorogi] from December 13, 2021 No. 359/r.
3. On the Kuibyshev Railway, 10 Thousand Cars Were Registered Using the «Digital Transceiver» Technology [Na Kuybyshevskoy zheleznoy doroge po tekhnologii «Tsifrovoy priemosdatchik» bylo oformleno 10 tysyach vagonov], *ComNews.ru*. Published online at September 30, 2022. Available at: <http://www.comnews.ru/digital-economy/content/222406/2022-09-30/2022-w39/kuybyshevskoy-zheleznoy-doroge-tekhnologii-cifrovoy-priemosdatchik-bylo-oformleno-10-tysyach-vagonov> (accessed 07 Apr 2023).
4. The «Digital Transceiver» Project Was Launched at Kuibyshevskaya Railway [Na Kuybyshevskoy ZhD zapushchen proekt «Tsifrovoy priemosdatchik»], *Independent Information Agency Samara [Nezavisimoe Informatsionnoe Agentstvo Samara]*. Published online at November 16, 2021. Available at: <http://www.niasam.ru/transport/na-kujbyshevskoj-zhd-zapushchen-proekt-tsifrovoy-priemosdatchik-183636.html> (accessed 07 Apr 2023).
5. Moskvicheva E. E. Digital Transformation of Station Technological Processes [Tsifrovaya transformatsiya stantsionnykh tekhnologicheskikh protsessov], *Science and Education for Transport: Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference [Nauka i obrazovanie transportu: Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii]*, Samara, Russia, November 10–11, 2020. Volume 1. Samara, Samara State Transport University, 2020, Pp. 133–135.
6. Shashkova A. S., Moskvicheva E. E. Digital Principles of Operation of the Cargo and Baggage Receiver [Tsifrovyye printsipy raboty priemosdatchika gruzha i bagazha], *Days of Student Science: Materials of the 49th Scientific Conference of SSTU Students. Volume 1. Technical Sciences [Dni studentcheskoy nauki: Sbornik materialov 49-y nauchnoy konferentsii obuchayushchikhsya SamGUPS. Tom 1. Tekhnicheskie nauki]*, Samara, Russia, April 05–16, 2022. Chapter 1. Samara, Samara State Transport University, 2022, Pp. 50–52.
7. Freight Transportation on the Infrastructure of Russian Railways JSC [Gruzovyye perevozki po infrastrukture OAO «RZhD»], *Russian Railways. Annual Report 2021 [Rossiyskie zheleznyye dorogi. Godovoy otchet–2021]*, Pp. 45–48. Available at: [http://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar\\_ru\\_annual-report\\_pages\\_rzd\\_2021.pdf](http://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages_rzd_2021.pdf) (accessed 07 Apr 2023).

# Об одном подходе к сжатию зашумленных изображений

к.т.н. А. Г. Дмитриев

Военный университет радиоэлектроники  
Череповец, Россия  
dag334a@fxmail.ru

**Аннотация.** Существующие алгоритмы сжатия изображений с потерями, основанные на двумерном дискретном косинусном преобразовании, не всегда являются достаточно эффективными при обработке зашумленных изображений. Предлагается алгоритм автоматического определения коэффициентов двумерного косинусного преобразования, обеспечивающих наибольший «вклад» в исходное изображение, в основе которого лежит разделение выборки элементов фрагмента изображения на обучающую и проверочную (исходное изображение разбивается на непересекающиеся фрагменты фиксированного размера). Коэффициенты косинусного преобразования находятся по обучающей выборке. Из полученного множества коэффициентов на основе проверочной выборки определяются коэффициенты, доставляющие минимальное значение выбранному критерию качества аппроксимации.

**Ключевые слова:** сжатие изображений, косинусное преобразование, аппроксимация.

## ВВЕДЕНИЕ

Известны методы [1–5], в которых исходное изображение разбивается на непересекающиеся блоки фиксированного размера, для каждого блока выполняется ортогональное преобразование. В качестве ортогональных преобразований используются дискретное двумерное преобразование Фурье, дискретное двумерное преобразование Уолша, дискретное двумерное косинусное преобразование и другие. Сравнительный анализ эффективности поблочных дискретных ортогональных преобразований изображений проведен в работе [1]. Отмечается, что двумерное косинусное преобразование обеспечивает упаковку наибольшего количества информации в наименьшее число коэффициентов, а также минимизирует эффект появления блочной структуры, проявляющейся в том, что на изображении становятся видны границы между соседними блоками. Для выбора искомого набора коэффициентов двумерного косинусного преобразования используется специально построенная функция квантования, применение которой приводит к появлению «нулевых» коэффициентов, которые исключаются из рассмотрения, и тем самым достигается основное сжатие изображения. В случае зашумленных изображений применение такой функции не всегда оказывается эффективным в связи с возникновением большого числа «ненулевых» коэффициентов.

В данной работе предлагается в определенном смысле оптимальный алгоритм выбора коэффициентов двумерного косинусного преобразования на основе анализа выборки значений элементов фрагмента изображения.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача ставится следующим образом. Пусть для анализа предъявлен фрагмент изображения, размером  $2n \times 2n$  элементов:  $X = \{x_{i,j}\}$ ,  $i = 0, \dots, 2n - 1$ ,  $j = 0, \dots, 2n - 1$ .

Критерий качества приближения  $S$  на выборке экспериментальных значений  $X$  задается в виде

$$S = \sum_{i,j=0}^{2n-1} (x_{i,j} - \tilde{x}_{i,j})^2, \quad (1)$$

где

$$\tilde{x}_{i,j} = \sum_{t_{u,v} \in \Omega_k} c(u)c(v)t_{u,v} \cos \frac{(2i+1)u\pi}{4n} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{4n} -$$

восстановленный элемент изображения с индексом  $(i, j)$  на множестве коэффициентов двумерного косинусного преобразования (ДКП)  $\Omega_k$  ( $k$  — число коэффициентов ДКП);

$$t_{u,v} = c(u)c(v) \sum_{i,j=0}^{2n-1} x_{i,j} \cos \frac{(2i+1)u\pi}{4n} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{4n},$$

$$u, v = 0, \dots, 2n - 1 -$$

коэффициенты прямого двумерного косинусного преобразования;

$$\begin{cases} c(u) = c(v) = \frac{1}{\sqrt{2n}}, & \text{если } u = v = 0; \\ c(u) = c(v) = \sqrt{1/n}, & \text{если } u, v = 1, \dots, (2n - 1). \end{cases}$$

Требуется найти такие коэффициенты двумерного косинусного преобразования (множество  $\Omega_k$ ), чтобы критерий (1) принимал в определенном смысле минимальное значение.

## АЛГОРИТМ

Известно [1, 6], что добавление больших по модулю коэффициентов двумерного косинусного преобразования при вычислении  $\tilde{x}_{i,j}$  приводит к большему уменьшению критерия (1). Таким образом, можно последовательно выбирать те коэффициенты косинусного преобразования, которые вносят наибольший вклад в рассматриваемый фрагмент изображения.

Для нахождения  $\Omega_k$  предлагается следующая процедура.

1. Исходная выборка данных разбивается на обучающую и проверочную. В качестве обучающей выборки выбираются нечетные элементы изображения как вдоль строки, так и вдоль столбца, а в качестве проверочной выборки — четные элементы изображения.

2. Рассматривается обучающая выборка: находятся коэффициенты двумерного косинусного преобразования  $t_{u,v}$ ,  $u, v = 0, \dots, n - 1$ . Полученный массив коэффициентов сортируется в порядке убывания, при этом для каждого отсортированного элемента запоминается его положение в исходном фрагменте изображения. Обозначим отсортированный массив через  $\hat{t}_k, k = 1, \dots, n^2$ .

3. Рассматривается проверочная выборка: последовательно для каждого  $k = 1, 2, \dots, k_{\max}$  ( $k_{\max}$  — заданный параметр) выбираются соответствующие коэффициенты из массива  $\hat{t}_k$ , рассчитывается ошибка приближения  $S_{\text{пров}}(k)$  элементов изображения проверочной выборки с использованием коэффициентов, рассчитанных по обучающей выборке:

$$S_{\text{пров}}(k) = \frac{1}{n^2 - k} \sum_{i,j=0}^{n-1} (x_{i,j} - \tilde{x}_{i,j})^2,$$

где

$$\tilde{x}_{i,j} = \sum_{t_{u,v} \in \Omega_k} c(u)c(v)t_{u,v} \cos \frac{(2i+1)u\pi}{4n} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{4n},$$

$\Omega_k$  — множество коэффициентов двумерного косинусного преобразования из отсортированного массива  $\hat{t}_k$ .

4. Начиная с  $k = 2$  определяется изменение ошибки аппроксимации на основе проверочной выборки:

$$\Delta S_{\text{пров}}(k) = S_{\text{пров}}(k) - S_{\text{пров}}(k - 1).$$

5. Если на некотором шаге  $k^* \Delta S_{\text{пров}}(k^*) > 0$ , то выполняется еще  $r$  шагов «вперед» ( $r$  — параметр алгоритма), подсчитывается  $\Delta S_{\text{пров}}$ . Если на некотором шаге  $i$  ошибка аппроксимации на основе проверочной выборки уменьшилась, т. е.  $\Delta S_{\text{пров}} = S_{\text{пров}}(k^* + i) - S_{\text{пров}}(k^*) < 0$ , то процедура продолжается, начиная с шага  $k = k^* + i$ . Если же на всех  $r$  шагах  $\Delta S_{\text{пров}} > 0$ , то процедура останавливается на шаге  $k^*$ , из массива  $\hat{t}_k, k = 1, \dots, k^* - 1$  выбираются соответствующие коэффициенты двумерного косинусного преобразования. Определенные таким образом коэффициенты являются искомым множеством  $\Omega_k$ .

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моделирование алгоритма проводилось в математической системе Mathcad как на фрагментах строки изображения (одномерный случай), так и на двумерных фрагментах размером 16×16 элементов.

На рисунке 1 показан фрагмент строки изображения, на который накладывалась независимая нормальная помеха с математическим ожиданием равным нулю и с различными значениями среднеквадратического отклонения  $\sigma$ .

Результаты моделирования показаны на рисунках 2–4. Здесь  $R1$  — ошибка аппроксимации, подсчитанная по обучающей выборке,  $RR2$  — ошибка аппроксимации, подсчитанная при добавлении гармоник в порядке уменьшения их вклада на основе проверочной выборки ( $S_{\text{пров}}(k)$ ),  $SS(x, mm)$  — тригонометрический полином, построенный по найденным гармоникам  $\Omega_k$ .

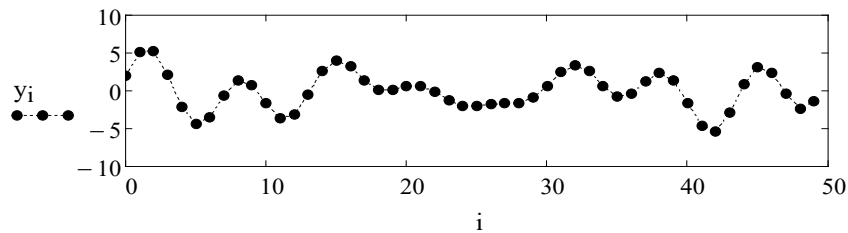


Рис. 1. Фрагмент строки изображения

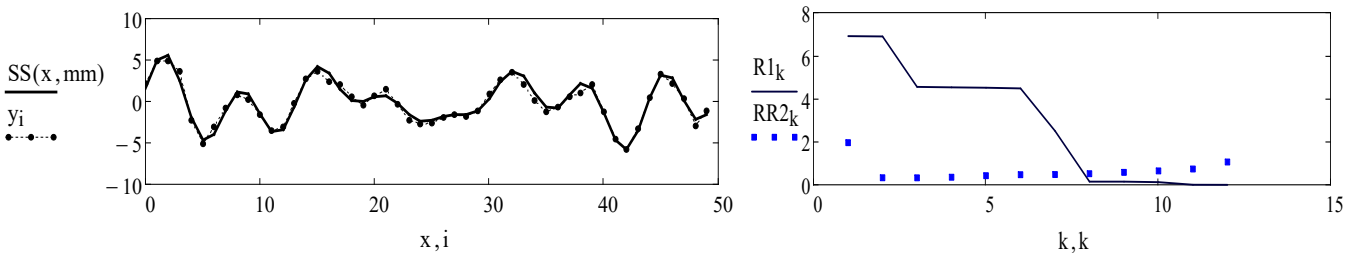


Рис. 2.  $\sigma = 0,5; \Omega_k = \{8, 3, 7\}$

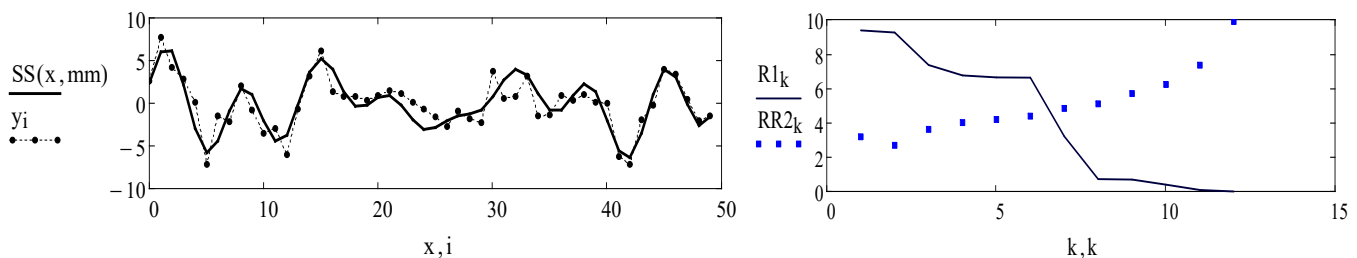


Рис. 3.  $\sigma = 1,5; \Omega_k = \{8, 7, 3\}$

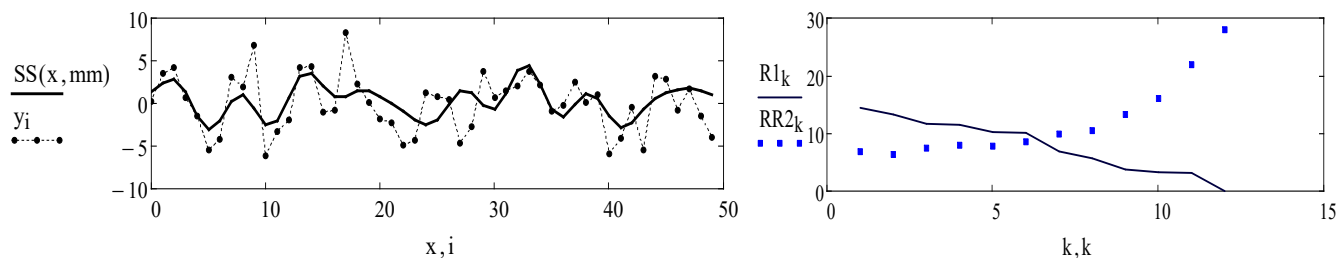


Рис. 4.  $\sigma = 3; \Omega_k = \{3, 10, 8\}$

На рисунке 5 показаны типичные зависимости для двумерных фрагментов зашумленных изображений ошибки аппроксимации  $R1$ , подсчитанной по обучающей выборке, и  $RR2$  — ошибки аппроксимации, подсчитанной на основе проверочной выборки, при добавлении коэффициентов двумерного косинусного преобразования в порядке уменьшения их «вклада» в аппроксимируемый фрагмент.

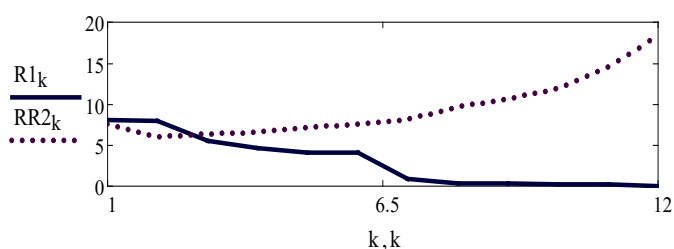


Рис. 5. Типичные зависимости ошибок аппроксимации для двумерных фрагментов зашумленных изображений

#### Выводы

Результаты моделирования показывают, что выбранный критерий качества аппроксимации, рассчитываемый по проверочной выборке, носит экстремальный характер. Это свойство критерия позволяет определить коэффициенты двумерного косинусного преобразования, которые вносят основной вклад в аппроксимируемое изображение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. Третье издание = Digital Image Processing. Third Edition / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. Л. И. Рубанова, П. А. Чочиа, научн. ред. П. А. Чочиа. — Москва: Техносфера, 2012. — 1104 с. — (Мир цифровой обработки).

2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. — Москва: Диалог-МИФИ, 2003. — 384 с.

3. Исмагилов, И. И. Сжатие цифровых изображений с использованием преобразований Уолша: алгоритмы и сравнительный анализ их эффективности / И. И. Исмагилов, М. Ю. Васильева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 9–10. С. 91–99.

4. Фисенко, В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учебное пособие / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. — Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. — 192 с.

5. Красильников, Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: Учебное пособие. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. — 608 с. — (Учебная литература для вузов).

6. Дмитриев А. Г. Адаптивный алгоритм аппроксимации экспериментальных сигналов тригонометрическим полиномом / А. Г. Дмитриев, А. Д. Жуков // Материалы 45-й военно-научной конференции молодых специалистов. — Череповец: Военный ун-т радиоэлектроники, 2020. — С. 39–44.

# About One Approach to Compression of Noisy Images

PhD A. G. Dmitriev

Military University of Radio Electronics

Cherepovets, Russia

dag334a@fxmail.ru

**Abstract.** Existing lossy image compression algorithms based on two-dimensional discrete cosine transformation are not always effective enough when processing noisy images. An algorithm is proposed for the automatic determination of cosine transformation coefficients that provide the greatest «contribution» to the original image, which is based on the separation of the sample of elements of the image fragment into training and verification. The coefficients of the cosine transformation are found by the training sample. From the obtained set of coefficients, on the basis of a test sample, coefficients are determined that deliver the minimum value to the selected approximation quality criterion.

**Keywords:** image compression, cosine transformation, approximation.

## REFERENCES

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital image processing. Third Edition [Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Tretye izdanie]. Moscow, Tekhnosfera Publishing House, 2012, 1104 p.

2. Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yukin V. Data compression methods. The device of archivers, image and video compression [Metody szhatiya dannykh. Ustroystvo arkhivatorov, szhatie izobrazheniy i video]. Moscow, Dialog-MIFI Publishing House, 2003, 384 p.

3. Ismagilov I. I., Vasileva M. U. Digital Images Compression with Using Walsh Transformations Algorithm and Comparing Analys of Them Efficiency [Szhatie tsifrovyykh izobrazheniy s ispolzovaniem preobrazovaniy Uolsha: algoritmy i sravnitelnyy analiz ikh effektivnosti], *Power Engineering: Research, Equipment, Technology [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki]*, 2008, No. 9–10, Pp. 91–99.

4. Fisenko V. T., Fisenko T. Yu. Computer processing and image recognition: Study guide [Kompyuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy: Uchebnoe posobie]. Saint Petersburg, ITMO University, 2008, 192 p.

5. Krasilnikov N. N. Digital processing of 2D and 3D images: Study guide [Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazheniy: Uchebnoe posobie]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg Publishing House, 2011, 608 p.

6. Dmitriev A. G., Zhukov A. D. Adaptive Algorithm of Approximation of Experimental Signals by a Trigonometric Polynomial [Adaptivnyy algoritm approksimatsii eksperimentalnykh signalov trigonometricheskim polinomom], *Proceedings of the 45th Military Scientific Conference of Young Specialists [Materialy 45-y voenno-nauchnoy konferentsii molodykh spetsialistov]*, Cherepovets, The Military University of Radioelectronics, 2020, Pp. 39–44.

# Approximation and Extrapolation of Two-Dimensional Tables

PhD V. V. Garbaruk, U. V. Terenteva  
 Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
 Saint Petersburg, Russia  
 garbaruk@pgups.ru, trntv.u@gmail.com

**Abstract.** An approximation of a two-dimensional table by a function of two variables was carried out. As an example, experimental data characterizing the parameters of the storage battery are selected. First, various types of dependence on one parameter were considered with a constant value of the other. Power and exponential functions of one variable were chosen according to the greatest coefficient of determination  $R^2$ . The desired function of two variables was presented as a product of these functions. The small relative error in the prediction of experimental data makes it possible to apply the obtained formula for further extrapolation.

**Keywords:** storage battery, two-dimensional table of experimental data, approximation, function of two variables, linear regression equation.

The task of establishing a functional relationship between data obtained experimentally often arises in scientific research. The approximation of numerical sequences by a function of one variable is well developed [1–3], but the fitting of a function of several variables is much more difficult. To process a three-dimensional data array, the «TableCurve 3D» program was created, which contains more than fifteen thousand [4] approximating functions. The use of this program makes it possible to quickly assess the quality of the choice of function, but the choice of the trait of the desired function of two variables remains with the researcher. In [5], based on a number of theorems by A. N. Kolmogorov and V. I. Arnold function of several variables is sought as a weighted sum of functions of one variable. To approximate the function of two variables, the product of two interpolation splines was also used [6]. The least squares method was applied [7] after representing the desired function as a sum of one-dimensional functions.

In this paper, we study a two-dimensional table of battery operation parameters. A function of two variables, approximating the table, is written as a product of two functions of one variable, obtained after consideration of various types of dependencies. The uninterrupted power supply of various micro-electronic equipment is necessary to ensure the safety of train traffic. In the case of a loss of external power supply, the transition from the main power supply to the backup one is provided by the batteries of the railway station. One of the most important indicators of battery readiness for operation is its charge level, which is constantly checked during maintenance. It is known that the battery voltage varies depending on the degree of its charge. For various temperatures  $t$ , Table 1 shows the empirical values of the voltage  $H$  of the battery, which determine the percentage  $P$  of the degree of its charge after a special test.

When approximating the empirical points of the surface by a function of two variables  $H = f(P, t)$ , we first considered various types of the dependence  $H = f(P, c) = g(P)$  for different

Table 1

Voltage  $H$  of the battery

$P \backslash t$	-15°	0°	25°
100 %	25,8	25,4	25,2
75 %	25,6	25,2	25,0
50 %	25,4	25,0	24,8
25 %	24,8	24,6	24,4
5 %	24,2	23,8	23,6

values of  $t = c$  (Fig. 1) and functions  $H = f(c, t) = h(t)$  at constant values  $P = c$  (Fig. 2). According to the greatest coefficient of determination  $R^2$ , the power  $g(P) = a \times P^b$  and exponential  $h(t) = c \times e^{kt}$  functions were chosen.

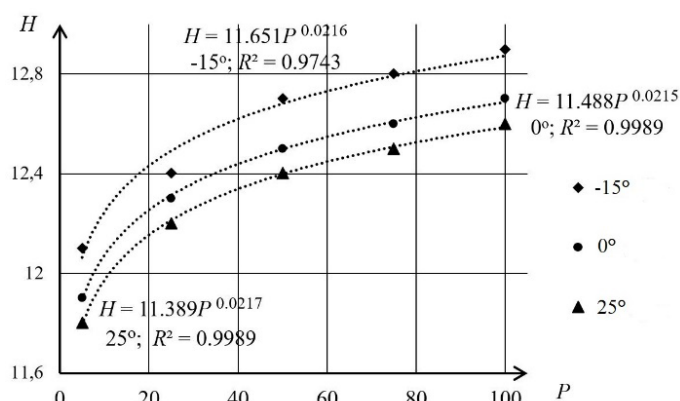


Fig. 1. Power dependence of voltage on the degree of charge

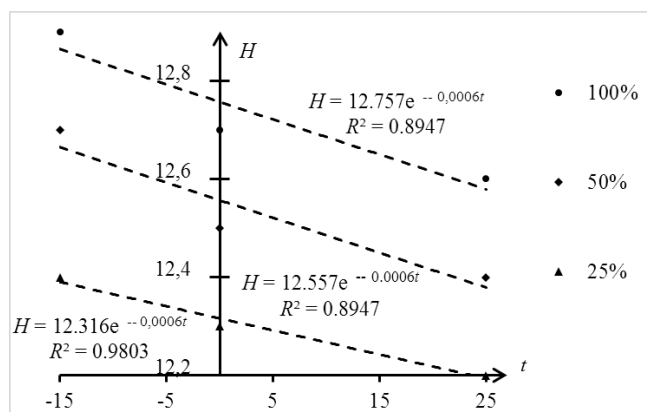


Fig. 2. Exponential dependence of voltage on temperature

The desired function of two variables was presented as a product of power and exponential functions

$$H = d \times P^b \times e^{kt}, \tag{1}$$

because when fixing one of the variables  $P$  or  $t$ , the character of the change in the value of  $H$  corresponds to the previously selected function of one variable.

The logarithm of this function  $\ln d + b \ln P + kt$  is linear with respect to the arguments  $\ln P$  and  $t$ , what makes it possible to find out the factors  $\ln d, b, k$ . Table 2 shows the logarithms of the voltage  $H$  of the battery, taken from Table 1.

Table 2

The values of the  $\ln H$  of the battery

$P \backslash t$	-15°	0°	25°
100 %	3,25037	3,23475	3,22684
75 %	3,24259	3,22684	3,21888
50 %	3,23475	3,21888	3,21084
25 %	3,21084	3,20275	3,19458
5 %	3,18635	3,16969	3,16125

The coefficients  $\ln d, b, k$  of the equation

$$\ln H = \ln d + b \ln P + kt$$

are found by the method of least squares, in which the sum of the squared deviations of the function  $\ln H$  from the actual values  $z_{ji} = \ln(H_{ij})$  of Table 2 is minimized for the same values of the arguments.

Non-negative quadratic function

$$F(d, b, k) = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 (\ln d + b \times \ln P_i + k \times t_j - z_{ji})^2$$

has a single minimum point that satisfies the necessary condition

$$\begin{cases} F'_d = 0; \\ F'_b = 0; \\ F'_k = 0 \end{cases} \text{ or } \begin{cases} a_{11} \times \ln d + a_{12} \times b + a_{13} \times k = g_1; \\ a_{21} \times \ln d + a_{22} \times b + a_{23} \times k = g_2; \\ a_{31} \times \ln d + a_{32} \times b + a_{33} \times k = g_3, \end{cases} \tag{2}$$

where

$$a_{11} = 15, a_{12} = 3 \times \sum_{i=1}^5 \ln P_i, a_{13} = 5 \times \sum_{j=1}^3 t_j,$$

$$g_1 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 z_{ji};$$

$$a_{21} = 3 \times \sum_{i=1}^5 \ln P_i, a_{22} = 3 \times \sum_{i=1}^5 (\ln P_i)^2,$$

$$a_{23} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 (\ln P_i \times t_j), g_2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 (z_{ji} \times \ln P_i);$$

$$a_{31} = 5 \times \sum_{j=1}^3 t_j, a_{32} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 (\ln P_i \times t_j),$$

$$a_{33} = 5 \times \sum_{j=1}^3 t_j^2, g_3 = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 (z_{ji} \times t_j).$$

Algebraic linear system (2) has a unique solution  $b \approx 0,022; k \approx -0,00054; \ln d \approx 2,445$ . After substituting the obtained coefficients into the formula  $\ln H = \ln d + b \ln P + kt$  and potentiating this expression, we find the function of two variables

$$H = 11,53 \times \frac{P^{0,022}}{e^{0,00054t}}.$$

with a large coefficient of determination  $R^2 = 0,98$ .

Table 3, in addition to the initial experimental data, contains the results of a forecast calculated by the formula obtained for the value of  $H$ , as well as the relative error of such the forecast.

Table 3

Relative error of the approximating formula

$P \backslash t$	-15°			0°			25°		
	Exper.	Forecast	Error	Exper.	Forecast	Error	Exper.	Forecast	Error
100 %	25,80	25,68	0,46%	25,40	25,47	0,29%	25,20	25,13	0,26%
75 %	25,60	25,52	0,31%	25,20	25,32	0,46%	25,00	24,98	0,09%
50 %	25,40	25,30	0,40%	25,00	25,10	0,38%	24,80	24,46	0,16%
25 %	24,80	24,92	0,49%	24,60	24,72	0,50%	24,40	24,39	0,04%
5 %	24,20	24,07	0,54%	23,80	23,88	0,32%	23,60	23,56	0,18%

The maximum relative forecast error is only 0,54 %. Good approximation results make it possible to predict the battery voltage  $H$  in various ranges of  $P$  and  $t$ . For example, it becomes possible to extrapolate the experimental data of Table 1 to lower or higher temperatures. For example, for northern regions, Table 4 may be relevant.

Table 4

Extrapolation of the original table

$P \backslash t$	-35°	-25°	-15°
100 %	25,96	25,82	25,80
75 %	25,80	25,66	25,60
50 %	25,57	25,44	25,40
25 %	25,19	25,06	24,80
5 %	24,33	24,20	24,20



The formula (1) can be written in the form

$$P = \left( \frac{H}{d \times e^{kt}} \right)^{1/b}.$$

If this formula is confirmed or refined by experimental studies, then it can be used to test the performance of batteries without resorting to Table 1.

#### REFERENCES

1. Nekrasov O. N. Approksimatsiya eksperimentalnykh dannykh na osnove linearizuemyykh funktsiy [Approximation of Experimental Data on Basis Linearized Functions], *Nauchnye i obrazovatelnye problemy grazhdanskoj zashchity [Scientific and Educational Tasks of Civil Defence]*, 2009, No. 1, Pp. 78–85. (In Russ.)

2. Kryukova S. V., Simakina T. E. Otsenka metodov prostanstvennoy interpolatsii meteorologicheskikh dannykh [Estimation of Spatial Interpolation Methods for Meteorological Data], *Obshchestvo. Sreda. Razvitie [Society. Environment. Development]*, 2018, No. 1, Pp. 144–151. (In Russ.)

3. Alyukov S. V. Approksimatsiya stupenchatykh funktsiy v zadachakh matematicheskogo modelirovaniya [Approximation of Step Functions in Problems of Mathematical Modeling], *Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 2011, Vol. 23, No. 3, Pp. 75–88. (In Russ.)

4. Panfilov G. V., Chernyaev A. V. Approksimatsiya trekhmernykh graficheskikh zavisimostey [Approximation of Three-Dimensional Graphical Dependencies], *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya Tula State University. Technical Sciences]*, 2017, Is. 11-1, Pp. 194–206. (In Russ.)

5. Butyrsky Eu. Yu., Kuvaldin I. A., Chalkin V. P. Approksimatsiya mnogomernykh funktsiy [Multidimensional Functions Approximation], *Nauchnoe priborostroenie [Scientific Instrumentation]*, 2010, Vol. 20, No. 2, Pp. 82–92. (In Russ.)

6. Daugavet V. A., Kireeva M. V. Priblizhenie funktsii dvukh peremennykh proizvedeniem funktsiy odnoy peremennoy v zadannoy oblasti [Approximation of a Function of Two Variables by the Product of Functions of One Variable on a Given Domain], *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Astronomiya [Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy]*, 2010, No. 3, Pp. 13–21. (In Russ.)

7. Danilov A. M., Garkina I. A. Interpolyatsiya, approksimatsiya, optimizatsiya: analiz i sintez slozhnykh sistem: Monografiya [Interpolation, approximation, optimization: Analysis and synthesis of complex systems: Monograph]. Penza, Penza State University of Architecture and Construction, 2014. 168 p. (In Russ.)

# Аппроксимация и экстраполяция двумерных таблиц

к.т.н. В. В. Гарбарук, У. В. Терентьева

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
garbaruk@pgups.ru, trntv.u@gmail.com

**Аннотация.** Проведена аппроксимация двумерной таблицы функцией двух переменных. В качестве примера выбраны экспериментальные данные, характеризующие параметры аккумуляторной батареи. Сначала были рассмотрены различные виды зависимости одного параметра при постоянном значении другого. По наибольшему коэффициенту детерминации  $R^2$  были выбраны степенная и показательная функции одной переменной. Искомая функция двух переменных была представлена в виде произведения этих функций. Малая относительная погрешность прогноза экспериментальных данных позволяет применять полученную формулу для дальнейшей экстраполяции.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, двумерная таблица экспериментальных данных, аппроксимация, функция двух переменных, линейное регрессионное уравнение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов, О. Н. Аппроксимация экспериментальных данных на основе линеаризуемых функций // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2009. № 1. С. 78–85.
2. Крюкова, С. В. Оценка методов пространственной интерполяции метеорологических данных / С. В. Крюкова, Т. Е. Симакина // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 1. С. 144–151.
3. Алюков, С. В. Аппроксимация ступенчатых функций в задачах математического моделирования // Математическое моделирование. 2011. Т. 23, № 3. С. 75–88.

4. Панфилов, Г. В. Аппроксимация трехмерных графических зависимостей / Г. В. Панфилов, А. В. Черняев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 11-1. С. 194–206.

5. Бутырский, Е. Ю. Аппроксимация многомерных функций / Е. Ю. Бутырский, И. А. Кувалдин, В. П. Чалкин // Научное приборостроение. 2010. Т. 20, № 2. С. 82–92.

6. Даугавет, В. А. Приближение функции двух переменных произведением функций одной переменной в заданной области / В. А. Даугавет, М. В. Киреева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2010. № 3. С. 13–21.

7. Данилов, А. М. Интерполяция, аппроксимация, оптимизация: анализ и синтез сложных систем: Монография / А. М. Данилов, И. А. Гарькина. — Пенза: Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства, 2014. — 168 с.

# Управление событиями информационной безопасности с помощью SIEM-системы

С. М. Жаксыбай

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Алматы, Казахстан

zhaksybaysanzhar@gmail.com

**Аннотация.** Деятельность любой организации зависит от получения и передачи информации. Информация является стратегически важным товаром. Потеря информационных ресурсов или приобретение конфиденциальной информации конкурентами нанесет значительный вред предприятию. В соответствии с современными требованиями концентрация больших объемов данных и увеличение процессов их обработки в масштабах одной технической системы требуют надежной защиты. Для обеспечения безопасности информационных ресурсов и рассмотрения возможных угроз применяются различные методы и инструменты. Один из таких инструментов — система управления событиями информационной безопасности.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, обеспечение безопасности, раскрытия безопасности, обнаружение угроз, обнаружение атак.

Система управления информационной безопасностью и событиями безопасности (Security Information and Event Management, SIEM) представляет собой комплексное обеспечение безопасности, которое включает функции сбора, хранения и управления событиями безопасности в организации. SIEM-система позволяет централизованно собирать логи и события с различных источников в сети (например, серверов данных, систем антивирусной защиты и других средств безопасности). Основная цель SIEM-системы — обнаружение угроз безопасности и атак и реагирование на них в реальном времени. Путем анализа и корреляции данных SIEM-система способна выявлять необычные или опасные действия: несанкционированный доступ к ресурсам, посторонние приложения, утечку данных и т. д. [1].

Основные функции SIEM-системы включают в себя:

1. Сбор данных. SIEM-система собирает логи и данные о событиях с различных источников в сети, используя механизмы сетевого мониторинга или агенты, установленные на хостах.

2. Нормализация и агрегация. Собранные данные нормализуются и придерживаются единого формата, что соответствует их анализу и правилам. Данные агрегируются для различных шаблонов и трендов.

3. Корреляция и анализ. SIEM-система анализирует события и логики, применения различных алгоритмов и правил обнаружения аномалий, связей между событиями и угрозами. Это позволяет обнаруживать подключения безопасности и строить цепочку событий.

4. Предварительный просмотр и отчетность. SIEM-система предоставляет пользовательский интерфейс, где администраторы безопасности размещают внешние данные.

5. Управление доступами. SIEM-система помогает в управлении информационными системами безопасности,

предоставляя возможность использовать процесс и регистрировать решения, определяя их приоритетность, назначать ответственных и учитывать их решения.

6. Правила и сигнатуры. SIEM-система позволяет накладывать правила и сигнатуры, которые обнаруживают опасную вредоносность.

7. Детектирование угрозы. SIEM-система использует различные методы и алгоритмы выявления угроз раскрытия безопасности. Это помогает обнаружить аномалии в поведении пользователей или сетевом трафике, распознать уязвимости и атаки, а также проводить анализ событий с обнаруженным нарушением политик безопасности.

8. Уведомления и исключения. SIEM-система способна проводить автоматизированный анализ коррелирующих событий и генерировать оповещения при обнаружении опасных событий или угроз безопасности. Администраторы запускают оповещение по электронной почте, SMS или другим каналам для оперативного реагирования.

9. Соответствие нормативным требованиям. SIEM-система помогает организациям соблюдать нормативные требования в области информационной безопасности, такие как HIPAA, PCI DSS, GDPR и другие. Предоставляется возможность искать и анализировать данные, связанные с безопасностью, и генерировать отчеты, необходимые для соблюдения требований [2].

Рисунки 1 и 2 наглядно демонстрируют, в каких случаях может быть полезна SIEM-система.

Злоумышленники от прямых атак переходят к более новым и изощренным методам. В настоящее время существует множество видов атак: фишинговые и поддельные веб-сайты, взлом аккаунтов, киберпреступность, взлом IoT-устройств, криптовалютные атаки, нарушение государственной тайны и корпоративной конфиденциальности, атаки искусственного интеллекта. Особую озабоченность организаций вызывают усовершенствованные постоянные угрозы (Advanced Persistent Threats, APT) и целевые атаки. Эти типы кибератак характеризуются высоким уровнем сложности и возможностью обойти традиционные меры безопасности. Основные принципы метода APT уже известны. Примером может служить использование социальной инженерии, когда пользователь открывает ссылку или вложенный файл, либо использует уязвимость для получения доступа к атакуемой системе. В то же время при анализе совокупности событий SIEM-системой можно было бы указать на нападение. SIEM выполняет такие функции, как обнаружение мелких атак, общий анализ аномалий и событий. Система SIEM различает законное использование и злонамеренную атаку в сложной инфраструктуре информационных технологий современных организаций. Для

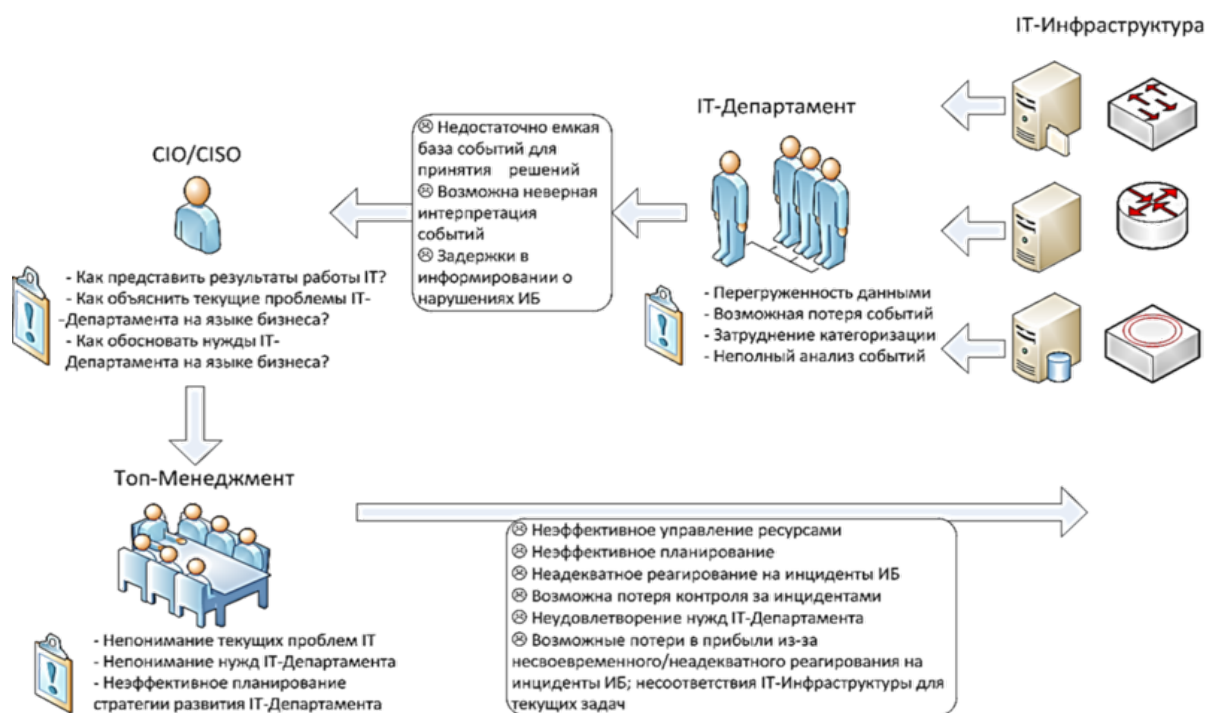


Рис. 1. Ситуация, когда в организации нет SIEM-системы

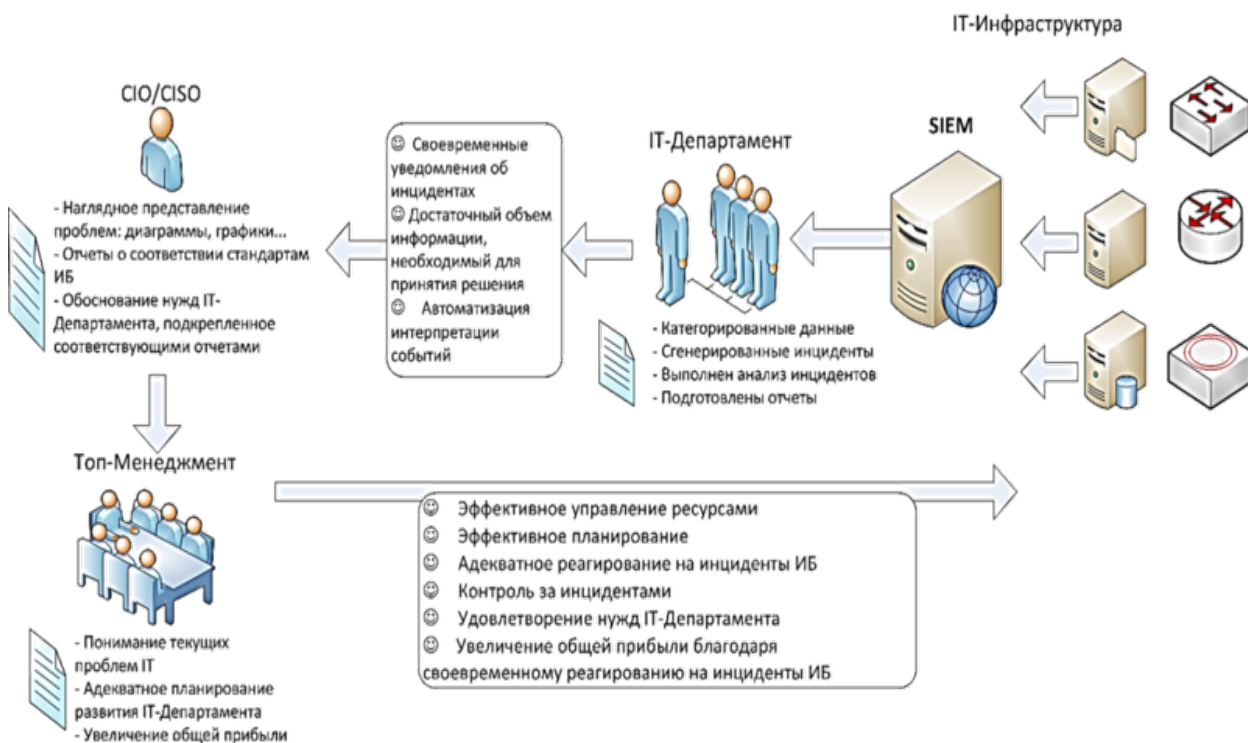


Рис. 2. Ситуация, когда в организации установлена SIEM-система

этого потребуются автоматический мониторинг событий, их сбор, корреляция и формирование сообщений раннего предупреждения [3].

Система SIEM требует результатов и ресурсов. Вот некоторые аспекты, которые следует учитывать при внедрении и управлении системой SIEM:

1. Планирование и анализ защищенности. Перед внедрением SIEM-системы необходимо учитывать долю

планирования и анализа защищенности, определить, какие источники данных и типы событий необходимо включить в систему.

2. Интеграция совокупных систем. SIEM-система должна быть объединена с уже известными системами безопасности в организации: системами мониторинга рисков, межсетевыми экранами, системами аутентификации и др.

3. Настройка правил и корреляции событий. Необходимо настроить правила и сигнатуры в SIEM-системе для выявления конкретных угроз и аномалий, характерных для организации, определить случайные события, которые требуют немедленной адаптации, и настроить систему соответствующим образом.

4. Мониторинг и анализ данных. Необходимость включения в штат аналитиков безопасности, которые будут отслеживать и анализировать данные SIEM-системы.

5. Обучение и обновление. Необходимо проводить постоянное обучение сотрудников по использованию и пониманию SIEM-системы, а также следить за обновлениями и новыми версиями SIEM-платформ, чтобы быть в курсе последних технологий и методов безопасности.

6. Регулярные аудиты и тестирование.

SIEM-система обнаружения атак использует различные методы и технику. Одним из них является лог-анализ [4], при котором SIEM-система собирает и анализирует логи событий от различных источников данных, таких как серверы, сетевые устройства, системы баз данных и приложения. Анализируя логику, система выявляет подозрительные и аномальные проявления, которые могут являться нарушением безопасности.

В процессе лог-анализа SIEM-система выполняет следующие действия:

1. Сбор лог-файлов. SIEM-система получает лог-файлы от различных источников данных в организациях, таких как серверы, сетевые устройства, системы баз данных, межсетевые экраны и другие системы. Лог-файлы содержат записи о событиях, происходящих в системе, таких как входы в систему, доступ к файлам, сетевая активность и другие операции [5].

2. Нормализация и парсинг. SIEM-система выполняет нормализацию и парсинг лог-файлов. Это означает преобразование различных форматов лог-файлов в стандартизированный формат, что приводит к единообразной обработке и анализу данных.

3. Фильтрация и отбор. SIEM-система фильтрует и отбирает лог-события на основе заданных правил и параметров. Некоторые события могут быть исключены из анализа, если они не являются релевантными для безопасности.

4. Корреляция событий. SIEM-система анализирует и связывает различные события из лог-файлов для выявления связей и формирования полных собраний. Например, система может связать несколько событий, таких как несколько неудачных входов в систему и последующую передачу конфиденциальных данных [6].

5. Обнаружение аномалий. SIEM-система изменяет методы анализа поведения и модели статистики для определения нормального и аномального поведения пользователей, систем и трафика на основе данных из лог-файлов. Это позволяет выявить необычные и подозрительные проявления, которые могут проявляться при нарушении безопасности.

6. Уведомления и реагирование. Если SIEM-система обнаруживает подозрительные или аномальные события, она отправляет сигналы для аналитиков безопасности (например, уведомления по электронной почте). Аналитики могут принимать меры по предупреждению аварий [7].

Важно отметить, что эффективность лог-анализа SIEM-системы зависит от выбора релевантных лог-источников и определения правил и сигнатур для выявления угроз. Также важна регулярная настройка и обновление системы для адаптации к новым видам атак и угроз.

Системы SIEM являются важным инструментом для мониторинга и анализа инцидентов безопасности в организации. Они позволяют службам безопасности быстрее и эффективнее выявлять потенциальные угрозы и реагировать на них. Однако внедрение системы SIEM и управление ею — сложный и трудоемкий процесс. Важно понимать, что безопасность — это непрерывный процесс, который требует постоянного мониторинга и анализа угроз. Систему SIEM следует внедрить как часть общего подхода к кибербезопасности и постоянно совершенствовать, чтобы соответствовать меняющемуся ландшафту угроз. Хотя системы SIEM могут обеспечить значительные преимущества мониторинга безопасности, важно тщательно учитывать затраты и ресурсы, необходимые для внедрения и обслуживания такой системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Address, J. *The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice*. — Oxford: Syngress, 2011. — 208 p.

2. Sanders, C. *Applied Network Security Monitoring: Collection, Detection, and Analysis* / C. Sanders, J. Smith. — Oxford: Syngress, 2013. — 496 p.

3. Muniz, J. *Security Operations Center: Building, Operating, and Maintaining your SOC* / J. Muniz, G. McIntyre, N. AlFardan. — Indianapolis (IN): Cisco Press, 2015. — 448 p.

4. Bejtlich, R. *The Practice of Network Security Monitoring: Understanding Incident Detection and Response*. — San Francisco (CA): No Starch Press, 2013. — 376 p.

5. *Security Information and Event Management (SIEM) Implementation* / D. R. Miller, S. Harris, A. A. Harper, [et al.]. — New York: McGrawHill Professional, 2010. — 464 p.

6. Chuvakin, A. A. *Logging and Log Management: The Authoritative Guide to Understanding the Concepts Surrounding Logging and Log Management* / A. A. Chuvakin, K. J. Schmidt, C. Phillips. — Oxford: Syngress, 2012. — 460 p.

7. Blokdyk, G. *Security Information and Event Management SIEM: A Complete Guide: Practical Tools for Self-Assessment*. — Plano (TX): 5STARCOoks, 2021. — 324 p.

# Information Security Event Management Using SIEM System

S. M. Zhaksybay

Al-Farabi Kazakh National University

Almaty, Kazakhstan

zhaksybaysanzhar@gmail.com

**Abstract.** The activities of any organization depend on receiving and transmitting information. Information is a strategically important commodity. The loss of information resources or the acquisition of confidential information by competitors will cause significant harm to the enterprise. In accordance with modern requirements, the concentration of large volumes of data and the increase in their processing on the scale of one technical system require reliable protection. To ensure the security of information resources and consider possible threats, various methods and tools are used. One such tool is an information security event management system.

**Keywords:** information security, security assurance, security disclosures, threat detection, attack detection.

#### REFERENCES

1. Andress J. The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice. Oxford, Syngress, 2011, 208 p.
2. Sanders C., Smith J. Applied Network Security Monitoring: Collection, Detection, and Analysis. Oxford, Syngress, 2013, 496 p.

3. Muniz J., McIntyre G., AlFardan N. Security Operations Center: Building, Operating, and Maintaining your SOC. Indianapolis (IN), Cisco Press, 2015, 448 p.

4. Bejtlich R. The Practice of Network Security Monitoring: Understanding Incident Detection and Response. San Francisco (CA), No Starch Press, 2013, 376 p.

5. Miller D. R., Harris S., Harper A. A., et al. Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. New York, McGrawHill Professional, 2010, 464 p.

6. Chuvakin A. A., Schmidt K. J., Phillips C. Logging and Log Management: The Authoritative Guide to Understanding the Concepts Surrounding Logging and Log Management. Oxford: Syngress, 2012, 460 p.

7. Blokdyk G. Security Information and Event Management SIEM: A Complete Guide: Practical Tools for Self-Assessment. Plano (TX), 5STARCOoks, 2021, 324 p.

# SEO-оптимизация как ключевой инструмент продвижения бренда и продуктов компании: исследование методов

Д. К. Коспай, к.т.н. Л. М. Алимжанова  
Международный университет информационных технологий  
Алматы, Казахстан  
33108@iitu.edu.kz

**Аннотация.** Рассматриваются задачи и цели поисковых систем, методы, используемые при продвижении веб-ресурса для привлечения трафика на сайт, а также дальнейшее продвижение продукции и бренда с целью повышения прибыльности компании. Оптимизация может быть внешней и внутренней. Оптимизация сайта ради улучшения его поисковых позиций относится к внутренней оптимизации. Она включает в себя улучшение структуры и удобства использования, а также подбор ключевых слов для продвижения и устранение технических проблем. Методы SEO-оптимизации делятся на три класса, которые различаются по цвету и степени запрета веб-браузерами. Черная оптимизация подразумевает грубые нарушения правил поисковых систем, такие как использование скрытого текста, маскировки и поддельных ссылок, а серая оптимизация включает в себя официально не запрещенные, но неестественно выглядящие методы повышения релевантности, такие как добавление ключевых слов в ущерб качеству текста и включение ключевого запроса в метатегах.

**Ключевые слова:** SEO-оптимизация, поисковая оптимизация, браузер, ключевые слова, ссылки, сайт, реклама, трафик.

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый день миллионы пользователей ищут в Интернете интересующую их информацию или товары, и в 90 % случаев они просматривают первые три сайта, рекомендованные поисковыми системами по целевому запросу, потому что эти сайты были оптимизированы под нужды целевой аудитории. В коммерческих целях это связано с тем, что попадание в топ поисковых систем в большинстве случаев приводит к большому количеству посещений. Следовательно, количество продаж также растет, поэтому многие компании и бренды оптимизируют свой контент для увеличения трафика [1].

Сайт без SEO-продвижения не принесет его владельцу большого дохода, поэтому простого создания веб-ресурса без поисковой оптимизации для бизнеса недостаточно. Если владелец компании планирует, что его продукция будет приносить стабильный доход, необходимо позаботиться о поиске целевых посетителей, которые впоследствии станут потенциальными клиентами. Согласно исследованию Forrester Research Inc. более 80 % людей находят нужный веб-ресурс с помощью поисковых систем, поэтому высокая роль SEO как инструмента интернет-маркетинга неоспорима.

Чтобы понять, как работает SEO-оптимизация и в чем важность этого инструмента, следует дать определение этому термину, а также определить его цели и функции [2]. Слово SEO — это аббревиатура от Search Engine

Optimization, что переводится с английского как «поисковая оптимизация». Поисковая система — это программно-аппаратный комплекс с пользовательским интерфейсом, предназначенный для поиска и отображения информации по запросу пользователя.

Более подробно поисковая оптимизация — это комплекс мер по внутренней и внешней оптимизации, направленных на повышение позиций сайта в результатах поиска по определенным запросам пользователей, с целью увеличения посещаемости и видимости веб-ресурса, поиска потенциальных посетителей ресурса [3].

## МЕТОДЫ SEO-ОПТИМИЗАЦИИ

Проведем сравнительный анализ методов SEO-оптимизации, чтобы понять, какие методы можно использовать при оптимизации веб-сайтов. Сравнение информационных систем проводится по следующим критериям:

- плюсы и минусы методов;
- эффективность;
- сроки реализации;
- безопасность использования;
- направление работы.

Целью поисковых систем является:

1. Увеличение трафика. Методы поисковой оптимизации — неотъемлемая часть любого бизнеса, направленного на увеличение прибыли компании. На данный момент SEO-продвижение является лидером в привлечении потенциальных клиентов наряду с другими маркетинговыми методами, такими как реклама в социальных сетях и другими. Исследования показывают, что около 30 % покупателей приходят в интернет-магазины при помощи ведущих поисковых систем. Чем выше позиция сайта в результатах поиска, тем больше заинтересованных посетителей [4].

2. Улучшение пользовательских показателей. Поисковые системы оптимизируют содержимое сайта таким образом, чтобы пользователь мог найти как можно больше ответов на свой запрос. Поэтому одной из главных целей поисковых систем является создание информационного и структурного ресурса для пользователей. Чем информативнее веб-ресурс, тем выше его показатели в результатах поиска.

В середине 90-х начали появляться первые поисковые системы, когда алгоритмы поисковых систем были проще, релевантность текста оценивалась по ключевым словам, тегам и другим внутренним факторам. Кроме того, появились первые SEO-оптимизаторы, которые использовали в своей работе известную «черную» оптимизацию: они

вставляли множество ключевых слов в различные части кода сайта. Но эксперты быстро поняли, что такая спам-страница не интересна пользователю [5].

Методы SEO-оптимизации делятся на три группы: белые, черные и серые. Во многих браузерах лицензия

запрещает искусственное управление настройками, так как это негативно сказывается на результатах поиска. В таблице 1 представлен сравнительный анализ всех трех методов.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов SEO-оптимизации

Метод	Направление	Эффективность	Безопасность	Результат
Белый	Внутренняя работа над самим ресурсом	Эффективный	Безопасный	Долгосрочный
Серый	Добавление большого количества ключевых слов к тексту страницы, часто в ущерб удобочитаемости для человека	Эффективный	Официально не запрещены поисковыми системами, однако не всегда соблюдают их правила, есть риск попасть в бан	Долгосрочный
Черный	Использование страниц и ресурсов, специально разработанных для роботов поисковых систем	Могут быть эффективными в краткосрочной перспективе, но часто не успевают даже этого, так как попадают под санкции поисковых систем	Используют методы продвижения, которые официально запрещены поисковыми системами, есть риск попасть в вечный бан	Краткосрочный

Рассмотрим подробнее каждый из методов.

Метод «белой» оптимизации (White Hat SEO) является самым положительным из всех методов SEO-оптимизации, так как работает без использования официально запрещенных методов продвижения. Белая оптимизация включает в себя работу над контентом сайта и внутренней навигацией, а также внешней средой сайта, продвижение веб-ресурса посредством пресс-релизов, рекламы в социальных сетях. Метод оптимизации по белому цвету предполагает получение безопасного и долгосрочного результата. Белое SEO предполагает работу над сайтом и его внутреннюю оптимизацию в соответствии с рекомендациями поисковых систем. В рамках оптимизации все внешние ссылки на сайт и упоминания в социальных сетях должны размещаться посетителями на добровольной основе без какого-либо участия владельца сайта, например: человеку понравилась статья, он сделал ретвит или дал ссылку на нее в своем блоге или на тематическом форуме [6].

В остальном белое SEO направлено на работу с внутренними факторами сайта. Методы продвижения включают в себя такие области, как:

- создание интересного и полезного контента для посетителей (включая фотографии, видео, PDF-документы и инфографику);
- удобная навигация и продуманное меню;
- оптимизация метатегов, заголовков и текстов на сайте;
- внутренняя привязка;
- ускорение скорости загрузки сайта;
- устранение технических неполадок на сайте с целью облегчения его индексации поисковыми роботами (удаление дубликатов, закрытие ненужных страниц и разделов в robots.txt и т. д.).

«Серая» поисковая оптимизация (Gray Hat SEO) связана с добавлением большого количества ключевых слов в текст

страницы, часто в ущерб удобочитаемости для человека. В то же время оптимизация заключается сначала в выборе ключевых запросов для конкретной веб-страницы, определении размера целевого SEO-текста и требуемой частоты ключевых слов в нем, а затем в формулировании предложений и словосочетаний, содержащих определенное количество фраз в разных падежах, единственном и множественном числе, с разной формой глаголов для ключевых запросов. Затем эти параметры могут быть скорректированы на основе результатов поисковой системы. Задача SEO-копирайтера состоит в том, чтобы написать оригинальный текст таким образом, чтобы такая оптимизация была как можно менее заметна читателю.

Серая оптимизация официально не запрещена, но ее использование можно рассматривать как неестественное повышение популярности сайта. Некоторые поисковые системы, например Google, могут временно или навсегда заблокировать такой сайт. То есть окончательное решение о том, являются ли методы продвижения законными, принимает модератор поисковой системы, а не программа. Этот метод обеспечивает умеренную скорость, низкий риск, при грамотном подходе могут быть достигнуты долгосрочные результаты. Серые методы — это компромисс между черным (использование которого официально запрещено) и белым (когда выполняется работа с контентом сайта и процесс занимает больше времени) методами. [7].

Методы серой оптимизации включают в себя:

- размещение ссылок вручную на тематических форумах и в комментариях к блогам;
- размещение платных ссылок;
- размещение статей со ссылками на веб-сайт;
- платная публикация записей в блоге;
- ручной средний обмен ссылками на темы;
- обман в отношении поведенческих факторов;
- регистрация в каталогах;



- размещение объявлений на досках объявлений;
- добавление страниц сайта в социальные сети;
- продвижение посредством публикации пресс-релизов.

«Черная» оптимизация (Black Hat SEO) включает в себя все методы, запрещенные правилами поисковой системы. Среди них можно отметить: использование страниц и ресурсов, специально разработанных для роботов поисковых систем, внедрение так называемого маскирования (пользователю предоставляется одна страница, которая легко читается, а для робота оптимизирована под любой запрос), использование скрытого текста на страницах сайта [8].

Для черной оптимизации часто используется взлом сайтов с высокой посещаемостью или многих сайтов с низкой посещаемостью с целью размещения на них скрытых ссылок на продвигаемые ресурсы. В большинстве случаев такие ссылки автоматически меняются каждые несколько дней или неделю из-за вредоносного кода, который можно обнаружить с помощью бесплатных онлайн-сканеров сайтов на вирусы. Метод черной оптимизации является вредоносным и создает риск получения кратковременных результатов и блокировки сайта.

Черные методы включают в себя:

- массовый спам (на форумах, в комментариях, гостевых книгах, социальных сетях и т. д.);
- массовое размещение статей в каталогах бесплатных статей;
- размещение невидимого текста и ссылок на сайте;
- автоматическое создание текста;

- веб-сайты или страницы с автоматически сгенерированным текстом и высокой плотностью ключевых слов;
- маскировка (когда посетители и поисковые роботы видят разный контент);
- автоматическое создание блогов и спутниковых сетей;
- автоматическое создание сотен и тысяч видеороликов (а также PDF-документов) для привлечения трафика.

#### ПРОЦЕСС SEO-ОПТИМИЗАЦИИ

Эффективное SEO помогает разместить веб-страницу на странице результатов поисковой системы. Согласно опросу, Google является наиболее часто используемой поисковой системой в первой половине 2018 года, ее доля на рынке поисковых систем составляет около 75 % [9].

Поскольку Google является самой популярной поисковой системой, эффективные методы SEO направлены на то, чтобы они отображались на первой странице результатов Google. Google перечислил эффективные факторы и методы SEO и предложил два параметра: первый — поисковая оптимизация страницы (on-page), которая обеспечивает хороший и оригинальный контент, тщательно подбирая ключевые слова и темы, второй — внестраничное SEO, где используются такие методы, как создание ссылок, привлечение факторов влияния на посетителей.

Процесс оптимизации состоит из четырех этапов (рис. 1):

1. Постановка цели.
2. Построение структуры сайта.
3. Создание ссылок.
4. Анализ сайта.

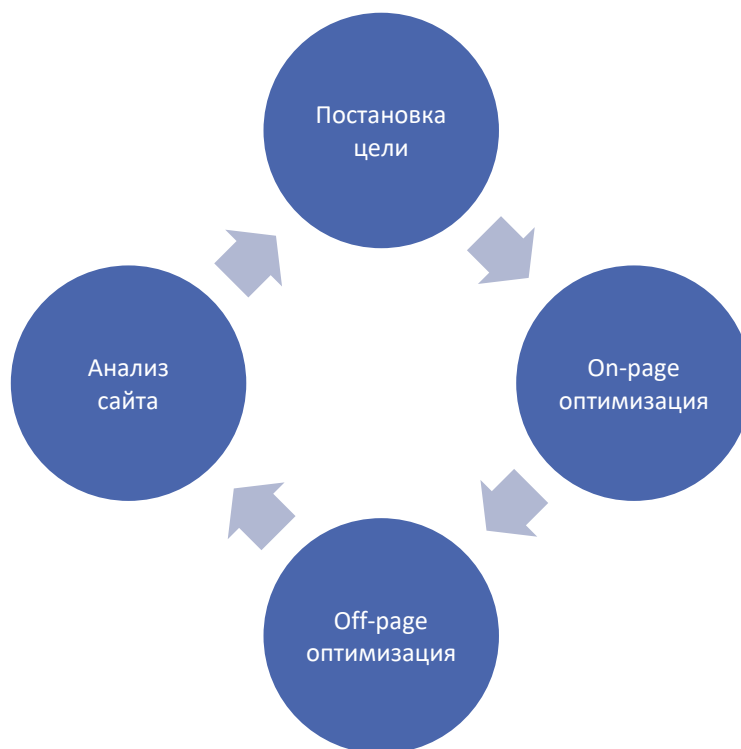


Рис. 1. Четырехэтапный процесс SEO-оптимизации

Продвижение бренда — довольно трудоемкий процесс. Потребуется много времени, глубокие знания и сложная аналитика, чтобы подняться на верхние позиции поисковых систем. SEO включает в себя несколько областей.

Приоритет задач и порядок выполнения работ может быть скорректирован, так как это зависит от специфики продвигаемого проекта. Необходимый характер изменений определяется путем анализа самого ресурса, тематической

ниши и сайтов-конкурентов. Существует несколько инструментов, которые помогают оптимизировать запросы в поисковых системах:

- исследование ключевых слов;
- мониторинг результатов поиска;
- анализ конкурентов;
- аудит на странице.

#### ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ

SEO считается основным источником прибыли в электронной коммерции. Его механизмы помогают привлечь целевой трафик, монетизировать сайт и увеличивать получаемую прибыль. По сравнению с другими источниками трафика у Google гораздо большая целевая аудитория. Каждый день миллионы пользователей со всего мира вводят запросы в строку поиска. Игнорируя такой канал продвижения, бизнесмен добровольно отдает потенциальных покупателей конкурентам и предоставляет им прекрасные возможности для дальнейшего развития.

Как и во всех аспектах цифрового маркетинга, важность определения и постановки осозаемых, измеримых целей трудно переоценить. Цели помогают строить планы, руководить повседневными задачами и, конечно же, мотивируют подняться выше своих конкурентов.

Для определения целей необходимо выполнить следующие пункты:

1. Анализ основных потребностей исследуемого бизнеса.
2. Преобразование потребностей в четко определенные цели.
3. Присвоение целям ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки степени достижения цели, а также оптимальности выбранного процесса.

#### ОПТИМИЗАЦИЯ НА СТРАНИЦЕ

После определения целей и связанных с ними ключевых показателей эффективности можно перейти ко второму этапу процесса SEO-оптимизации страницы.

Как осуществляется внутренняя SEO-оптимизация?

1. Оптимизация внутреннего контента веб-ресурса начинается с составления семантического ядра. Выбранные ключевые слова являются основой технических улучшений сайта, его продвижения в поисковых системах, под них пишется контент. Для того чтобы ресурс привлекал большое количество посетителей, важно заказать услугу оптимизации сайта у специалистов, которые тщательно проработают ключевые слова.

2. Оптимизация html-кода страниц, URL-адресов, заполнение метатегов. Благодаря правильно скомпилированному коду страницы загружаются быстрее, становятся более удобными для пользователей и занимают более высокие позиции в поисковых системах.

3. Компиляция файла robots.txt и карты сайта для лучшей индексации ресурса и всех его страниц.

4. Размещение оптимизированных, уникальных и полезных текстов на сайте. Качественный контент высоко ценится поисковыми системами.

5. Связывание внутренних страниц для получения высоких результатов поиска в поисковой системе главной страницы и других разделов сайта.

#### ВНЕШНЯЯ SEO-ОПТИМИЗАЦИЯ (ВНЕСТРАНИЧНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ)

"Внешнее SEO" относится к действиям, предпринимаемым за пределами вашего собственного веб-сайта, чтобы повлиять на ваш рейтинг на страницах результатов поисковой системы (SERP). Наряду с поисковой оптимизацией на странице, они включают в себя несколько основных факторов SEO, которые помогают сайту ранжироваться.

Оптимизация внешних факторов ранжирования включает в себя улучшение восприятия поисковыми системами и пользователями популярности, релевантности, надежности и авторитетности сайта. Это достигается за счет других авторитетных мест в Интернете (страниц, сайтов, людей и т. д.).

Внешняя SEO-оптимизация заключается в:

- регистрации в каталогах;
- публикации содержательных комментариев на форумах и в блогах;
- размещении пресс-релизов;
- обмене ссылками;
- ведении активных профилей в социальных сетях.

Внутренние ссылки (ссылки в содержимом веб-сайта, ведущие с одной страницы на другую) являются жизненно важным элементом процесса SEO. Они помогают сканировать веб-сайт и получать доступ к страницам, создавать цифровые отпечатки, улучшать пользовательский опыт и повышать рейтинг.

Все ссылки ведут на внутренние разделы самого веб-сайта, а обязательный текст носит описательный характер. Клиенты точно знают, куда они идут, поисковые системы могут использовать ссылку и текст привязки, чтобы понять содержание страницы, а владелец сайта выигрывает от более высокого рейтинга.

Определяющим фактором в ранжировании сайта считается входящая ссылка — это ссылка, которая перенаправляет пользователя на веб-сайт с другого веб-сайта. Поисковые системы больше верят тому, что говорят о вас другие, чем тому, что вы говорите о себе сами, и мерой измерения служат входящие ссылки, являясь голосами доверия и популярности — чем их больше у сайта, тем больше авторитета и доверия он получит. А значит, ссылки на такой веб-сайт удостоятся более высокого рейтинга в результатах поиска.

Необходимо поддерживать каждый созданный контент с помощью кнопок обмена в социальных сетях. Они облегчают бесплатную рекламу веб-сайта, увеличивают цифровое присутствие и повышают узнаваемость бренда среди клиентов. Кнопки «Поделиться» в Twitter, Facebook и LinkedIn должны быть удобно расположены по всему сайту, чтобы клиенты могли быстро и легко делиться контентом в своих сетях. Алгоритмы уделяют все больше внимания популярности как фактору ранжирования, который помогает им отличать качественный контент от плохого.

Все ссылки ведут на внутренние разделы самого веб-сайта, а обязательный текст носит описательный характер. Клиенты точно знают, куда они идут, поисковые системы могут использовать ссылку и текст привязки, чтобы понять содержание страницы, а владелец сайта выигрывает от более высокого рейтинга.

Определяющим фактором в ранжировании сайта считается входящая ссылка — это ссылка, которая перенаправляет пользователя на веб-сайт с другого веб-сайта. Поисковые системы больше верят тому, что говорят о вас другие, чем тому, что вы говорите о себе сами, и мерой измерения служат входящие ссылки, являясь голосами доверия и популярности — чем их больше у сайта, тем больше авторитета и доверия он получит. А значит, ссылки на такой веб-сайт удостоятся более высокого рейтинга в результатах поиска.

Необходимо поддерживать каждый созданный контент с помощью кнопок обмена в социальных сетях. Они облег-

чают бесплатную рекламу веб-сайта, увеличивают цифровое присутствие и повышают узнаваемость бренда среди клиентов. Кнопки «Поделиться» в Twitter, Facebook и LinkedIn должны быть удобно расположены по всему сайту, чтобы клиенты могли быстро и легко делиться контентом в своих сетях. Алгоритмы уделяют все больше внимания популярности как фактору ранжирования, который помогает им отличать качественный контент от плохого.

На рисунке 2 наглядно показана разница между внешней и внутренней оптимизацией.

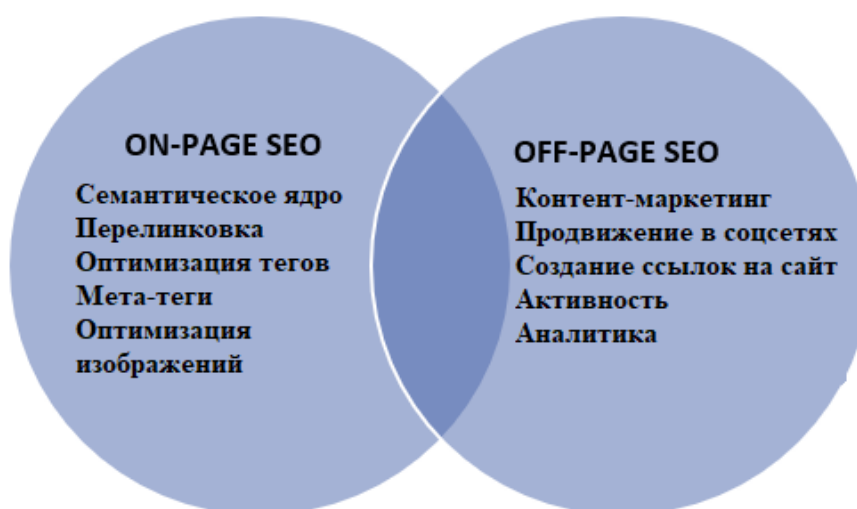


Рис. 2. Поисковая оптимизация на странице и вне страницы

#### АНАЛИЗ САЙТА

Важно быть в курсе объема трафика, поступающего на сайт: откуда он поступает, что там делают пользователи, какие ключевые слова или контент привлекают их, а также какие страницы стимулируют или вытесняют конверсии. Существует множество аналитических инструментов, таких как Moz и HubSpot, но Google Analytics, безусловно, самый уважаемый. Он бесплатный, содержит огромное разнообразие высокодетализированных данных и прост в усвоении.

Подводя итог, необходимо ответить на следующие вопросы, чтобы улучшить поисковую оптимизацию и понять клиентов:

1. Могу ли я найти веб-сайт? Насколько это заметно?
2. Какую позицию занимает сайт в результатах поиска?
3. Завершена ли техническая оптимизация страницы?
4. Сколько веб-страниц проиндексировано?
5. Какой трафик поступает от общих ключевых слов, а какой — от целевых ключевых слов?
6. Сколько конверсий происходит по каждому ключевому слову?

На обычной странице панели мониторинга в Google Analytics отслеживание целей и событий является одной из наиболее важных функций. Следует убедиться, что они включены, так как это инструменты, позволяющие видеть, откуда поступает трафик, а также уровень конверсии.

События различаются по степени вовлеченности пользователей, например: просмотр видео, загрузка документов, обмен информацией в социальных сетях и тому подобное. Цели — это такие действия, как подписка на рассылку новостей, отправка веб-форм, совершение покупок и т. д. [10].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

SEO-оптимизация — это одна из технологий интернет-маркетинга. Статистика показывает, что в современном интернет-пространстве неэффективно использовать только поисковую оптимизацию. Поскольку требования и критерии оценки веб-ресурсов постоянно совершенствуются и усложняются как поисковыми системами, так и пользователями, необходимо использовать комплексные меры по продвижению сайта. Более того, сегодня поисковая оптимизация переживает количественный кризис, вызванный высокой конкуренцией в сфере интернет-продвижения. По мнению экспертов, выйти из этого кризиса можно при комплексном подходе к продвижению сайта.

Можно сделать вывод, что SEO-оптимизация — это эффективная технология продвижения сайта в Интернете, необходимая не только для увеличения позиций в результатах поиска поисковых систем, но и для формирования положительного имиджа веб-ресурса (а также организации, которую он представляет в Интернете) с использованием незапрещенных методов оптимизации. Веб-ресурсы,

имеющие хорошую репутацию, являются уважаемыми и предпочтительными по сравнению с другими сайтами. Тем не менее в современных условиях развития Глобальной сети и рынка интернет-продвижения для достижения наибольшей эффективности SEO-оптимизация должна применяться в комплексе с другими инструментами интернет-маркетинга. Комплексный подход к продвижению гарантирует достижение ожидаемых результатов и сохранение стабильных позиций в долгосрочной перспективе [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dalvi, A. Inspecting Engineering College Websites for Effective Search Engine Optimization / A. Dalvi, R. Saraf // ICNTE-2019: Proceedings of the International Conference on Nascent Technologies in Engineering (Navi Mumbai, India, 04–05 January 2019). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. — 5 p. DOI: 10.1109/ICNTE44896.2019.8945823.

2. SEMBOOK. Энциклопедия поискового продвижения Ingate / Авт. колл. под рук. Н. Нееловой. — 2-е изд. — Москва: ИП Андросов, 2017. — 541 с.

3. Мейерсон, М. Основы интернет-маркетинга. Все, что нужно знать, чтобы открыть свой магазин в интернете = Mastering online marketing / М. Мейерсон, М. Скарборо; пер. с англ. О. В. Терентьевой. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2014. — 315 с.

4. Маннинг, К. Д. Введение в информационный поиск = Introduction to Informational Retrieval / К. Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце; пер. с англ. Д. А. Ключина. — Москва: Вильямс, 2014. — 528 с.

5. Quality Analysis of an Educational Website in Terms of Search Engine Optimization (SEO) Analysis Subject: The Website of the Faculty of Electrical Engineering (www.electro.pub.ro) / C. G. Fartinescu, M. O. Popescu, C. L. Popescu, A.-S. Deaconu // ATEE-2015: Proceedings of the 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (Bucharest, Romania, 07–09 May 2015). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. — Pp. 725–728. DOI: 10.1109/ATEE.2015.7133900.

6. Krrabaj, S. Investigating Search Engine Optimization Techniques for Effective Ranking: A Case Study of an Educational Site / S. Krrabaj, F. Baxhaku, D. Sadrijaj // MECO-2017: Proceedings of the 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (Bar, Montenegro, 11–15 June 2017). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. — 4 p. DOI: 10.1109/MECO.2017.7977137.

7. Nagpal, M. Keyword selection strategies in search engine optimization: how relevant is relevance? / M. Nagpal, J. A. Petersen // Journal of Retailing. 2021. Vol. 97, Is. 4. Pp. 746–763. DOI: 10.1016/j.jretai.2020.12.002.

8. Improving Search Engine Optimization (SEO) by Using Hybrid Modified MCDM Models / H.-J. Tsuei, W.-H. Tsai, F.-T. Pan, G.-H. Tzeng // Artificial Intelligence Review. 2020. Vol. 53, Is. 1. Pp. 1–16. DOI: 10.1007/s10462-018-9644-0.

9. Vyas, C. Evaluating State Tourism Websites Using Search Engine Optimization Tools // Tourism Management. 2019. Vol. 73. Pp. 64–70. DOI: 10.1016/j.tourman.2019.01.019.

10. Кураков, А. Эффективное продвижение сайтов. Реальное SEO / А. Кураков, М. Райцин. — 4-е изд. — 2014. — 172 с.

# SEO Optimization as a Key Tool for Promoting a Company's Brand and Products: Research Methods

D. K. Kospay, PhD L. M. Alimzhanova  
International Information Technology University  
Almaty, Kazakhstan  
33108@iitu.edu.kz

**Abstract.** The task and purpose of search engines are considered, as well as the methods used in promoting a web resource to attract website traffic, as well as further promotion of the company's products and brands in order to increase the profitability of the company. Optimization can be external and internal. Improving a site for the sake of improving its search positions refers to internal optimization. This includes improving the structure and usability, and the selection of keywords for promotion, and the elimination of technical problems. SEO optimization methods come in three classes, which differ in color and the degree of prohibition by web browsers. Black optimization implies gross violations of the rules of search engines, such as the use of hidden text, cloaking and fake links, and gray optimization includes not officially prohibited, but unnatural-looking methods of increasing relevance, such as adding keywords to the detriment of the quality of the text and including a key query in metatags.

**Keywords:** SEO optimization, search engine optimization, browser, keywords, links, website, promotion, traffic.

## REFERENCES

1. Dalvi A., Saraf S. Inspecting Engineering College Websites for Effective Search Engine Optimization, *ICNTE-2019: Proceedings of the International Conference on Nascent Technologies in Engineering, Navi Mumbai, India, January 04–05, 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, 5 p. DOI: 10.1109/ICNTE44896.2019.8945823.
2. Neelova N, et al. SEMBOOK. Encyclopedia of search engine promotion Ingate [SEMBOOK. Entsiklopediya poiskovogo prodvizheniya Ingate]. Moscow: Androsov Publishing House, 2017, 541 p.
3. Meyerson M., Scarborough M. Mastering online marketing [Osnovy internet-marketinga. Vse, chto nuzhno znat, chtoby otkryt svoy magazin v internete]. Moscow, MIF Publishing House, 2014, 315 p.
4. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Informational Retrieval [Vvedenie v informatsionnyy poisk]. Moscow, Williams Publishing House, 2014, 528 p.
5. Fartinescu C. G., Popescu M. O., Popescu C. L., Deaconu A.-S. Quality Analysis of an Educational Website in Terms of Search Engine Optimization (SEO) Analysis Subject: The Website of the Faculty of Electrical Engineering (www.electro.pub.ro), *ATEE-2015: Proceedings of the 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, Bucharest, Romania, May 07–09, 2015*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, Pp. 725–728. DOI: 10.1109/ATEE.2015.7133900.
6. Krrabaj S., Baxhaku F., Sadrijaj D. Investigating Search Engine Optimization Techniques for Effective Ranking: A Case Study of an Educational Site, *MECO-2017: Proceedings of the 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing, Bar, Montenegro, June 11–15, 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, 4 p. DOI: 10.1109/MECO.2017.7977137.
7. Nagpal M., Petersen J. A. Keyword selection strategies in search engine optimization: how relevant is relevance? *Journal of Retailing*, 2021, Vol. 97, Is. 4, Pp. 746–763. DOI: 10.1016/j.jretai.2020.12.002.
8. Tsuei H.-J., Tsai W.-H., Pan F.-T., Tzeng G.-H. Improving Search Engine Optimization (SEO) by Using Hybrid Modified MCDM Models, *Artificial Intelligence Review*, 2020, Vol. 53, Is. 1, Pp. 1–16. DOI: 10.1007/s10462-018-9644-0.
9. Vyas C. Evaluating State Tourism Websites Using Search Engine Optimization Tools, *Tourism Management*, 2019, Vol. 73, Pp. 64–70. DOI: 10.1016/j.tourman.2019.01.019.
10. Kurakov A., Raytsin M. Effective website promotion. Real SEO [Effektivnoe prodvizhenie saytov. Realnoe SEO], 2014, 172 p.

# Система управления температурой и влажностью хлебопекарной печи

Л. С. Исабекова  
Казахский национальный университет  
имени аль-Фараби  
Алматы, Казахстан  
issabekova.lyazzat@inbox.ru

д.т.н. И. Т. Утепбергенов, PhD Ш. Д. Тойбаева  
Алматинский университет энергетики и связи  
имени Гумарбека Даукеева  
Алматы, Казахстан  
i.utepbergenov@aes.kz, sh.toibaeva@aes.kz

**Аннотация.** Представлена автоматическая система для выпечки хлеба на производстве. Рассматриваются задачи автоматизированного управления процессом выпечки хлеба. В качестве примера рассмотрена конвекционная печь. Цель состоит в том, чтобы использовать методы для контроля стадии выпечки хлеба, температуры и влажности с использованием алгоритма нечеткой логики. Системные процессы сначала получают значение, сравниваемое с заданными, после этого сумматор сообщает о разнице между влажностью и температурой, установленными датчиком, и передает данные в блок fuzzy logic. Нечеткая логика принимает решение в соответствии с базовой логикой.

**Ключевые слова:** автоматизированное управление, хлебопекарная печь, выпечка хлеба, интеллектуальная система, нечеткая модель, база правил, искусственный интеллект, функция принадлежности, входные данные, выходные данные, нагревательный элемент, пароувлажнитель, экспертные данные, теплообмен.

## АНАЛИЗ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Данная исследовательская работа посвящена разработке интеллектуальной технологии автоматизации хлебопекарного производства в Казахстане. В последнее время наблюдается большой интерес к применению наиболее важных разделов в области автоматизации и управления. Этому направлению были посвящены работы Тихонова В. Я., Бирка В. Ф., Аракелова В. Н., Заде Л., Тохтабаева Г. М., Кошимбаева Ш. К., Сулейменова Б. А., Утепбергенова И. Т., Ширяевой О. И., Дуйсембаева А. Е., Тойбаевой Ш. Д., Джомартаева Ш. А. и многих других ученых. Анализ предыдущих научных исследований по автоматизации показал, что среди большого количества работ наиболее близкими являются работы ученых: по нелинейным системам автоматического управления — Бедельбаева А. К. [1], по устойчивости регулируемых систем — Айсағалиева С. А. [2], по исследованию проблем искусственного интеллекта — Лотфи Заде [3], Утепбергенова И. Т. [4], Ширяевой О. И. [5], Тойбаевой Ш. Д. [6], по управлению технологическими процессами — Мутанова Г. М. [7].

Хлебопекарная промышленность является одной из важнейших стратегических отраслей пищевой промышленности Казахстана.

В настоящее время большинство пекарных печей, используемых на хлебопекарных предприятиях, устарели и работают с низкой эффективностью. Включение инновационных технологий и оборудования способствует улучшению условий труда, повышает эффективность и продуктивность производства, повышает конкуренто-

способность на мировом рынке, увеличивает прибыль, увеличивает инвестиции, открывает и завоевывает новые рынки. Без использования новых технологий и современной техники многие хлебопекарные предприятия постепенно станут неконкурентоспособными даже на внутреннем рынке.

Во время пандемии мы все убедились в актуальности внедрения технологий Индустрии 4.0, с помощью этих технологий многие предприятия могли работать на производстве с минимальным участием человека, обеспечивали удаленную связь и могли организовывать процессы [8].

В настоящее время во всем мире начался следующий этап — Industry 5.0, который рассматривается как следующая промышленная эволюция, сигнализирующая о глобальных промышленных преобразованиях [9, 10]. В нем освещаются аспекты, которые станут решающими факторами при размещении промышленности в регионах мира. Современная обрабатывающая промышленность в настоящее время переживает стремительную трансформацию в связи с появлением быстрорастущих цифровых технологий и решений, основанных на искусственном интеллекте (ИИ) [11, 12]. Таким образом, в Индустрии 5.0 будет сформирована новая модель человеко-машинного интерфейса, что, в свою очередь, приведет к интеллектуальной цифровизации производственных и экономических систем на более высоком, чем в Индустрии 4.0, уровне. Казахстан активно работает над развитием индустриально-инновационного развития. С этой целью в республике запущены новые программы — Государственная программа «Цифровой Казахстан» и Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы [13].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является создание нечеткого микроконтроллера для определения времени выпечки хлеба с использованием входных и выходных параметров. Микроконтроллер обеспечит: выбор необходимого режима, нагрев камеры до нужной температуры, оптимальную влажность, расход воды и электроэнергии, подходящую стадию для выпечки. Постоянно контролируя процесс выпечки, интеллектуальная система при необходимости вовремя внесет необходимые коррективы. Подходящим методом решения для управления техническими объектами является метод искусственного интеллекта. Существует много различных классификаций интеллектуальных систем, среди них можно выделить следующие типы с различными методологическими подходами [14–17]:

1. Экспертные системы (системы логического вывода).
2. Нейронные сети.
3. Нечеткая логика.
4. Генетические алгоритмы.

Экспертная система — это программа, в определенных отношениях способная заменить эксперта или группу экспертов в определенной предметной области.

Недостатки:

- не гарантирует оптимальности полученного решения;
- исходные данные могут быть неточными или неполными;
- большое количество вычислений;
- относительно высокая вычислительная сложность;
- относительно низкая эффективность на заключительных этапах моделирования.

Нейронные сети — это математическая модель, построенная по образу и подобию биологических нейронных сетей. Недостатки:

- не гарантирует оптимальности полученного результата;
- исходные данные в задаче могут динамически меняться, быть неточными или неполными;
- большое количество вычислений;
- относительно высокая вычислительная сложность;
- относительно низкая эффективность на заключительных этапах моделирования.

Нечеткая логика — это набор нестрогих правил, для достижения цели могут быть использованы радикальные идеи, интуитивные догадки, а также опыт специалистов, накопленный в соответствующей области. Недостатки:

- отсутствие нормы методологии проектирования;
- неприемлемость математического анализа;
- использование нечеткой логики не приводит к повышению точности вычислений.

Генетические алгоритмы используются для решения задач оптимизации на основе механизмов, сходных с естественным отбором в природе (эвристические алгоритмы), которые основаны на аналогичных механизмах.

Недостатки:

- трудно найти точный глобальный оптимум;
- в случае оптимизации функции, требующей много времени для вычисления, применять ее неэффективно;
- сложность моделирования;
- невозможно найти оптимальное кодирование параметров для всех назначенных задач;
- нет гарантии получения оптимального решения;
- только специалист может эффективно сформулировать задачу, определить критерии отбора хромосом (задать код) и другие параметры;
- формулировка задачи не дает возможности проанализировать статистическую значимость полученного с их помощью решения;
- достаточно высокая ресурсоемкость вычислений;
- проблема самоадаптации.

Анализируя исследования ученых в научном направлении управления выпечкой хлеба, был выбран метод, основанный на нечеткой логике. Системы нечеткой логики уникальны тем, что им фактически не требуются точные математические модели для выполнения своих функций. Они

обладают собственным потенциалом для решения довольно сложных задач, и решают их быстро. Используя этот метод управления, можно решить следующие задачи:

- создание многорежимной модели контроля температуры для процесса выпечки;
- учет внешних возмущений, таких как отклонение температуры от установленных значений, изменение влажности окружающей среды;
- учет экспертных знаний, наблюдений оператора, качественной информации об объекте управления и среде его функционирования;
- изменение параметров процесса выпечки, таких как изменение температуры в печи и влажности тестовых заготовок;

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ И ВЛАЖНОСТЬЮ В КАМЕРЕ

На рисунке 1 приведена структура нечеткой системы контроля температуры и влажности.

Из камеры печи (1) значения температуры и влажности, полученные сумматорами (9, 10), сравниваются с установленными значениями и передаются в блок нечеткой логики (8). Блок нечеткой логики передает данные в блок памяти (12), и клавиша выбора в соответствии с принятыми данными:

- 1) увеличивает мощность электрического нагревателя (3);
- 2) снижает мощность электрического нагревателя;
- 3) включает или выключает увлажнитель воздуха (2).

Нечеткое моделирование в среде MATLAB выполняется с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, который реализует десятки функций нечеткой логики и нечеткого вывода. Пакет Fuzzy Logic Toolbox поддерживает все этапы разработки нечетких систем, включая синтез, исследование, проектирование, моделирование и реализацию в режиме реального времени.

Выпечка хлеба — сложный и нестабильный процесс, при котором состав, структура и физические свойства меняются в пекарной камере [18].

Использование принудительного теплообмена между теплоносителем и хлебом при увлажнении воздуха внутри пекарной камеры позволяет перераспределять тепловые потоки и обеспечивать равномерное распределение температуры по всей рабочей зоне пекарной камеры [19, 20]. Обеспечение необходимой влажности внутри пекарной камеры осуществляется за счет подачи пара из парового увлажнителя. Выпечка хлебных заготовок состоит из трех основных этапов: увлажнения, обжаривания и выпечки [21].

В таблице 1 приведены технологические характеристики процесса выпечки с учетом этапов, влажности и температуры.

Таблица 1

Этапы выпечки хлеба

Допустимый предел	Стадия 1. Увлажнение	Стадия 2. Обжаривание	Стадия 3. Выпекание
Время, мин.	2–3	3	33
Влажность в духовке, %	70–85	5–10	14–16
Температура, °C	110–120	240–250	150–180

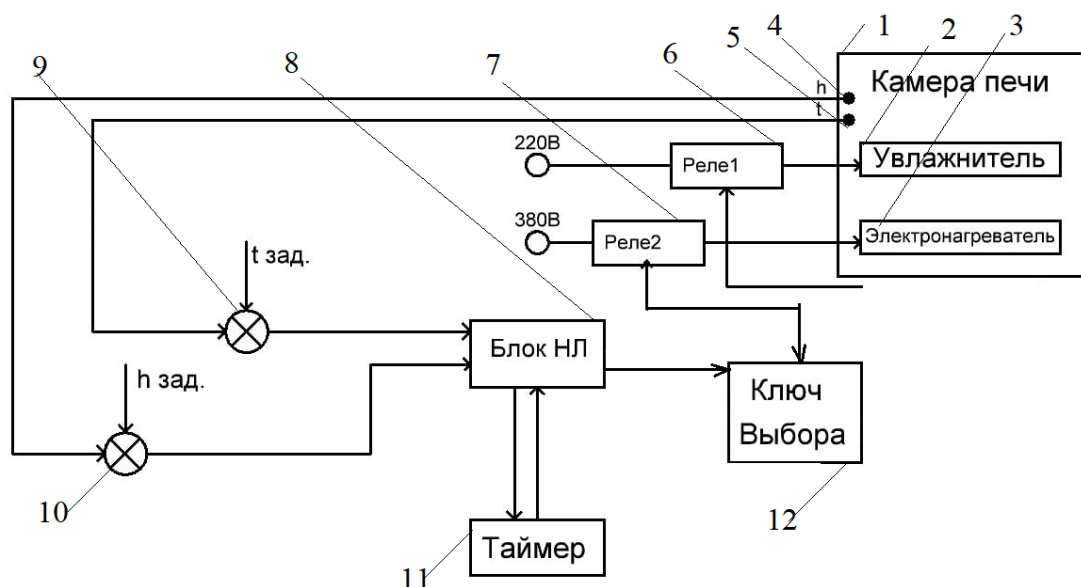


Рис. 1. Структура нечеткой системы контроля температуры и влажности

1 — камера печи; 2 — увлажнитель; 3 — электронагреватель; 4 — датчик влажности; 5 — датчик температуры; 6, 7 — реле; 8 — блок нечеткой логики; 9, 10 — сумматоры; 11 — таймер; 12 — ключ выбора

Концепция нечеткого вывода занимает особое место в нечеткой логике. Наиболее распространены следующие типы нечеткого вывода: Такаги — Сугено (Takagi — Sugeno), Ларсена (Larsen), Цукамото (Tsukamoto) и Мамдани (Mamdani) [22]. Алгоритмы Мамдани и Такаги — Сугено нашли самое широкое применение при разработке нечетких систем.

В работе Абалдовой С. Ю. [23] приведено сравнение нечетких моделей.

Модель Мамдани может быть определена следующим образом:

1. Определение структуры системы нечеткого вывода.
2. Формирование базы правил системы нечеткого вывода.
3. Фаззификация входных переменных
4. Вычисление значений степеней принадлежности подусловий правил нечетких порождений.
5. Агрегирование подусловий нечетких производственных правил.
6. Активация дополнительных выводов нечетких производственных правил.
7. Накопление выводов из правил нечетких порождений.
8. Дефаззификация выходных переменных.

Основное отличие модели Такаги — Сугено от модели Мамдани заключается в задании значений входных переменных различными способами, которые формируют базу знаний: в алгоритме Мамдани значения входных переменных задаются в терминах, а в алгоритме Такаги — Сугено — линейной комбинацией входных переменных.

На основе проведенного анализа предлагается применить алгоритм Мамдани в качестве основного метода нечеткого вывода для построения оптимальной модели интеллектуального управления.

Для создания нечеткой модели Мамдани необходимо получить результаты из трех входных данных и двух

выходных данных системы. Для разработки модели регулирования температуры необходимо: задать параметры нечеткой модели регулирования температуры в камере; сформировать базу правил; задать и построить функцию принадлежности; вывести решение [24]. Интерфейс алгоритма показан на рисунке 2.

Для управления выпечкой в пекарной камере были определены 3 входных нечетких изменения:

- температура камеры;
- влажность камеры;
- стадии выпечки хлеба (увлажнение, обжаривание, выпекание).

Набор выходных лингвистических переменных определим двумя элементами:

- регулирование потребляемой мощности нагревательного элемента пекарной печи;
- включение и выключение парового увлажнителя.

На основе качественных характеристик, сформулированных экспертами, можно установить базу правил, описывающих работу объекта управления (ОУ), «если..., то...»: предполагается использовать информацию об ОУ, его текущем состоянии в условии правила, из заключения выводится управляющий сигнал, приводящий ОУ в желаемое состояние. Например: Правило 1. Если на втором этапе температура в пекарной камере средняя и влажность низкая, то мощность нагревательного элемента средняя и включается паровой увлажнитель. На основании экспертных оценок по регулированию температуры и влажности в пекарной камере было сформулировано двадцать семь первоначальных правил управления [25].

Для каждой лингвистической переменной определим термин и функции принадлежности. В результате вычислений в программе MATLAB получена следующая таблица зависимости выходной переменной от входных переменных (рис. 3).



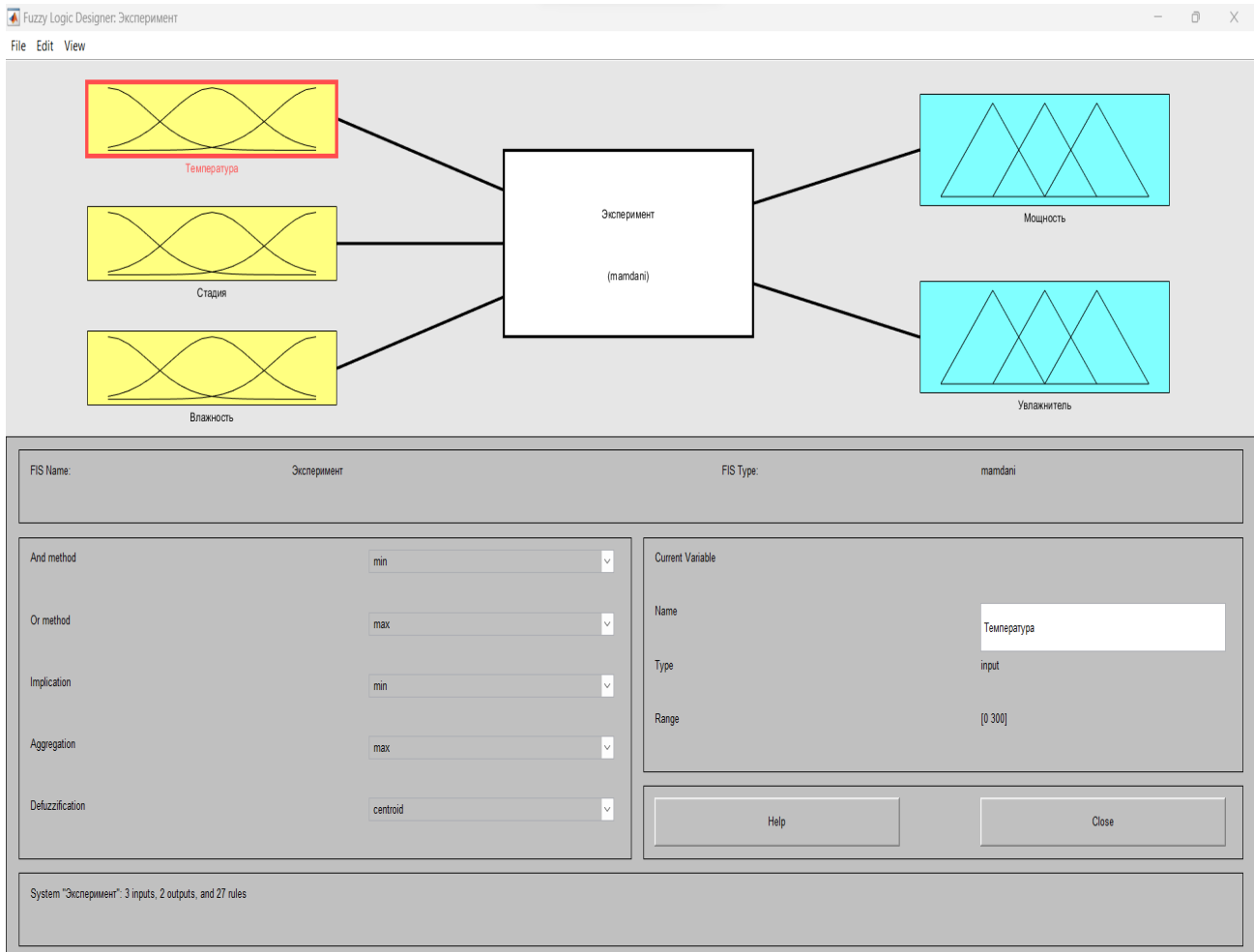


Рис. 2. Интерфейс алгоритма нечеткого управления MATLAB

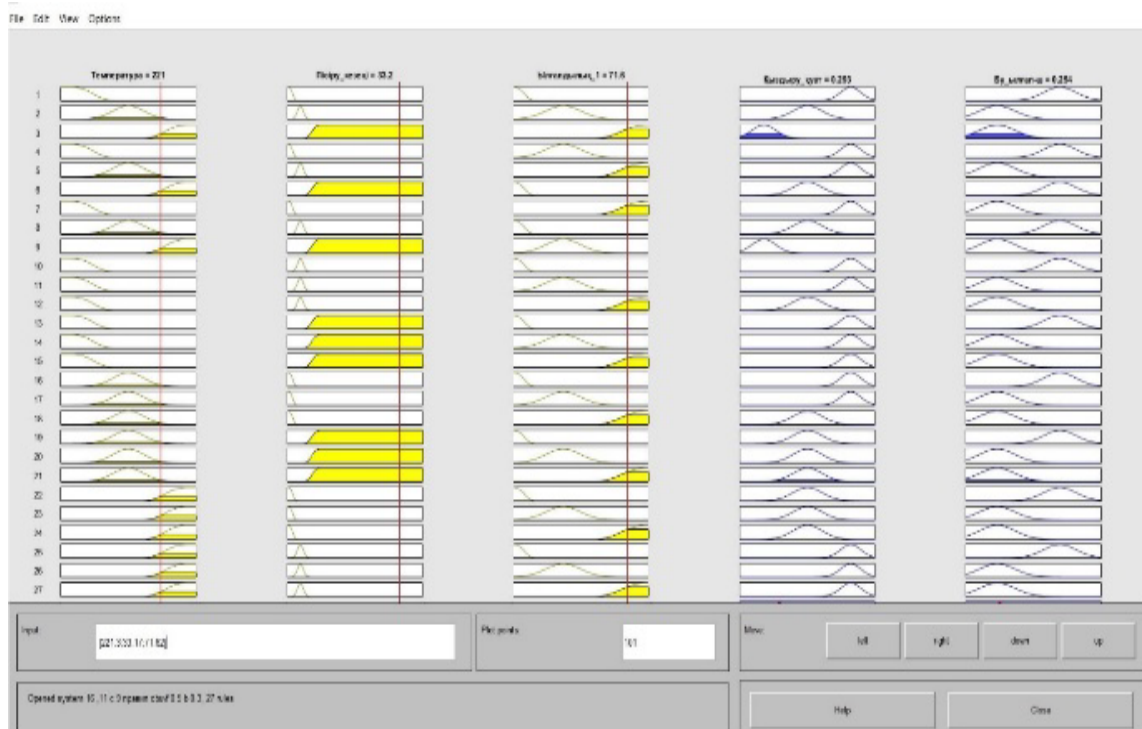


Рис. 3. Зависимость выходной переменной от входных переменных

В таблице 2 приведены результаты тестирования модели. Поскольку относительная погрешность не превышает 5%, можно сделать вывод, что разработанные базы правил адекватны.

Алгоритм функционирования нечеткого регулятора представлен в виде правил, на основе которых в

программном комплексе регулируется технологический параметр системы управления. Для корректного функционирования нечеткого регулятора, основанного на данных условий изменения температуры и влажности в камере, была составлена база правил, на основании которых будет регулироваться технологический процесс (рис. 4).

Таблица 2

Результаты тестирования уровня модели нечеткого вывода

№	Стадия	Температура, °С	Влажность, %	Мощность, Вт	δ, %	Паровой увлажнитель	δ, %
1	1	136,0	81,3	0,752	0,752	0,255	0,255
2	1	121,0	71,3	0,812	0,812	0,247	0,247
3	1	59,8	38,7	0,774	0,774	0,253	0,253
4	1	91,4	22,0	0,617	0,617	0,260	0,260
5	1	118,0	35,5	0,507	0,507	0,253	0,253
6	1	102,0	37,0	0,522	0,522	0,275	0,275
7	1	81,0	62,0	0,657	0,657	0,252	0,252
8	1	25,9	79,6	0,503	0,503	0,241	0,241
9	1	114,0	39,6	0,512	0,512	0,243	0,243
10	2	233,0	16,8	0,753	0,753	0,245	0,245
11	2	265,0	23,2	0,815	0,815	0,243	0,243
12	2	222,0	32,0	0,725	0,725	0,243	0,243
13	2	247,0	47,3	0,788	0,788	0,246	0,246
14	2	57,5	16,8	0,781	0,781	0,245	0,245
15	2	270,0	75,8	0,184	0,184	0,241	0,241
16	2	275,0	23,0	0,701	0,701	0,260	0,260
17	2	245,0	24,4	0,792	0,792	0,243	0,243
18	2	224,0	30,8	0,733	0,733	0,243	0,243
19	3	177,0	18,1	0,502	0,502	0,244	0,244
20	3	109,0	37,1	0,523	0,523	0,243	0,243
21	3	170,0	16,8	0,502	0,502	0,245	0,245
22	3	89,1	59,9	0,625	0,625	0,257	0,257
23	3	145,0	21,9	0,502	0,502	0,242	0,242
24	3	202,0	14,3	0,502	0,502	0,248	0,248
25	3	155,0	55,5	0,502	0,502	0,262	0,262
26	3	258,0	33,0	0,188	0,188	0,241	0,241
27	3	98,1	75,8	0,572	0,572	0,246	0,246

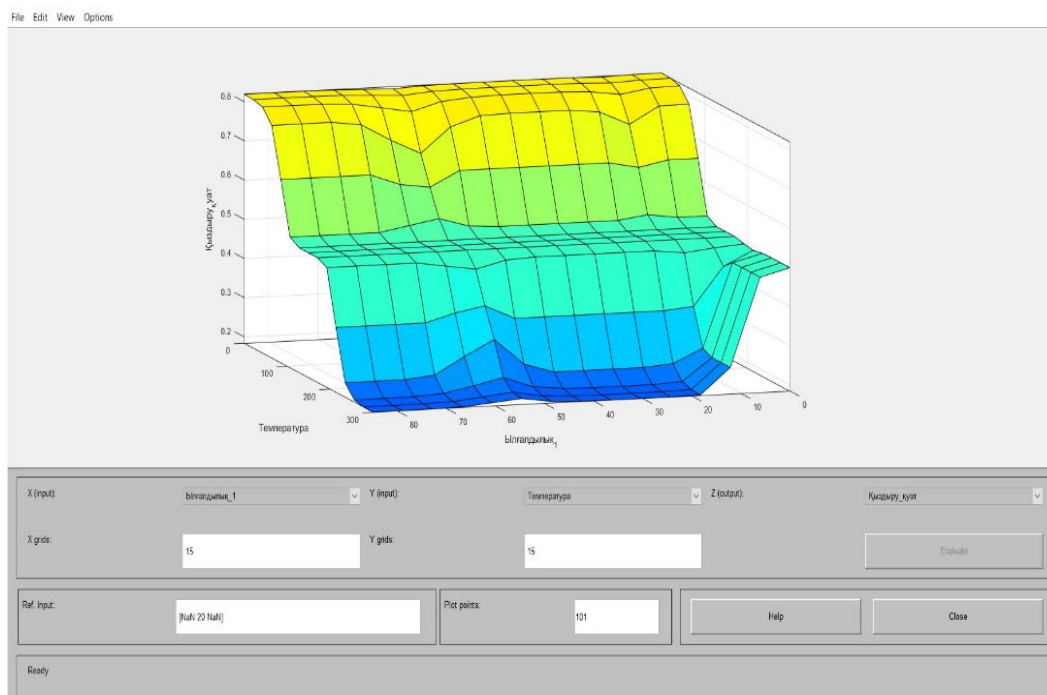


Рис. 4. Окно «Просмотр поверхности нечеткой модели» в MATLAB

Согласно рисунку 4, анализ показал, что полученная система управления способна работать вполне удовлетворительно. Также, используя пункт меню «Просмотр правил», можно проверить адекватность сгенерированной модели.

Отметим результаты завершеного исследования:

1. На основе пакета Fuzzy Logic Toolbox вычислительной системы MATLAB разработана нечеткая модель с использованием алгоритма Мамдани.
2. Рассмотрены основные принципы теории нечеткого моделирования.
3. Проанализированы методы интеллектуальных систем управления технологическими процессами на современных предприятиях.
4. Исследованы понятия теории нечетких множеств.
5. Проанализировано использование преимуществ нечеткой логики в отрасли.
6. Исследованы алгоритмы анализа процессов промышленных систем посредством нечеткого логического вывода.
7. Построена нечеткая модель для оценки качества передачи данных с использованием алгоритма Мамдани.

#### Выводы

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что использование нечеткой логики в системах автоматического управления позволяет контролировать температуру и влажность на этапах выпечки хлеба. Предложенный в работе нечеткий контроллер может управлять мощностью нагревателя в трех положениях, уровнем влажности на трех уровнях и стадией выпечки в 3 этапа. Согласно данным, полученным от термостата, работа нагревателя и увлажнителя корректируется нечетким контроллером. Условия выходных параметров увлажнителя построены во включенном и выключенном состояниях, то есть 0 % и 100 %. В будущем планируется

внедрить SCADA-моделирование в систему управления с нечеткой логикой. Модель SCADA может позволить оператору или диспетчеру удаленно контролировать процесс. С помощью этой системы можно осуществлять сбор данных и оперативное диспетчерское управление, то есть отслеживать и принимать решения на основе технологических ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бедельбаев, А. К. Устойчивость нелинейных систем автоматического регулирования. — Алма-Ата [Алматы]: Изд-во Академии наук Казахской ССР, 1960. — 163 с.
2. Айсағалиев, С. А. К задаче определения области абсолютной устойчивости регулируемых систем / С. А. Айсағалиев, Д. Г. Шаназаров // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2007. № 4 (7). С. 9–24.
3. Zadeh, L. A. Fuzzy Sets // Information and Control. 1965. Vol. 8, No. 3. Pp. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
4. Утепбергенов, И. Т. Анализ методов обнаружения аномалий в данных для использования в задачах аналитики и управления теплоснабжением города / И. Т. Утепбергенов, А. М. Сейтбекова // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2022. № 3 (58). С. 16–31. DOI: 10.51775/2790-0886\_2022\_58\_3\_16.
5. Ширяева, О. И. Разработка Smart-системы управления объектами нефтегазовой отрасли на современном оборудовании промышленной автоматизации / О. И. Ширяева, Т. И. Самигулин // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVII Международной научно-методической конференции (Воронеж, Россия, 09–10 февраля 2017 г.): в 5 т. — Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2017. — Т. 2. — С. 528–533.
6. Анализ разработанных алгоритмов прогнозирования временного ряда на основе методов нечеткой логики / Ш. А. Мизаркулова, Г. М. Юсупова, А. Ж. Исакова, [и др.] //

Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции (Сочи, Россия, 01–10 октября 2020 г.). — Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2020. — С. 136–141.

7. Сулейменов, Б. А. Управление технологическими процессами в цветной металлургии / Б. А. Сулейменов, Г. М. Мутанов. — 2-е изд. — Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2012. — 280 с.

8. Borowski, P. F. Innovative Processes in Managing an Enterprise from the Energy and Food Sector in the Era of Industry 4.0 // *Processes*. 2021. Vol. 9, Is. 2. Art. No. 381. 17 p. DOI: 10.3390/pr9020381.

9. Internet of Nonthermal Food Processing Technologies (IoNTP): Food Industry 4.0 and Sustainability / A. Režek Jambrak, M. Nutrizio, I. Djekić, [et al.] // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Is. 2. Art. No. 686. 20 p. DOI: 10.3390/app11020686.

10. Елисеева, Е. Аффилированный центр четвертой промышленной революции ВЭФ открыли в Казахстане // *Казахстанская правда*. — 2021. — 02 июля. URL: <http://kazpravda.kz/n/affilirovannyu-tsentr-chetvertoy-promyshlennoy-revolyuutsii-vef-otkryli-v-kazahstane> (дата обращения 25.03.2023).

11. Справедливое государство. Единая нация. Благополучное общество: Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана // *Официальный сайт Президента Республики Казахстан*. URL: <http://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-181130> (дата обращения 25.03.2023).

12. Teaching Elementary Linear Algebra for Automatic Control Theory / W. Wang, L. Zhang, C. Jin, [et al.] // *Proceedings of the 2019 Chinese Control Conference (CCC) (Guangzhou, China, 27–30 July 2019)*. — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. — Pp. 8950–8953. DOI: 10.23919/ChiCC.2019.8865209.

13. Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы: Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1050.

14. Network Anomaly Detection System using Genetic Algorithm and Fuzzy Logic / A. H. Hamamoto, L. F. Carvalho, L. D. H. Sampaio, [et al.] // *Expert Systems with Applications*. 2018. Vol. 92. Pp. 390–402. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.09.013.

15. Huotari, R. Fuzzy Controller in a Bakery: Master's Thesis Degree in Industrial Engineering and Management. — Lappeenranta-Lahti University of Technology, 2020. — 73 p.

16. Dogan, A. Machine Learning and Data Mining in Manufacturing / A. Dogan, D. Birant // *Expert Systems with Applications*. 2021. Vol. 166. Art. No. 114060. 22 p. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114060.

17. Evaluation of Gamma Ray Effect on Wheat Bakery Properties in Omid, Roshan and Tabasai Cultivars by Artificial Neural Network / M. R. Rahemi, A. Yamchi, S. Navabpour, [et al.] // *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2020. Vol. 40, Is. 4. Pp. 119–127.

18. Sodium Chloride and Its Influence on the Aroma Profile of Yeasted Bread / M. C. E. Belz, C. Axel, J. Beauchamp, [et al.] // *Foods*. 2017. Vol. 6, Is. 8. Art. No. 66. DOI: 10.3390/foods6080066.

19. Thermal Flow Sensors for Harsh Environments / V. Balakrishnan, H.-P. Phan, T. Dihn, [et al.] // *Sensors*. 2017. Vol. 17, Is. 9. Art. No. 2061. DOI: 10.3390/s17092061.

20. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник для вузов. — 9-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Профессия, 2005. — 416 с. — (Специалист).

21. Васюкова, А. Т. Современные технологии хлебопечения: Учебно-практическое пособие / А. Т. Васюкова, В. Ф. Пучкова. — 3-е изд. — Москва: Дашков и К, 2011. — 224 с.

22. Зайченко, Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: Учебное пособие для студентов вузов. — Киев: Слово, 2008. — 352 с.

23. Абалдова, С. Ю. Разработка нечеткой экспертной системы оценки управления качеством машиностроительного предприятия / С. Ю. Абалдова, В. Ю. Волынский // *Инновационное развитие экономики России: ключевые проблемы и решения: Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования ИХТИ (Иваново, Россия, 28–30 октября 2010 г.)*. — Иваново: Ивановский гос. химико-технологический ун-т, 2010. — С. 225–227.

24. Баранова, Е. К. Методика анализа рисков информационной безопасности с использованием нечеткой логики на базе инструментария MATLAB / Е. К. Баранова, А. М. Гусев // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016. № 1 (13). С. 88–96. DOI: 10.21777/2500-2112-2016-1-88-96.

25. Intelligent Model for Controlling the Temperature and Humidity of the Baking Oven / I. T. Utepbergenov, M. F. Othman, Sh. D. Toibayeva, L. S. Issabekova // *Advanced Technologies and Computer Science*. 2021. No. 1. Pp. 34–40.

# Bakery Oven Temperature and Humidity Control System

L. S. Issabekova  
Al-Farabi Kazakh National University  
Almaty, Kazakhstan  
issabekova.lyazzat@inbox.ru

Grand PhD I. T. Utepbergenov, PhD Sh. D. Toibayeva  
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeev  
Almaty, Kazakhstan  
i.utepbergenov@aes.kz, sh.toibaeva@aes.kz

**Abstract.** This study presents an automatic system for baking bread in production. The article discusses the tasks of automated control of the bread baking process. A convection oven is considered as an example. The goal is to use methods to control the bread baking stage, temperature and humidity using a fuzzy logic algorithm. System processes first receive a value compared with the set values, after that the adder reports the difference between humidity and temperature set by the sensor and transmits the data to the fuzzy logic block. And fuzzy logic makes a decision according to the basic logic.

**Keywords:** automated control, bakery oven, bread baking, intelligent system, fuzzy model, rule base, artificial intelligence, accessory function, input data, output data, heating element, steam humidifier, expert data, heat exchange.

## REFERENCES

1. Bedelbaev A. K. Stability of nonlinear automatic control systems [Ustoychivost nelineynykh sistem avtomaticheskogo regulirovaniya]. Alma-Ata [Almaty], Publishing House of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1960, 163 p.

2. Aysagaliev S. A., Shanazarov D. G. To the Problem of Absolute Stability Determination of the Controlled Systems [K zadache opredeleniya oblasti absolyutnoy ustoychivosti reguliruemykh sistem], *Bulletin of Pacific National University [Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta]*, 2007, No. 4 (7), Pp. 9–24.

3. Zadeh L. A. Fuzzy Sets, *Information and Control*, 1965, Vol. 8, No. 3, Pp. 338–353.  
DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

4. Utepbergenov I. T., Seitbekova A. M. Analysis of Data Anomalie Detection Methods for Use in Analytics and Heat Supply Management of the City [Analiz metodov obnaruzheniya anomalii v dannykh dlya ispolzovaniya v zadachakh analitiki i upravleniya teplosnabzheniem goroda], *Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications [Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi]*, 2022, No. 3 (58), Pp. 16–31.  
DOI: 10.51775/2790-0886\_2022\_58\_3\_16.

5. Shiryaeva O. I., Samigulin T. I. Development of a Smart-System for Managing Oil and Gas Industry Facilities Using Modern Industrial Automation Equipment [Razrabotka Smart-sistemy upravleniya obektami neftegazovoy otrasli na sovremennom oborudovanii promyshlennoy avtomatizatsii], *Informatics: Problems, Methodology, Technologies: Proceedings of the XVII International Scientific and Methodological Conference [Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, Voronezh, Russia, February 09–10, 2017. Vol. 2. Voronezh: Research Publications, 2017, Pp. 528–533.

6. Mirzakulova Sh. A., Yussupova G. M., Iskakova A. J., et al. A Comparative Analysis of Time Series Forecasting Based on Fuzzy Logic Methods [Analiz razrabotannykh algoritmov prognozirovaniya vremennogo ryada na osnove metodov nechetkoy logiki], *Innovative, Information and Communication Technologies: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference [Innovatsionnye, informatsionnye i kommunikatsionnye tekhnologii: Sbornik trudov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Sochi, Russia, October 01–10, 2020. Moscow, Association of Graduates and Employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020, Pp. 136–141.

7. Suleimenov B. A., Mutanov G. M. Control of technological processes in non-ferrous metallurgy [Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami v tsvetnoy metallurgii]. Almaty, Al-Farabi Kazakh National University, 2012, 280 p.

8. Borowski P. F. Innovative Processes in Managing an Enterprise from the Energy and Food Sector in the Era of Industry 4.0, *Processes*, 2021, Vol. 9, Is. 2, Art. No. 381, 17 p. DOI: 10.3390/pr9020381.

9. Režek Jambrak A., Nutrizio M., Djekić I., et al. Internet of Nonthermal Food Processing Technologies (IoNTP): Food Industry 4.0 and Sustainability, *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11, Is. 2, Art. No. 686, 20 p. DOI: 10.3390/app11020686.

10. Eliseeva E. WEF Affiliated Center for the Fourth Industrial Revolution Opened in Kazakhstan [Affilirovannyi tsentr chetvertoy promyshlennoy revolyutsii VEF otkryli v Kazakhstane], *Kazakhstanskaya Pravda*. Published online at July 02, 2021. Available at: <http://kazpravda.kz/n/affilirovannyi-tsentr-chetvertoy-promyshlennoy-revoljutsii-vef-otkryli-v-kazahstane> (accessed 25 Mar 2023).

11. A Fair State. One Nation. Prosperous Society: President Kassym-Jomart Tokayev's State of the Nation Address [Spravedlivoe gosudarstvo. Edinaya natsiya. Blagopoluchnoe obshchestvo: Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazakhstana], *Official website of the President of the Republic of Kazakhstan [Ofitsialnyy sayt Prezidenta Respubliki Kazakhstan]*. Available at: <http://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-181130> (accessed 25 Mar 2023).

12. Wang W., Zhang L., Jin C., et al. Teaching Elementary Linear Algebra for Automatic Control Theory, *Proceedings of the 2019 Chinese Control Conference (CCC)*, Guangzhou, China, July 27–30, 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, Pp. 8950–8953.  
DOI: 10.23919/ChiCC.2019.8865209.

13. On Approval of the State Program for Industrial and Innovative Development of the Republic of Kazakhstan for 2020–

2025: Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan [Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy industrialno-innovatsionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2020–2025 gody: Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan] from December 31, 2019 No. 1050.

14. Hamamoto A. H., Carvalho L. F., Sampaio L. D. H., et al. Network Anomaly Detection System using Genetic Algorithm and Fuzzy Logic, *Expert Systems with Applications*, 2018, Vol. 92, Pp. 390–402. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.09.013.

15. Huotari R. Fuzzy Controller in a Bakery: Master's Thesis Degree in Industrial Engineering and Management. Lappeenranta-Lahti University of Technology, 2020, 73 p.

16. Dogan A., Birant D. Machine Learning and Data Mining in Manufacturing, *Expert Systems with Applications*, 2021, Vol. 166, Art. No. 114060, 22 p. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.114060.

17. Rahemi M. R., Yamchi A., Navabpour S., et al. Evaluation of Gamma Ray Effect on Wheat Bakery Properties in Omid, Roshan and Tabasai Cultivars by Artificial Neural Network, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2020, Vol. 40, Is. 4, Pp. 119–127.

18. Belz M. C. E., Axel C., Beauchamp J., et al. Sodium Chloride and Its Influence on the Aroma Profile of Yeasted Bread, *Foods*, 2017, Vol. 6, Is. 8, Art. No. 66. DOI: 10.3390/foods6080066.

19. Balakrishnan V., Phan H.-P., Dihn T., et al. Thermal Flow Sensors for Harsh Environments, *Sensors*, 2017, Vol. 17, Is. 9, Art. No. 2061. DOI: 10.3390/s17092061.

20. Auerman L. Ya. Technology of baking production: Textbook for universities [Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva: Uchebnik dlya vuzov]. Saint Petersburg, Professiya Publishing House, 2005, 416 p.

21. Vasyukova A. T., Puchkova V. F. Modern bakery technologies: Educational and practical guide [Sovremennye tekhnologii khlebopecheniya: Uchebno-prakticheskoe posobie]. Moscow, Dashkov and K. Publishing House, 2011, 224 p.

22. Zaychenko Yu. P. Fuzzy models and methods in intelligent systems: Study guide for universities [Nechetkie modeli i metody v intellektualnykh sistemakh: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov]. Kyiv, Slovo Publishing House, 2008, 352 p.

23. Abaldova S. Yu., Volynsky V. Yu. Development of a Fuzzy Expert System for Assessing Quality Management of a Machine-Building Enterprise [Razrabotka nechetkoy ekspertnoy sistemy otsenki upravleniya kachestvom mashinostroitel'nogo predpriyatiya], *Innovative Development of the Russian Economy: Key problems and Solutions: Collection of Abstracts of Reports of the International Scientific and Practical Conference [Innovatsionnoe razvitie ekonomiki Rossii: klyuchevyye problemy i resheniya: Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Ivanovo, Russia, October 28–30, 2010. Ivanovo, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 2010, Pp. 225–227.

24. Baranova E. K., Gusev A. M. The Method of Information Security Risk Analysis using Fuzzy Logic Based Tools MATLAB [Metodika analiza riskov informatsionnoy bezopasnosti s ispolzovaniem nechetkoy logiki na baze instrumentariya MATLAB], *Education Resources and Technologies [Obrazovatelnye resursy i tekhnologii]*, 2016, No. 1 (13), Pp. 88–96. DOI: 10.21777/2500-2112-2016-1-88-96.

25. Utepbergenov I. T., Othman M. F., Toibayeva Sh. D., Issabekova L. S. Intelligent Model for Controlling the Temperature and Humidity of the Baking Oven, *Advanced Technologies and Computer Science*, 2021, No. 1, Pp. 34–40.

# Мониторинг технических устройств электроснабжения железнодорожного транспорта

д.т.н. Т. Р. Нурмухамедов, Ж. Н. Гулямов, Т. Ш. Ташметов, А. А. Азимов

Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Узбекистан

ntolaniddin@mail.ru, javlonbek1207@gmail.com, tima260491@gmail.com

**Аннотация.** Выполнен анализ проведения проверок технических устройств электроснабжения, определены закономерности отказов электрооборудования. Комплексный подход при проведении мониторинга и диагностирования технических устройств позволил определить приоритетность их обслуживания и совершенствования. Реализация предлагаемой системы направлена на повышение надежности и снижение эксплуатационных расходов на содержание устройств электроснабжения.

**Ключевые слова:** автоматизация, беспроводные связи, диагностика, экономический эффект, эффективность сети.

## ВВЕДЕНИЕ

Основные устройства электроснабжения АО «Узбекистон темир йуллари» (АО УТИ) подразделяются на оборудование тяговых подстанций, контактной сети и электроснабжения аппаратуры СЦБ. Обслуживание рассматриваемых устройств электроснабжения в первую очередь ориентировано на выполнение планово-предупредительных работ (ППР), то есть выполнение соответствующих проверок и сертификации технических устройств электрификации (ТУЭ) на основе разработанного и утвержденного графика периодичности мониторинга. Недостаток сложившейся системы мониторинга ТУЭ — нестабильность выявления предаварийного состояния аппаратуры электроснабжения, что оказывает влияние на равномерность выполнения железнодорожных перевозок: приводит к сбоям в графике движения поездов, внеплановому отключению потребителей электроэнергии, повреждению дорогостоящего оборудования и другим аварийно-восстановительным издержкам.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основными и наиболее опасными отказами ТУЭ являются повреждения устройств контактной сети и СЦБ. Это вызвано тем, что устройства контактной сети не обладают резервом, а работа устройств СЦБ напрямую связана с безопасностью движения и пропускной способностью железнодорожных участков [1]. Анализ работы [2] и приведенных в ней диаграмм позволяет сделать ряд выводов относительно слабых мест электроснабжения железных дорог:

1. Периодичность серьезных отказов на тяговых подстанциях носит редкий характер, тем не менее материальный ущерб от перебоев электроснабжения потребителей и повреждения силового оборудования может быть достаточно высоким (например, стоимость одного тягового трансформатора составляет сотни миллионов сумов). Поэтому необходимость диагностики устройств тяговых подстанций занимает особое место в сфере эксплуатации и обслуживания ТУЭ.

2. В контактной сети и системе электроснабжения нетяговых потребителей узким участком, подверженным повреждениям, являются провода и тросы.

3. Наибольшее количество отказов в тяговых подстанциях приходится на измерительные трансформаторы, изоляторы, высоковольтные выключатели и разъединители, в том числе отделители и короткозамкватели.

Исходя из этого, для эффективного управления и учета ремонтных операций, а также проведения мониторинга ТУЭ в целом необходимо разработать автоматизированную систему учета ремонтов технических средств Управления электроснабжения АО «Узбекистон темир йуллари» (АСУРТС). Впоследствии разрабатываемая система должна иметь возможность адаптироваться с другими автоматизированными системами как службы электроснабжения, так и других автоматизированных систем АО УТИ.

АСУРТС должна строиться на основе информации от ранее разработанных элементов мониторинга и диагностики устройств электроснабжения. В основе рассматриваемого комплекса должны быть функции получения и обработки данных по предотказному состоянию объектов железнодорожной электроэнергетики. Верхний уровень системы должен обеспечивать обработку информации, поступающей от устройств диагностики, и выдачу определенных заданий для эксплуатационного персонала на производство ремонтных работ с ТУЭ [3].

Диагностику устройств контактной сети следует подразделять на обходы с осмотрами, верховую диагностику, диагностику с использованием систем вагонов испытания контактной сети (ВИКС). Следует расширить функции контроля параметров контактной подвески в том числе и на ВИКС, например дополнительно применять устройства для определения остаточного ресурса (износа) и внешних дефектов контактных проводов. В перспективе автоматизированная система должна позволять фиксировать обрыв жил несущего троса, контролировать метрологические показания контактной сети, выявлять удары токоприемника по контактным проводам, определять остаточный ресурс несущего троса на основе контроля количества поврежденных и оборванных жил. Соответственно, с целью контроля метрологических показаний контактной сети необходимо разработать математическую модель, учитывающую зависимость от состояния внешней среды.

Рассматриваемые измерительные системы предназначены для выявления предаварийного состояния самых повреждаемых элементов контактной сети — контактных проводов и несущих тросов. В рамках развития диагностики оборудования контактной сети и воздушных линий,

расположенных вблизи железнодорожного полотна, значительную долю важной информации об их состоянии призвана предоставить система контроля пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта. Такая система на основе лазерного сканирования объектов путевой инфраструктуры должна выдавать данные о соответствии фактических и нормативных значений геометрии контролируемых устройств. Например, функционал системы должен обеспечить определение нормативных габаритов между токоведущими и заземленными частями контактной сети и воздушных линий, расположенных вблизи железнодорожного полотна и пересекающих железнодорожные пути, проверку габарита опор и других объектов энергоснабжения относительно пути. Для диагностики устройств электроснабжения нетяговых потребителей существенное значение имеет применение аппаратно-программного комплекса диспетчерского контроля (АПК ДК). АПК ДК позволяет заблаговременно выявлять некачественное электроснабжение и предотказные ситуации на постах электрической централизации и в модулях автоблокировки с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры. В соответствии с данными системы АПК ДК выявляются причины снижения надежности и качества электроснабжения, разрабатываются и реализуются корректирующие мероприятия, например: регулировка уровня напряжения на комплектной трансформаторной подстанции (КТП), замена трансформатора КТП на трансформатор большей мощности и т. д. С целью выявления причин низкого качества электроснабжения необходимо использовать комплексные измерения. Выполненные в работе [4] исследования позволяют заключить, что напряжение на питающем фидере поста электрической централизации напрямую зависит от уровня напряжения энергосистемы, которое изменяется в зависимости от суточного графика нагрузки.

К основным составляющим диагностики оборудования тяговых подстанций следует отнести: выполнение межремонтных испытаний силового оборудования в соответствии с «Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог» ЦЭ-936; осмотры оборудования; использование комплексных передвижных систем диагностики (ЛДТ-1, ЛИК и т. д.); использование специальных устройств диагностирования (тепловизоров, ультрафиолетовых и ультразвуковых устройств диагностики изоляции, хроматографов, тестеров вакуумных камер выключателей и т. д.); применение комплексных систем мониторинга и диагностики устройств электроснабжения.

Основопологающим направлением совершенствования системы обслуживания устройств электроснабжения на железной дороге является создание центра диагностики и мониторинга устройств электроснабжения, который должен обеспечить [5]:

– выявление предотказного состояния и контроль за своевременным устранением причин повреждения устройств электроснабжения, направленные на предотвращение отказов и нарушений графика движения поездов;

– учет и анализ предотказных состояний с целью разработки корректирующих мер и увеличения срока службы оборудования;

– контроль за качеством выполнения работ по техническому обслуживанию устройств электроснабжения.

Именно дорожный центр мониторинга и диагностики на основе использования систем диагностирования и подсистем ЕК АСУИ должен стать структурой, обеспечивающей организацию интегрированной модели эксплуатации устройств электроснабжения по техническому состоянию с учетом сокращения объемов выполнения планово-предупредительных работ [6–9].

Разрабатываемая АСУРТС в перспективе позволит интегрироваться с существующей корпоративной сетью передачи данных АО УТИ, функциональная схема которой представлена на рисунке 1.

Среди основных задач, которые необходимо выполнить для реализации интегрированного подхода к организации обслуживания устройств электроснабжения, следует выделить: выявление объема работ для исключения из графика ППР в соответствии с новой системой обслуживания; определение принципа интеграции и объема информации для создания эффективного инструмента организации эксплуатации устройств электроснабжения по состоянию; определение оценки эффективности применения систем мониторинга и диагностики.

Экономический эффект от внедрения системы мониторинга можно оценить следующим образом. При работе контактной подвески случаются сбои. Ущерб от возникновения отказа определяется затратами на восстановление работоспособного состояния системы и затратами, связанными с простоем поездов на период ремонта [5–8]. Потери от отказов за определенный период времени  $P$  можно определить как

$$P = p_i \times N,$$

где  $p_i$  — средние потери от возникновения одного отказа;  $N$  — количество отказов за период времени.

Внедрение системы мониторинга позволяет предотвратить некоторые отказы путем фиксации предотказных состояний. Таким образом,

$$N = N_n + N_m,$$

где  $N_n$  — отказы, обнаруженные системой мониторинга в предотказном состоянии;  $N_m$  — необнаруживаемые сбои.

Кроме того, сбои  $N_m$  могут возникать в самой системе мониторинга, приводя к дополнительным потерям на ее восстановление. Следовательно, количество отказов при работе системы мониторинга равно

$$N_o = N_n + N_m.$$

После внедрения системы мониторинга потери от возникновения отказов за определенный период времени  $P_m$  можно определить как

$$P_m = p_i \times N_o.$$

Эффективность внедрения системы мониторинга  $W$  можно оценить по следующей формуле:

$$W = P - P_m.$$

Таким образом, для повышения эффекта от внедрения системы мониторинга необходимо, чтобы количество отказов, выявляемых системой мониторинга в предотказном



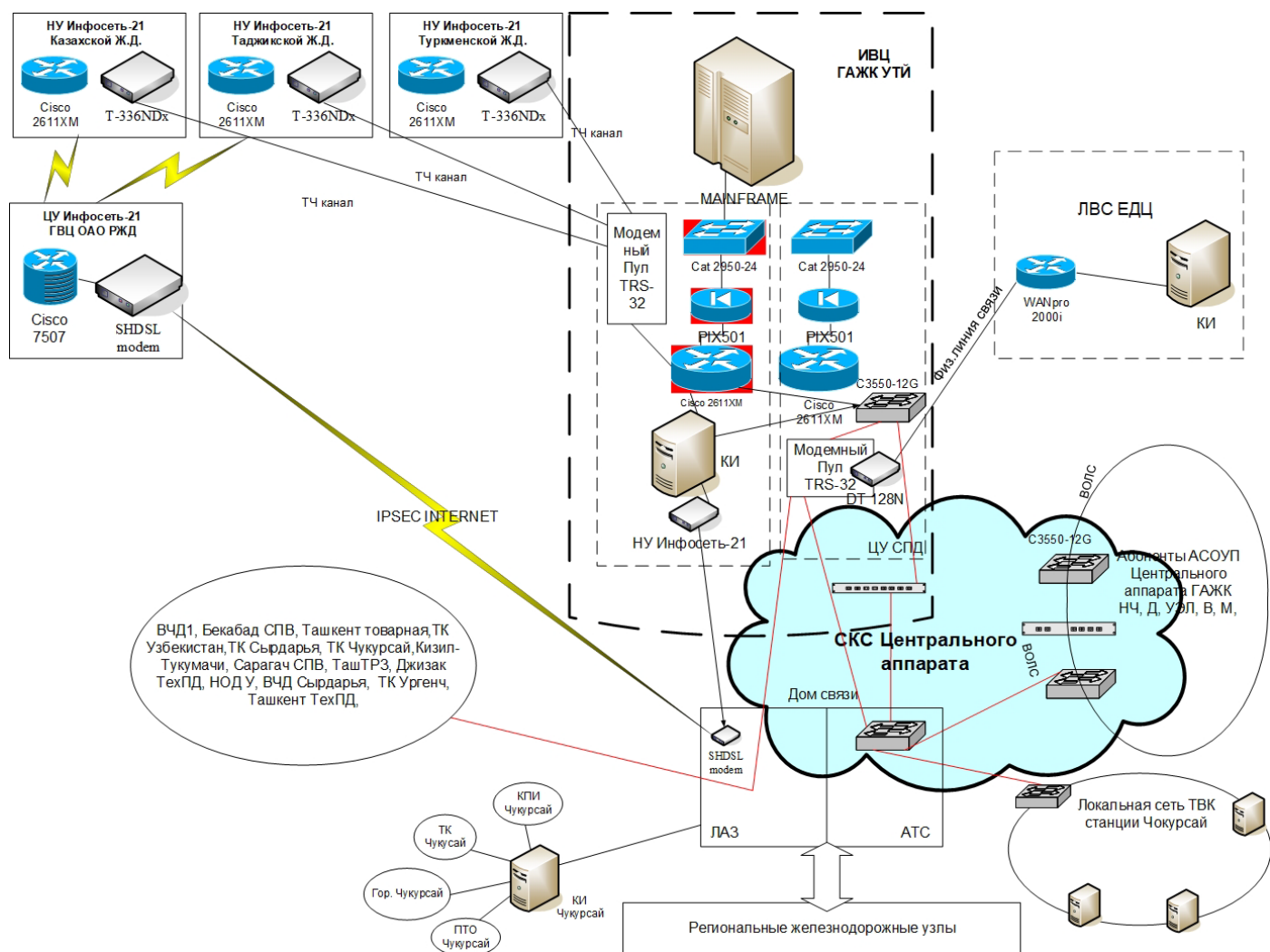


Рис. 1. Функциональная схема сети передачи данных АО «Узбекистон темир йуллари»

состоянии, увеличивалось, а надежность и безотказность самой системы повышались за счет улучшения самоконтроля [10–12].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бесперебойная работа технических устройств электропитания АО «Узбекистон темир йуллари» напрямую влияет на современное и единообразное обеспечение перевозочного процесса. Выполнение ремонтных работ с ТУЭ, требований к надежности и качеству работы устройств электропитания может быть обеспечено при постоянном контроле их работоспособности. Достижение необходимого уровня возможно путем создания автоматизированной системы контроля и учета ремонтных операций с элементами устройств электропитания.

Комплексная организация технического обслуживания устройств электропитания, основанная на использовании методов статистического и математического анализа, современных приборов и систем диагностики, а также систем непрерывного контроля состояния устройств электропитания, позволит эффективно осуществлять ремонт и учет операций с ТУЭ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барч, Д. В. Перспективы автоматизации устройств электропитания Октябрьской железной дороги // Шаг в будущее (Неделя науки-2010): Материалы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Санкт-Петербург, Россия, 01–31 марта 2010 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2010. — С. 86–89.
2. Барч, Д. В. Совершенствование системы обслуживания устройств электропитания на основе мониторинга и диагностики / Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012. Вып. 3 (32). С. 103–110.
3. Грачев, В. Ф. Комплексный подход к задаче диагностирования оборудования и управления тяговыми подстанциями постоянного и переменного тока / В. Ф. Грачев, А. Д. Кондаков, А. В. Саморуков // Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное железнодорожное движение (Eltrans'2009): Материалы Пятого Международного симпозиума (Санкт-Петербург, Россия, 20–23 октября 2009 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2010. — С. 376–385.
4. Розенберг, Е. Н. Система мониторинга и диагностики силового и коммутационного оборудования тяговых подстанций / Е. Н. Розенберг, С. К. Басыров // Евразия-вести. 2011. № 10. С. 15.

5. Концепция развития систем диагностики и мониторинга объектов путевого хозяйства на период до 2025 года: Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 27.04.2016 № 777р // Экономика железных дорог. 2016. № 7. С. 122–156.

6. Нурмухамедов, Т. Р. Автоматизация учета товарных ценностей на складе вагонного депо / Т. Р. Нурмухамедов, Ж. Н. Гулямов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 4 (28). С. 39–45.

DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-39-45.

7. Nurmukhamedov, T. R. Modeling of a Railway Warehouse Commodity and Material Values Accounting (on the Example of a Train Depot) / T. R. Nurmukhamedov, Zh. N. Gulyamov, Sh. T. Shaxidaeva // Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering (RTE 2021) (Perm, Russia, 01–03 May 2021). AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2389. Art. No. 100026. 6 p.

DOI: 10.1063/5.0063843.

8. Нурмухамедов, Т. Р. Складские операции вагонного депо пассажирской службы с элементами логистики / Т. Р. Нурмухамедов, Ж. Н. Гулямов // Глобус: Технические науки. 2021. Т. 7, № 5 (41). С. 30–35.

9. Gulyamov, J. Warehouse Accounting Automated Information System Design // Proceedings of the First International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science (ICPPMS-2021) (Tashkent, Uzbekistan, 10–11 June 2021). AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2432. Art. No. 060027. DOI: 10.1063/5.0089476.

10. Нурмухамедов, Т. Р. Разработка информационной системы учета отдыхающих в здравнице «Омонхона» / Т. Р. Нурмухамедов, Н. Ё. Гафаров, А. А. Азимов // Актуальные вопросы развития инновационно-информационных технологий на транспорте (АВРИИТТ-2022): Материалы II Республиканской научно-технической конференции (Ташкент, Узбекистан, 21–22 ноября 2022 г.). 2022. № 2. С. 38–41. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp38-41.

11. Rasulmuxamedov, M. M. Axborot texnologiyalari markazi hodimlari uchun servis xizmatlari buyurtmalari qayd etib borishning ma'lumotlar bazasini ishlab chiqish / M. M. Rasulmuxamedov, A. A. Azimov, N. Y. Gaffarov // Актуальные вопросы развития инновационно-информационных технологий на транспорте (АВРИИТТ-2022): Материалы II Республиканской научно-технической конференции (Ташкент, Узбекистан, 21–22 ноября 2022 г.). 2022. № 2. С. 34–37. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp34-37.

12. Gaffarov, N. Y. Sql va NoSQL ma'lumotlar bazalaridan foydalanish holatlari / N. Y. Gaffarov, A. A. Azimov, T. Sh. Tashmetov // Актуальные вопросы развития инновационно-информационных технологий на транспорте (АВРИИТТ-2022): Материалы II Республиканской научно-технической конференции (Ташкент, Узбекистан, 21–22 ноября 2022 г.). 2022. № 2. С. 42–45.

DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp42-45.

# Monitoring of Technical Devices of Rail Transport Power Supply

Grand PhD T. R. Nurmukhamedov, Zh. N. Gulyamov, T. Sh. Tashmetov, A. A. Azimov

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

ntolaniddin@mail.ru, javlonbek1207@gmail.com, tima260491@gmail.com

**Abstract.** An analysis of inspections of technical devices of power supply has been carried out; regularities of electric equipment failures have been determined. The integrated approach to the monitoring and diagnostics of the technical devices made it possible to prioritize their maintenance and improvement. Implementation of the suggested system is aimed at reliability increase and decrease of maintenance costs of power supply devices.

**Keywords:** automation, wireless communication, diagnostics, economic effect, network efficiency.

## REFERENCES

1. Barch D. V. Prospects for Automation of Power Supply Devices of the Oktyabrskaya Railway [Perspektivy avtomatizatsii ustroystv elektrosnabzheniya Oktyabrskoy zheleznoy dorogi], *Step into the Future (Science Week 2010): Proceedings of the Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists [Shag v budushchee (Nedelya nauki-2010): Materialy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh]*, St. Petersburg, Russia, March 01–31, 2010. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University, 2010, Pp. 86–89.

2. Barch D. V. Improvement of the Service System Based on Monitoring and Diagnostics of Power Supply Equipment [Sovershenstvovanie sistemy obsluzhivaniya ustroystv elektrosnabzheniya na osnove monitoringa i diagnostiki], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2012, Is. 3 (32), Pp. 103–110.

3. Grachev V. F., Kondakov A. D., Samorukov A. V. An Integrated Approach to the Problem of Diagnosing Equipment and Controlling DC and AC Traction Substations [Kompleksnyy podkhod k zadache diagnostirovaniya oborudovaniya i upravleniya tyagovymi podstantsiyami postoyannogo i peremennogo toka], *Electrification, Innovative Technologies and High-Speed Rail Traffic (Eltrans'2009): Proceedings of the Fifth International Symposium [Elektrifikatsiya, innovatsionnye tekhnologii, skorostnoe i vysokoskorostnoe zheleznodorozhnoe dvizhenie (Eltrans'2009): Materialy Pyatogo Mezhdunarodnogo simpoziuma]*, St. Petersburg, Russia, October 20–23, 2009. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University, 2010, Pp. 376–385.

4. Rozenberg E. N., Basyrov S. K. System for Monitoring and Diagnostics of Power and Switching Equipment of Traction Substations [Sistema monitoringa i diagnostiki silovogo i kommutatsionnogo oborudovaniya tyagovykh podstantsiy], *Evraziya-Vesti*, 2011, No. 10, P. 15.

5. Concept for the Development of Diagnostic and Monitoring Systems for Track Facilities for the Period up to 2025: Approved by order of Russian Railways JSC [Kontseptsiya razvitiya sistem diagnostiki i monitoringa obektov putevogo

khozyaystva na period do 2025 goda: Utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD»] from April 27, 2016 No. 777r, *Railway Economy [Ekonomika zheleznykh dorog]*, 2016, No. 7, Pp. 122–156.

6. Nurmukhamedov T. R., Gulyamov J. N. Automation of Inventory Accounting in the Wagon Depot Warehouse [Avtomatizatsiya ucheta tovarnykh tsennostey na sklade vagonnogo depo], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2021, No. 4 (28), Pp. 39–45. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-39-45.

7. Nurmukhamedov T. R., Gulyamov Zh. N., Shaxidaeva Sh. T. Modeling of a Railway Warehouse Commodity and Material Values Accounting (on the Example of a Train Depot), *Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering (RTE 2021), Perm, Russia, May 01–03, 2021. AIP Conference Proceedings*, 2021, Vol. 2389, Art. No. 100026. 6 p. DOI: 10.1063/5.0063843.

8. Nurmukhamedov T. R., Gulyamov Zh. N. Warehouse Operations of Passenger Service Car Depot with Logistics Elements [Skladskie operatsii vagonnogo depo passazhirskoy sluzhby s elementami logistiki], *Globus: Technical Science [Globus: Tekhnicheskoe nauki]*, 2021, Vol. 7, No. 5(41), Pp. 30–35.

9. Gulyamov J. Warehouse Accounting Automated Information System Design, *Proceedings of the First International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science (ICPPMS-2021), Tashkent, Uzbekistan, June 10–11, 2021. AIP Conference Proceedings*, 2022, Vol. 2432, Art. No. 060027. DOI: 10.1063/5.0089476.

10. Nurmukhamedov T., Ghaffarov N., Asimov, A. Development of an Information System for Recording Vacationers at the Omonhona Health Resort [Razrabotka informatsionnoy sistemy ucheta otdykhayushchikh v zdravnitse «Omonkhona»], *Current Issues of Development of Innovative and Information Technologies in Transport (AVRIITT-2021): Proceedings of the II Republican Scientific and Technical Conference [Aktualnye voprosy razvitiya innovatsionno-informatsionnykh tekhnologiy na transporte (AVRIITT-2022): Materialy II Respublikanskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii]*, Tashkent, Uzbekistan, November 21–22, 2022, 2022, No. 2, Pp. 38–41. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp38-41.

11. Rasulmuxamedov M. M., Azimov A. A., Gaffarov N. Y. Axborot texnologiyalari markazi hodimlari uchun servis xizmatlari buyurtmalari qayd etib borishning ma'lumotlar bazasini ishlab chiqish, *Current Issues of Development of Innovative and Information Technologies in Transport (AVRIITT-2022): Proceedings of the II Republican Scientific and Technical Conference [Aktualnye voprosy razvitiya innovatsionno-informatsionnykh tekhnologiy na transporte (AVRIITT-2022): Materialy*

*II Respublikanskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*, Tashkent, Uzbekistan, November 21–22, 2022, 2022, No. 2, Pp. 34–37. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp34-37.

12. Gaffarov N. Y., Azimov A. A., Tashmetov T. Sh. SQL va NoSQL ma'lumotlar bazalaridan foydalanish holatlari, *Current Issues of Development of Innovative and Information Technologies in Transport (AVRIITT-2022): Proceedings*

*of the II Republican Scientific and Technical Conference [Aktualnye voprosy razvitiya innovatsionno-informatsionnykh tekhnologiy na transporte (AVRIITT-2022): Materialy II Respublikanskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii]*, Tashkent, Uzbekistan, November 21–22, 2022, 2022, No. 2, Pp. 42–45. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-v2-pp42-45.

# Оптимизация управления транспортным потоком на перекрестках с помощью нейронной сети

к.ф.-м.н. М. М. Расулмухамедов, К. Ш. Ташметов  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Узбекистан  
mrasulmuxamedov@list.ru, tashmetov1993@mail.ru

**Аннотация.** Описывается использование глубоких сверточных нейронных сетей CNN для управления транспортным потоком на перекрестках. Были рассмотрены различные архитектуры сверточных нейронных сетей, включая YOLO и R-CNN. В результате исследования выявлено, что модель YOLO показывает лучшие результаты в задаче обнаружения и подсчета автомобилей на перекрестках. Была написана программа на основе модели YOLO для обнаружения и счета автомобилей на перекрестках. Отмечено, что использование сверточных нейронных сетей для управления транспортными потоками на перекрестках является перспективным подходом для решения проблемы пробок и повышения безопасности дорожного движения. Дальнейшие исследования планируется проводить с использованием более новых версий модели YOLO.

**Ключевые слова:** управление транспортным потоком, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, прогнозирование трафика, видеонаблюдение, рекуррентные нейронные сети.

Управление транспортным потоком является одной из ключевых задач в городской инфраструктуре, поскольку городской транспорт — важная составляющая жизни современного общества. Несмотря на значительные усилия, которые предпринимались для оптимизации транспортной инфраструктуры, проблемы с управлением транспортным потоком на перекрестках остаются актуальными. Длинные очереди автомобилей, длительные ожидания на светофорах и аварии на перекрестках — все это вызывает негативные эмоции у водителей и пассажиров, а также значительно затрудняет движение транспорта в городе.

В последние годы развитие нейросетевых технологий позволило применять их для решения многих задач, связанных с обработкой и анализом данных. Одной из таких задач является управление транспортным потоком на перекрестках с использованием нейросетей. Нейросетевые методы могут обрабатывать огромные объемы данных и на их основе принимать решения, что позволяет эффективно оптимизировать управление транспортным потоком.

В статье представлен подход к оптимизации управления транспортным потоком на перекрестках с использованием нейросетей. Описывается процесс обучения нейросетей на основе данных, собранных с помощью камер наблюдения. Этот подход может помочь сократить время ожидания на перекрестках, уменьшить количество аварий и повысить эффективность управления транспортным потоком в городских условиях.

Основная идея данной статьи заключается в том, что мы предлагаем современный подход к управлению транспортным потоком на перекрестках, который базируется на нейросетевых методах. Он может использоваться для оптимизации работы светофоров на перекрестках, а также для управления потоком автомобилей и пешеходов в режиме реального времени.

Одним из главных преимуществ предложенного подхода является его способность обрабатывать огромные объемы данных, собранных с помощью камер наблюдения, и принимать на их основе решения в режиме реального времени. Благодаря этому можно оперативно корректировать работу светофоров, чтобы минимизировать время ожидания на перекрестках и снизить риск аварий.

Перед тем, как перейти к описанию подхода к управлению транспортным потоком на перекрестках с использованием нейросетей, необходимо провести литературный обзор и рассмотреть существующие подходы к решению этой проблемы.

Одним из основных методов управления транспортным потоком на перекрестках является использование светофоров. Для оптимизации работы светофоров используются различные методы, такие как синхронизация сигналов, управление с помощью датчиков движения, адаптивное управление и т. д. Однако эти методы имеют ряд недостатков, таких как неэффективность в условиях изменчивого трафика и невозможность быстрой адаптации к изменениям в потоке транспорта.

В связи с этим все большее внимание уделяется разработке нейросетевых методов управления транспортным потоком на перекрестках. Нейросетевые методы основаны на использовании искусственных нейронных сетей, которые могут обрабатывать огромные объемы данных и принимать решения в режиме реального времени.

Одним из наиболее известных подходов к управлению транспортным потоком на перекрестках с использованием нейросетей является подход, основанный на обучении с подкреплением. Этот подход основан на создании агента, который должен научиться выбирать наилучшее действие в каждый момент времени, чтобы максимизировать определенный критерий эффективности.

Еще одним подходом к управлению транспортным потоком на перекрестках с использованием нейросетей является подход, основанный на использовании сверточных

нейронных сетей. Сверточные нейронные сети могут эффективно обрабатывать изображения с камер наблюдения и определять количество и тип транспорта, проезжающего через перекресток, а также определять оптимальное время работы светофоров.

Также стоит отметить подход, основанный на использовании генетических алгоритмов для оптимизации работы светофоров на перекрестках. В этом подходе используется эволюционный алгоритм, который генерирует новые наборы параметров светофоров на основе текущих настроек и выбирает наилучший набор параметров на основе определенных критериев эффективности.

Наконец, стоит упомянуть подход, основанный на использовании глубоких нейронных сетей. В этом подходе используются глубокие нейронные сети для прогнозирования трафика и оптимизации работы светофоров. Глубокие нейронные сети могут эффективно обрабатывать огромные объемы данных и находить сложные зависимости между ними.

Таким образом, существует множество подходов к управлению транспортным потоком на перекрестках, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако все больше и больше исследований сосредоточено на использовании нейросетевых подходов, которые могут эффективно обрабатывать данные и принимать решения в режиме реального времени.

В статье описан подход, основанный на использовании нейронных сетей, который позволяет эффективно управлять транспортным потоком на перекрестках и учитывать изменчивость трафика в реальном времени. Основная идея этого подхода заключается в том, чтобы использовать глубокие нейронные сети для прогнозирования трафика и оптимизации работы светофоров на перекрестках.

Для составления математической модели системы управления транспортным потоком на перекрестках с использованием глубоких нейронных сетей необходимо определить входные и выходные данные модели, а также функцию прогнозирования.

Входные данные модели могут включать в себя следующие параметры:

- количество машин, находящихся на разных участках дороги, приближающихся к перекрестку;
- скорость движения машин на этих участках;
- наличие препятствий или других факторов, влияющих на трафик;
- информацию о текущих параметрах светофоров.

Выходные данные модели могут включать в себя:

- прогноз количества машин, которые будут двигаться через перекресток в течение следующих 5-10 минут;
- оптимальные параметры светофоров, которые позволят улучшить проходимость перекрестка.

Функция прогнозирования представляет собой глубокую нейронную сеть, которая будет обучаться на исторических данных о трафике и параметрах светофоров.

Пусть  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — входные параметры модели,  $y_1, y_2, \dots, y_m$  — выходные параметры модели. Тогда математическая модель может быть представлена следующим образом:  $y = f(x)$ , где  $f$  — функция прогнозирования, которая представляет собой глубокую нейронную сеть.

Для обучения глубокой нейронной сети можно использовать алгоритмы оптимизации, такие как стохастический градиентный спуск или его модификации. В процессе обучения сеть будет корректировать свои веса и параметры для минимизации ошибки прогнозирования и улучшения качества работы модели [1]:

$$\omega^{\text{new}} = \omega^{\text{old}} + \frac{\eta}{1 + \eta \|x_i\|^2} (y_i - x_i' \omega^{\text{old}}) x_i.$$

Таким образом, математическая модель системы управления транспортным потоком на перекрестках с использованием глубоких нейронных сетей может быть представлена как функция прогнозирования, основанная на входных параметрах, и обученная на исторических данных.

Наиболее распространенные функции прогнозирования, которые могут быть использованы для управления транспортным потоком на перекрестках, включают в себя:

1. Линейная регрессия — метод, который используется для построения линейной зависимости между независимыми и зависимыми переменными. Он может быть использован для прогнозирования количества транспортных потоков на перекрестках на основе других факторов, таких как время суток, день недели, праздничные дни и т. д.

2. LSTM (Long Short-Term Memory) — тип рекуррентной нейронной сети, который может использоваться для прогнозирования временных рядов, таких как количество транспортных потоков на перекрестке. LSTM позволяет моделировать длительные зависимости в данных и может быть использован для прогнозирования дневных, недельных или месячных циклов транспортного потока.

3. CNN (Convolutional Neural Network) — тип нейронной сети, который может быть использован для обработки изображений, например для прогнозирования транспортного потока на перекрестках на основе изображений транспортных потоков, полученных с камер наблюдения.

4. GAN (Generative Adversarial Network) — тип нейронной сети, который используется для генерации новых данных на основе имеющихся данных. GAN подходит для генерации синтетических данных транспортных потоков на перекрестках, которые могут быть использованы для улучшения прогнозирования [2].

Поскольку для анализа потоков транспорта основным устройством является видеочамера, применение сверточных нейронных сетей для прогнозирования является более эффективным методом решения данной проблемы [3].

Алгоритм сверточной нейронной сети CNN (рис. 1) может быть реализован с использованием различных библиотек и фреймворков, таких как TensorFlow [4], PyTorch, Keras и т. д. Реализация может варьироваться в зависимости от конкретной задачи прогнозирования транспортного потока и доступных ресурсов для обучения и применения модели.

Концепция сверточной нейронной сети (рис. 2):

- в сверточных нейронных сетях входной слой представлен матрицей пикселей;
- каждый внутренний слой в сети представлен картами признаков (или картами активации) одинакового размера;
- выходной слой имеет линейную структуру и связан со всеми внутренними слоями;

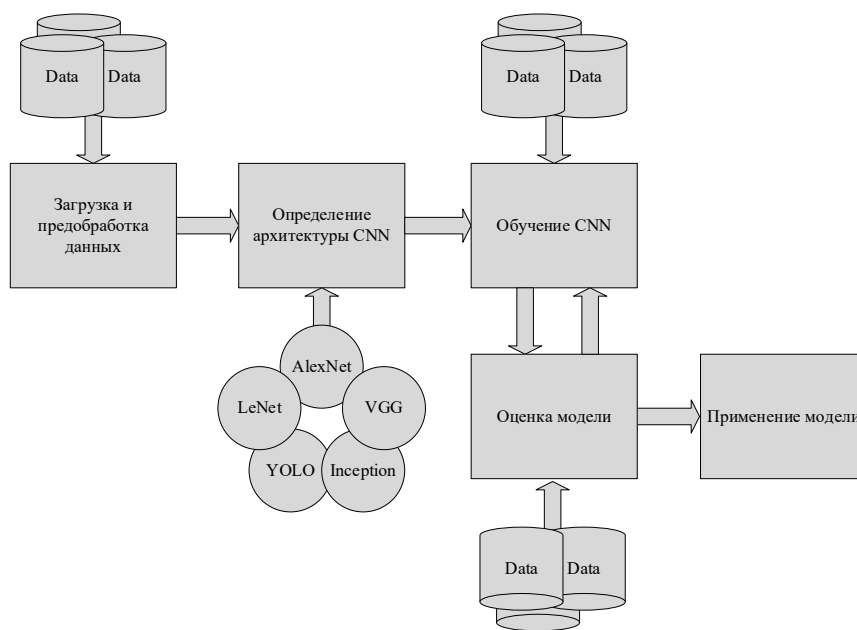


Рис. 1. Алгоритм сверточной нейронной сети CNN

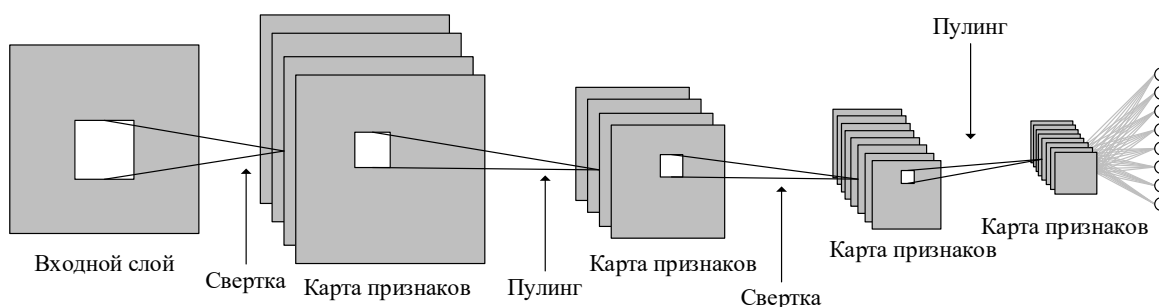


Рис. 2. Концепция сверточной нейронной сети

- соединения между нейронами входного и внутренних слоев являются избирательными;
- для построения связей используются два способа: свертка и пулинг;
- свертка увеличивает количество карт признаков при сохранении размера (с использованием padding) или уменьшает его незначительно;

- пулинг уменьшает размеры карт признаков, сохраняя их количество.

Для решения поставленной задачи было принято решение использовать архитектуру YOLO (англ. You Only Look Once — «живем только раз») (рис. 3).

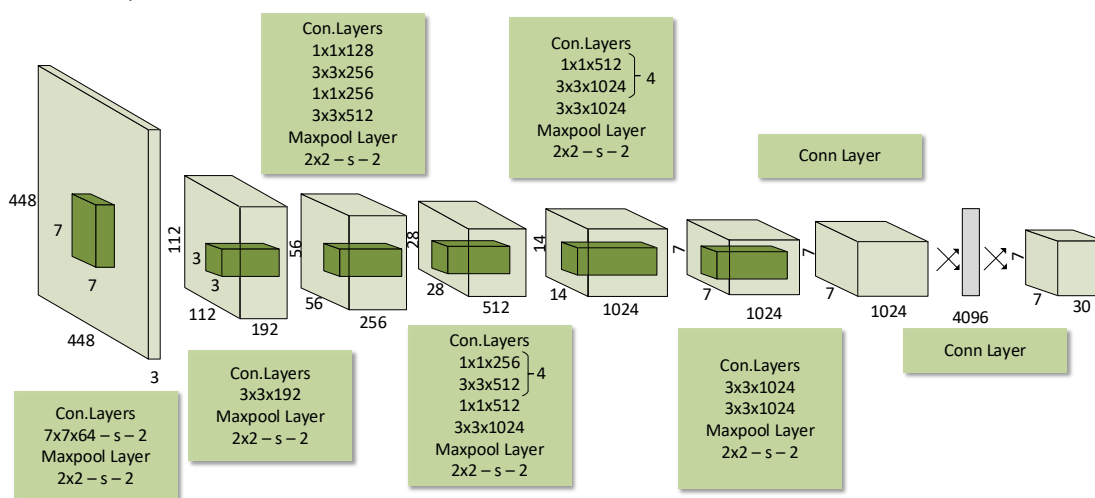


Рис. 3. Архитектура сверточной нейронной сети YOLO

Модель YOLO является одной из самых популярных сверточных нейронных сетей для обнаружения объектов в изображениях. Одним из главных преимуществ модели YOLO является высокая скорость обработки изображений в режиме реального времени. Это достигается благодаря тому, что модель YOLO прогоняет изображение через нейронную сеть всего один раз, в отличие от других моделей, которые используют множество проходов по изображению.

Для обнаружения количества машин на поворотах и перекрестках была разработана программа на основе модели

YOLO. Результаты распознавания можно увидеть на рисунке 4. Однако в процессе эксперимента было принято решение улучшить алгоритм и повторить исследование. Для этого была выбрана более новая версия модели YOLO, которая позволит улучшить качество распознавания. В последующих экспериментах планируется использовать другие, более современные модели, чтобы проверить их эффективность и улучшить результаты дальнейших исследований.



Рис. 4. Результат распознавания объектов на основе модели YOLO

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование глубоких нейронных сетей, в частности сверточных нейронных сетей, для управления транспортными потоками на перекрестках является перспективным подходом для решения проблемы пробок и повышения безопасности дорожного движения.

В ходе исследования был проведен анализ существующих методов управления транспортными потоками, а также рассмотрены основы глубокого обучения и сверточных нейронных сетей. Были рассмотрены основные архитектуры CNN, такие как LeNet, AlexNet, VGG, ResNet, YOLO и другие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. — Cambridge (MA): MIT Press, 2016. — 800 p. — (Adaptive Computation and Machine Learning).

2. Krizhevsky, A. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton // Communications of the ACM. 2017. Vol. 60, Is. 6. Pp. 84–90. DOI: 10.1145/3065386.

3. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. — Pp. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.

4. Tensorflow: A System for Large-Scale Machine Learning / M. Abadi, P. Barham, J. Chen, [et al.] // Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '16) (Savannah, GA, USA, 02–04 November 2016). — USENIX Association, 2016. — Pp. 265–283.



# Optimization of Traffic Flow Control at Intersections Using Neural Network

PhD M. M. Rasulmukhamedov, K. Sh. Tashmetov  
Tashkent State Transport University  
Tashkent, Uzbekistan  
mrasulmuxamedov@list.ru, tashmetov1993@mail.ru

**Abstract.** The use of deep convolutional neural networks CNN for traffic flow control at intersections is described. Various convolutional neural network architectures, including YOLO and R-CNN, were examined. The study found that the YOLO model performed better in the task of detecting and counting cars at intersections. A program based on the YOLO model was written to detect and count cars at intersections. It was concluded that the use of convolutional neural networks to manage traffic flows at intersections is a promising approach to solve the problem of traffic congestion and improve road safety. Further research is planned using newer versions of the YOLO model.

**Keywords:** traffic flow control, deep learning, convolutional neural networks, traffic forecasting, video cameras, recurrent neural networks.

## REFERENCES

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge (MA), MIT Press, 2016, 800 p.
2. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, *Communications of the ACM*, 2017, Vol. 60, Is. 6, Pp. 84–90. DOI: 10.1145/3065386.

3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition, *Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, June 27–30, 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016, Pp. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90.

4. Abadi M., Barham P., Chen J., et al. Tensorflow: A System for Large-Scale Machine Learning, *Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '16), Savannah, GA, USA, November 02–04, 2016*. USENIX Association, 2016, Pp. 265–283.

# Сравнение 3G, 4G и 5G сетей для 100, 1 000 и 10 000 пользователей

к.ф.-м.н. М. М. Расулмухамедов, Ф. Д. Шукуров, О. А. Турдиев  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Узбекистан  
mrasulmuxamedov@list.ru, odiljan.turdiev@mail.ru

**Аннотация.** В связи с растущим спросом на высокоскоростное подключение к Интернету развитие технологий беспроводной связи идет быстрыми темпами. Приводится сравнительный анализ производительности сетей 3G, 4G и 5G для 100, 1 000 и 10 000 пользователей по скорости передачи данных, задержке и пропускной способности сети.

**Ключевые слова:** сети, интернет, беспроводная связь, MATLAB, эффективность сети.

## ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько десятилетий сети беспроводной связи претерпели значительную эволюцию: от 2G к 3G, 4G и в настоящее время к 5G. В связи с растущим спросом на высокоскоростное подключение к Интернету сетевые провайдеры постоянно стремятся улучшить свои услуги, разрабатывая более быстрые и надежные технологии.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Чтобы сравнить производительность сетей 3G, 4G и 5G, проведено моделирование с использованием программного обеспечения MATLAB. Смоделирован гипотетический сценарий, в котором 100, 1 000 и 10 000 пользователей в каждой сети одновременно имеют доступ к Интернету [1]. Для каждого сценария были измерены скорость передачи данных, задержка и пропускная способность сети.

Для сети 3G пропускная способность равна

$$C = N \times R \times \log_2 \frac{(1 + (P \times H \times P_{RX}))}{N_0 \times BW},$$

где  $N$  — число пользователей,  $R$  — скорость передачи данных,  $P$  — мощность передачи,  $H$  — коэффициент затухания сигнала,  $P_{RX}$  — чувствительность приемника,  $N_0$  — спектральная плотность шума,  $BW$  — полоса пропускания.

Для сети 4G пропускная способность равна

$$C = N \times R \times \log_2 \frac{(1 + (P \times G \times H \times P_{RX}))}{N_0 \times BW},$$

где  $G$  — коэффициент усиления антенны.

Для сети 5G пропускная способность равна

$$C = N \times R \times \log_2 \frac{(1 + (P \times G \times H \times P_{RX} \times SC))}{N_0 \times BW},$$

где  $SC$  — коэффициент управления интерференцией (SIC).  
Полученные результаты обобщены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Сравнение скорости передачи данных (Мбит/с)  
для разных сетей и количества пользователей

Сеть	100 пользователей	1 000 пользователей	10 000 пользователей
3G	3,5	2,5	1,5
4G	15,5	13,5	10,5
5G	80,5	75,5	70,5

Таблица 2

Сравнение задержки (мс)  
для разных сетей и количества пользователей

Сеть	100 пользователей	1 000 пользователей	10 000 пользователей
3G	210	310	410
4G	50	70	90
5G	10	20	30

Таблица 3

Сравнение пропускной способности  
для разных сетей и количества пользователей

Сеть	100 пользователей	1 000 пользователей	10 000 пользователей
3G	1,5	2,5	3,5
4G	10,5	13,5	15,5
5G	70,5	75,5	80,5

Результаты моделирования показывают, что скорость передачи данных, задержка и пропускная способность сети 5G значительно лучше, чем у сетей 3G и 4G. Так, например, сети 5G могут обеспечить скорость передачи данных до 70,5 Мбит/с для 10 000 пользователей, а сети 3G — только до 1,5 Мбит/с для того же количества пользователей. Кроме того, задержка в сетях 5G значительно ниже, чем в сетях 3G и 4G, что делает их более подходящими для приложений реального времени, таких как игры и видеоконференции [2–5].

Пропускная способность сети 5G намного выше, чем у сетей 3G и 4G, что позволяет большему количеству пользователей одновременно получать доступ к сети без снижения производительности. Это делает сети 5G идеальными для крупномасштабных приложений, таких как Умные города и Интернет вещей (IoT).

Однако важно отметить, что производительность этих сетей зависит от различных факторов: доступности спектра, покрытия сети и количества базовых станций. Эти факторы могут повлиять на производительность сети в определенных местах, что делает необходимым проведение дальнейших исследований для определения эффективности каждой сети в разных местах.

Не стоит забывать и о затратах для обслуживания сетей: чем выше пропускная скорость, тем меньше дальность покрытия сети. Чтобы увеличить покрытие сети приходится больше расходовать электричества. В таблице 4 приведены промежутки потребления электричества для 3G-, 4G- и 5G-антенн.

Таблица 4

Сравнение потребления электричества разными типами антенн

Тип антенны	Среднее потребление электричества, Вт
3G	50–200
4G	100–500
5G	200–1 000+

Несмотря на то, что сети 5G предлагают значительное улучшение производительности по сравнению с сетями 3G и 4G, есть возможности для дальнейшего улучшения. Ожидается, что будущая сеть 6G обеспечит еще более высокую скорость передачи данных, меньшую задержку и более высокую пропускную способность сети, чем сети 5G [6–10].

Одной из потенциальных моделей сетей 6G является использование терагерцевых частот, которые имеют гораздо более высокую пропускную способность и могут поддерживать более высокие скорости передачи данных. Кроме того, использование искусственного интеллекта для управления сетью и ее оптимизации может повысить эффективность и надежность сети [11–14].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования показывают, что сети 5G обеспечивают значительно лучшую производительность с точки зрения скорости передачи данных, задержки и пропускной способности сети, нежели сети 3G и 4G. Однако для определения эффективности каждой сети в конкретных местах необходимы дальнейшие исследования.

Исследования показали более высокую эффективность работы сетей 5G, однако их обслуживание обходится дороже.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Halsall, F. Computer Networking and the Internet. Fifth Edition. — Edinburgh: Pearson Education, 2005. — 832 p.

2. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — 3-е изд. — Санкт-Петербург: Питер, 2010. — 958 с.

3. Halsall, F. Data Communications, Computer Networks, and Open Systems. Fourth Edition. — Edinburgh: Pearson Education, 1996. — 907 p.

4. Turdiev, O. A. Investigation of the Computational Complexity of the Formation of Checksums for the Cyclic Redundancy Code Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial / O. A. Turdiev, V. A. Smagin, V. N. Kustov // Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020), (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceeding. 2021. Vol. 2803. Pp. 129–135. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-129-135.

5. Турдиев, О. А. Сравнение моделей вероятного кода числа PNC и циклического избыточного кода CRC / О. А. Турдиев, А. Д. Хомоненко, М. В. Гофман // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2021. № 4. С. 119–131. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04.P.119.

6. Турдиев, О. А. Исследование вычислительной сложности формирования контрольных сумм для алгоритма CRC в зависимости от разрядности порождающего полинома // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 1/2. С. 52–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.01-2.17.

7. Турдиев, О. А. Методика снижения вычислительной сложности формирования контрольных сумм вероятного кода числа на основе стохастических вычислений / О. А. Турдиев, Д. А. Сейтманбитов, Ш. Ш. Кадилова // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2021. № 4/1. С. 106–118. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04/1.P.106.

8. Турдиев, О. А. Обзор кодов для помехоустойчивого кодирования / О. А. Турдиев, В. В. Яковлев, С. В. Клименко // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2019. № 2 (18). С. 21–24.

9. Исследование формирования блоковой контрольной суммы (BCC) передаваемых данных / О. А. Турдиев, В. В. Яковлев, С. В. Клименко, А. Х. Болтаев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 6. С. 67–71.

10. Турдиев, О. А. Оценки эффективности обнаружения ошибок контрольного суммирования (CRC) передаваемых данных / О. А. Турдиев, С. В. Клименко, А. Б. Тухтаходжаев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 8. С. 54–58.

11. Турдиев, О. А. Модель формирования вероятного кода числа на основе стохастических вычислений // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 4 (28). С. 28–33. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-28-33.

12. Zakirov, V. Reducing of the System Load Using Asynchronous and Synchronous Service Methods (Preprint) / V. Zakirov, E. Abdullaev, F. Shukurov // Research Square. 2023. 9 p. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2418155/v1.

13. Расулмухамедов, М. Сравнение эффективности Fog Computing с Cloud Computing на базе библиотеки iFogSim / М. Расулмухамедов, Ф. Шукуров, Ш. Шукурова // Актуальные вопросы развития инновационно-информационных технологий на транспорте (АВРИИТТ-2021): Материалы I Республиканской научно-технической конференции (Ташкент, Узбекистан, 24–25 ноября 2021 г.). 2022. № 1. С. 59–65. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-pp59-65.

14. Турдиев, О. А. Модель пропускной способности сетей при обслуживании мультисервисного трафика / О. А. Турдиев, А. Б. Тухтаходжаев, Э. С. Абдуллаев // Вестник ТашИИТ. 2019. Т. 15, № 3. С. 70–74.

# Comparison of 3G, 4G and 5G Networks for 100, 1 000 and 10 000 Users

PhD M. M. Rasulmukhamedov, F. D. Shukurov, O. A. Turdiev

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

mrasulmuxamedov@list.ru, odiljan.turdiev@mail.ru

**Abstract.** Due to the increasing demand for high-speed Internet connection, the development of wireless communication technologies is progressing at a rapid pace. The purpose of this paper is to compare the performance of 3G, 4G and 5G networks for 100, 1 000 and 10 000 users.

**Keywords:** networks, Internet, wireless, MATLAB, network efficiency.

## REFERENCES

1. Halsall F. Computer Networking and the Internet. Fifth Edition. Edinburgh, Pearson Education, 2005, 832 p.

2. Olifer V. G., Olifer N. A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for universities [Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: Uchebnik dlya vuzov]. St. Petersburg, Piter Publishing House, 2010, 958 p.

3. Halsall F. Data Communications, Computer Networks, and Open Systems. Fourth Edition. Edinburgh, Pearson Education, 1996, 907 p.

4. Turdiev O. A., Smagin V. A., Kustov V. N. Investigation of the Computational Complexity of the Formation of Checksums for the Cyclic Redundancy Code Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial, *Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020)*, (St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020). *CEUR Workshop Proceeding*, 2021, Vol. 2803, Pp. 129–135. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-129-135.

5. Turdiev O. A., Khomonenko A. D., Gofman M. V. Comparison of Probable Code Number PNC and Cyclic Redundancy Code CRC [Sravnenie modeley veroyatnogo koda chisla PNC i tsiklicheskogo izbytochnogo koda CRC], *Bulletin of the Russian New University. Series «Complex Systems: Models, Analysis and Management» [Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie»]*, 2021, No. 4, Pp. 119–131. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04.P.119.

6. Turdiev O. A. Investigation of the Computational Complexity of Generating Checksums for the CRC Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial [Issledovanie vychislitelnoy slozhnosti formirovaniya kontrolnykh summ dlya algoritma CRC v zavisimosti ot razryadnosti porozhdayushchego polinoma], *Modern Science: Actual of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences [Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki]*, 2022, No. 1/2, Pp. 52–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.01-2.17.

7. Turdiev O. A., Seytmanbitov D. A., Kadirova Sh. Sh. Method for reducing the computational complexity of formation of check sums of a probable code of a number based on stochastic calculations [Metodika snizheniya vychislitelnoy slozhnosti formirovaniya kontrolnykh summ veroyatnogo koda chisla na osnove stokhasticheskikh vychisleniy], *Bulletin of the Russian New University. Series «Complex Systems: Models, Analysis and Management» [Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie»]*, 2021, No. 4/1, Pp. 106–118. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04/1.P.106.

8. Turdiyev O. A., Yakovlev V. V., Klimenko S. V. Overview of Codes for Error-Correcting Coding [Obzor kodov dlya pomekhoustoychivogo kodirovaniya], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2019, No. 2 (18), Pp. 21–24.

9. Turdiev O. A., Yakovlev V. V., Klimenko S. V., Boltaev A. X. Study of the Formation of Block Checksum (BCC) of the Transmitted Data [Issledovanie formirovaniya blokovoy kontrolnoy summy (BCC) peredavaemykh dannykh], *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University [Izvestiya SPbGETU «LETI»]*, 2019, No. 6, Pp. 67–71.

10. Turdiev O. A., Klimenko S. V., Tuxtaxodjaev A. B. The Study of the Implementations of the Algorithm Method Checks Summation (CRC) of the Transmitted Data [Otsenki effektivnosti obnaruzheniya oshibok kontrolnogo summirovaniya (CRC) peredavaemykh dannykh], *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University [Izvestiya SPbGETU «LETI»]*, 2019, No. 8, Pp. 54–58.

11. Turdiev O. A. Model for the Formation of a Probable Code of a Number Based on Stochastic Calculations [Model formirovaniya veroyatnogo koda chisla na osnove stokhasticheskikh vychisleniy], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2021, No. 4 (28), Pp. 28–33. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-28-33.

12. Zakirov V., Abdullaev E., Shukurov F. Reducing of the System Load Using Asynchronous and Synchronous Service Methods (Preprint), *Research Square*, 2023, 9 p. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2418155/v1.

13. Rasulmukhamedov M., Shukurov F., Shukurova Sh. Comparison of Fog Computing Efficiency with Cloud Computing Based on the iFogSim Library [Sravnenie effektivnosti Fog Computing s Cloud Computing na baze biblioteki iFogSim], *Current Issues of Development of Innovative and Information Technologies in Transport (AVRIITT-2021): Proceedings of the I Republican Scientific and Technical Conference [Aktualnye voprosy razvitiya innovatsionno-informatsionnykh tekhnologii na transporte]*

(AVRIITT-2021): *Materialy I Respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Tashkent, Uzbekistan, November 24–25, 2021, 2022, No. 1, Pp. 59–65.

DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-pp59-65.

14. Turdiyev O. A., Tukhtakhodjaev A. B., Abdullaev E. S. The Model of Network Bandwidth When Servicing Multi-Service Traffic [Model propusknoy sposobnosti setey pri obsluzhivanii multiservisnogo trafika], *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers [Vestnik TashIIT]*, 2019, Vol. 15, No. 3, Pp. 70–74.

# Сравнение сетевых технологий 5G и 6G для использования терагерцовых частот

О. А. Турдиев, Ф. Д. Шукуров, Н. Ё. Гаффаров, А. Б. Тухтаходжаев  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Узбекистан  
odiljan.turдиев@mail.ru, adham.s.dr@gmail.com

**Аннотация.** В связи с растущим спросом на высокоскоростное подключение к Интернету развитие технологий беспроводной связи идет быстрыми темпами. Приводится сравнение производительности сетей 5G и 6G для использования терагерцовых частот, кроме того предложена потенциальная модель будущей сети 6G.

**Ключевые слова:** сети, интернет, беспроводные связи, эффективность сети, терагерцовые частоты, скорость передачи данных.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из технических проблем, связанных с внедрением сети 6G, является использование терагерцовых частот. Терагерцовые частоты имеют более короткие длины волн, чем те, которые используются в сетях 5G, что может вызвать затухание сигнала и проблемы с проникновением. Кроме того, сильное влияние на терагерцовые частоты оказывают атмосферные условия, которые также могут влиять на качество сигнала.

Для преодоления этих проблем можно использовать передовые антенные технологии, такие как массивная ММО (множественный вход и несколько выходов) и формирование луча, чтобы улучшить качество сигнала и уменьшить помехи. Кроме того, использование управления сетью на основе искусственного интеллекта (ИИ) может оптимизировать сетевые ресурсы и смягчить влияние атмосферных условий на качество сигнала [1].

## АНАЛИЗ МОДЕЛИ 6G

Предлагаемая модель для сетей 6G, может использовать следующие технологии и функции:

1. Терагерцовые частоты. Сети 6G могут использовать терагерцовые частоты для обеспечения более высокой скорости передачи данных и меньшей задержки.

2. Массив ММО может повысить пропускную способность сети и уменьшить помехи за счет использования большого количества антенн.

3. Формирование луча может улучшить качество сигнала и уменьшить помехи, направляя сигналы на определенные устройства.

4. Управление сетью на основе ИИ может оптимизировать сетевые ресурсы и смягчить влияние атмосферных условий на качество сигнала.

5. Безопасная и конфиденциальная связь. Сети 6G могут отдавать приоритет безопасности и конфиденциальности для защиты пользовательских данных и предотвращения несанкционированного доступа [2].

В целом предлагаемая модель для сетей 6G, использующая терагерцовые частоты, массивные ММО, формирование луча, управление сетью на основе ИИ, а также безопасную и

частную связь, может обеспечить беспрецедентную скорость передачи данных, чрезвычайно низкую задержку и высокую пропускную способность сети, позволяя использовать различные приложения, такие как виртуальная и дополненная реальность, автономные транспортные средства и умные города.

Кроме того, ожидается, что развитие сетей 6G обеспечит еще более высокую производительность, что делает необходимым продолжение исследований и разработок в этой области.

Для дальнейшего анализа потенциальных преимуществ сетей 6G предлагается модель ее реализации. Предлагаемая модель включает в себя использование терагерцовых частот и управление сетью на основе ИИ.

Еще одной технической задачей является разработка устройств, поддерживающих терагерцовые частоты. Современные устройства, такие как смартфоны и планшеты, не способны поддерживать терагерцовые частоты. Поэтому необходимо разработать новые технологии и устройства для поддержки предлагаемой модели сети 6G [3, 4].

Несмотря на указанные проблемы, потенциальные преимущества сети 6G делают ее выгодным вложением.

Для преодоления этих проблем в предлагаемой модели используется комбинация терагерцовых частот и существующих микроволновых частот в гибридной сети. Микроволновые частоты могут использоваться для покрытия в областях, где терагерцовые частоты невозможны, в то время как терагерцовые частоты могут быть применены в областях с высокими требованиями к сети.

Помимо использования терагерцовых частот, предлагаемая модель включает в себя управление сетью на основе ИИ. Алгоритмы ИИ могут анализировать сетевой трафик и оптимизировать сетевые ресурсы для повышения эффективности и надежности сети. Управление сетью на основе ИИ также может помочь обнаружить и смягчить потенциальные угрозы сетевой безопасности.

Для оценки потенциальных преимуществ предложенной модели было проведено моделирование сети 6G с 10 000 пользователей. Результаты (табл. 1) показывают что модель обеспечивает значительное улучшение скорости

Таблица 1

Сравнение производительности сетей 5G и 6G  
для 10 000 пользователей

Тип сети	Скорость передачи данных, Мбит/с	Задержка, мс	Емкость сети (пользователи)
5G	1 000	5	10 000
6G	5 000	1	100 000

передачи данных и пропускной способности сети по сравнению с сетями 5G.

Предлагаемая сеть 6G обеспечивает значительное улучшение скорости передачи данных, задержки и пропускной способности сети по сравнению с сетями 5G. Использование терагерцовых частот и управление сетью на основе ИИ является ключом к достижению этих улучшений.

Для дальнейшего анализа потенциальных преимуществ предлагаемой модели сети 6G был проведен анализ затрат, чтобы оценить возможность ее реализации [5–8].

Для оценки потенциальных затрат на предлагаемую модель сети 6G в таблице 2 приведено сравнение с затратами на внедрение сети 5G (количество пользователей — 10 000). Затраты были оценены на основе следующих факторов: стоимость оборудования, стоимость инфраструктуры и эксплуатационные расходы.

Таблица 2

Сравнение затрат на 5G и предлагаемую реализацию сети 6G для 10 000 пользователей

Тип сети	Стоимость оборудования, USD	Стоимость инфраструктуры, USD	Эксплуатационные расходы, USD	Общая стоимость, USD
5G	500 000	1 000 000	100 000	1 600 000
6G	750 000	1 500 000	50 000	2 300 000

Как показано в таблице 2, стоимость реализации предлагаемой модели сети 6G выше, чем у сетей 5G, из-за необходимости в специализированном оборудовании и инфраструктуре для поддержки терагерцовых частот. Однако эксплуатационные расходы предлагаемой модели сети 6G ниже, чем у сетей 5G, благодаря использованию управления сетью на основе ИИ.

В дополнение к анализу затрат было проведено сравнение производительности между сетями 5G и предлагаемыми сетями 6G для 100, 1 000 и 10 000 пользователей (табл. 3). Оцениваемые показатели производительности включали скорость передачи данных, задержку и пропускную способность сети.

Таблица 3

Сравнение производительности сетей 5G и 6G для 100, 1 000 и 10 000 пользователей

Тип сети	Скорость передачи данных, Мбит/с	Задержка, мс	Емкость сети
5G	100–1 000	1–10	Очень высокая
6G	1 000–10 000	<1	Экстремально высокая

Формула математической модели 5G сети, основанной на теории очередей, может иметь различные варианты в зависимости от конкретной постановки задачи. Одним из наиболее распространенных вариантов является модель  $M/M/1/K$ , где  $M$  — экспоненциальное распределение времени между поступлением запросов,  $1$  — количество обслуживающих каналов (в данном случае только один),  $K$  — длина очереди.

Формула для расчета вероятности задержки запроса в этой модели выглядит следующим образом:

$$P_b = \frac{\left[1 - \frac{\lambda}{\mu}\right]}{\left[1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{K+1}\right]},$$

где  $\lambda$  — интенсивность поступления запросов,  $\mu$  — интенсивность обслуживания,  $K$  — длина очереди.

Одной из возможных формул для математической модели 6G сети является модель  $M/G/1/K$ , где  $G$  — произвольное распределение времени обслуживания, а остальные обозначения сохраняют свой смысл.

Формула для расчета вероятности задержки запроса в этой модели может быть записана следующим образом:

$$P_b = \left[\frac{1 + \rho^2}{2 \times (1 - \rho)}\right] \times \frac{1 - \rho^{K+1}}{1 - \rho^{K+2}}.$$

где  $\rho = \lambda/\mu$  — коэффициент загрузки,  $\lambda$  — интенсивность поступления запросов,  $\mu$  — средняя интенсивность обслуживания,  $K$  — длина очереди.

Как показано в таблице 3, предлагаемая модель сети 6G превосходит сети 5G по скорости передачи данных, задержке и пропускной способности сети. Предлагаемая модель сети 6G может поддерживать скорость передачи данных в диапазоне от 1 000 до 10 000 Мбит/с, что в 10 раз быстрее, чем в сетях 5G. В сетях 6G также чрезвычайно низкая задержка (менее 1 мс), что имеет решающее значение для приложений реального времени, таких как дополненная реальность и автономные транспортные средства. Кроме того, предлагаемая модель сети 6G имеет чрезвычайно высокую пропускную способность сети, которая может одновременно поддерживать большое количество устройств и приложений [8].

Будущие исследования и разработки в области сетей 6G могут быть сосредоточены на решении технических проблем, связанных с внедрением такой сети. Некоторые из ключевых областей исследования могут включать:

1. Усовершенствованные антенные технологии. Разработка передовых антенных технологий, таких как массовые ММО и формирование луча, для улучшения качества сигнала и снижения помех.

2. Разработка устройств, поддерживающих терагерцовые частоты. Сюда также можно включить новые материалы и технологии, позволяющие разрабатывать устройства с терагерцовой частотой.

3. Управление сетью на основе ИИ. Разработка систем управления сетью на основе ИИ, которые могут оптимизировать сетевые ресурсы и смягчить влияние атмосферных условий на качество сигнала.

4. Безопасность и конфиденциальность. Разработка безопасных и частных систем связи, которые могут защитить пользовательские данные и предотвратить несанкционированный доступ.

5. Стандартизация. Разработка основ стандартизации для сетей 6G, чтобы обеспечить взаимодействие и совместимость между различными устройствами и сетями [9–13].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель для сетей 6G, включающая использование терагерцовых частот и управление сетью на основе ИИ, представляет собой многообещающее решение

для удовлетворения растущего спроса на более быстрые и надежные сети. Для полной реализации потенциальных преимуществ сетей 6G необходимы дальнейшие исследования и разработки в этой области.

Несмотря на то, что стоимость реализации предлагаемой модели сети 6G выше, чем у сетей 5G, потенциальные преимущества с точки зрения скорости передачи данных, задержки и пропускной способности сети могут сделать ее выгодным вложением. Необходимы дальнейшие исследования и разработки в этой области, чтобы полностью оценить осуществимость и потенциальные преимущества сетей 6G.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Halsall, F. Computer Networking and the Internet. Fifth Edition. — Edinburgh: Pearson Education, 2005. — 832 p.

2. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — 3-е изд. — Санкт-Петербург: Питер, 2010. — 958 с.

3. Halsall, F. Data Communications, Computer Networks, and Open Systems. Fourth Edition. — Edinburgh: Pearson Education, 1996. — 907 p.

4. Turdiev, O. A. Investigation of the Computational Complexity of the Formation of Checksums for the Cyclic Redundancy Code Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial / O. A. Turdiev, V. A. Smagin, V. N. Kustov // Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020), (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceeding. 2021. Vol. 2803. Pp. 129–135. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-129-135.

5. Турдиев, О. А. Сравнение моделей вероятного кода числа PNC и циклического избыточного кода CRC / О. А. Турдиев, А. Д. Хомоненко, М. В. Гофман // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2021. № 4. С. 119–131. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04.P.119.

6. Турдиев, О. А. Исследование вычислительной сложности формирования контрольных сумм для алгоритма CRC в зависимости от разрядности порождающего полинома // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 1/2. С. 52–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.01-2.17.

7. Турдиев, О. А. Методика снижения вычислительной сложности формирования контрольных сумм вероятного кода числа на основе стохастических вычислений / О. А. Турдиев, Д. А. Сейтманбитов, Ш. Ш. Кадилова // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2021. № 4/1. С. 106–118. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04/1.P.106.

8. Исследование формирования блоковой контрольной суммы (BCC) передаваемых данных / О. А. Турдиев, В. В. Яковлев, С. В. Клименко, А. Х. Болтаев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 6. С. 67–71.

9. Турдиев, О. А. Оценки эффективности обнаружения ошибок контрольного суммирования (CRC) передаваемых данных / О. А. Турдиев, С. В. Клименко, А. Б. Тухтаходжаев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 8. С. 54–58.

10. Турдиев, О. А. Модель формирования вероятного кода числа на основе стохастических вычислений // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 4 (28). С. 28–33. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-28-33.

11. Zakirov, V. Reducing of the System Load Using Asynchronous and Synchronous Service Methods (Preprint) / V. Zakirov, E. Abdullaev, F. Shukurov // Research Square. 2023. 9 p. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2418155/v1.

12. Расулмухамедов, М. Сравнение эффективности Fog Computing с Cloud Computing на базе библиотеки iFogSim / М. Расулмухамедов, Ф. Шукуров, Ш. Шукурова // Актуальные вопросы развития инновационно-информационных технологий на транспорте (АВРИИТТ-2021): Материалы I Республиканской научно-технической конференции (Ташкент, Узбекистан, 24–25 ноября 2021 г.). 2022. № 1. С. 59–65. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-pp59-65.

13. Турдиев, О. А. Модель пропускной способности сетей при обслуживании мультисервисного трафика / О. А. Турдиев, А. Б. Тухтаходжаев, Э. С. Абдуллаев // Вестник ТашИИТ. 2019. Т. 15, № 3. С. 70–74.



# Comparison of 5G and 6G Network Technologies to Use Terahertz Frequencies

O. A. Turdiev, F. D. Shukurov, N. Ye. Gaffarov, A. B. Tukhtakhodzhaev

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

odiljan.turdiev@mail.ru, adham.s.dr@gmail.com

**Abstract.** Due to the increasing demand for high-speed Internet connectivity, the development of wireless communication technologies is proceeding at a rapid pace. The purpose of this paper is to compare the performance of 5G and 6G networks for the use of terahertz frequencies. In addition, we will propose a potential model for a future 6G network.

**Keywords:** networks, internet, wireless, network efficiency, terahertz frequencies, data rate.

## REFERENCES

1. Halsall F. Computer Networking and the Internet. Fifth Edition. Edinburgh, Pearson Education, 2005, 832 p.
2. Olifer V. G., Olifer N. A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for universities [Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: Uchebnik dlya vuzov]. St. Petersburg, Piter Publishing House, 2010, 958 p.
3. Halsall F. Data Communications, Computer Networks, and Open Systems. Fourth Edition. Edinburgh, Pearson Education, 1996, 907 p.
4. Turdiev O. A., Smagin V. A., Kustov V. N. Investigation of the Computational Complexity of the Formation of Checksums for the Cyclic Redundancy Code Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial, *Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020)*, (St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020). *CEUR Workshop Proceeding*, 2021, Vol. 2803, Pp. 129–135. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-129-135.
5. Turdiev O. A., Khomonenko A. D., Gofman M. V. Comparison of Probable Code Number PNC and Cyclic Redundancy Code CRC [Sravnenie modeley veroyatnogo koda chisla PNC i tsiklicheskogo izbytochnogo koda CRC], *Bulletin of the Russian New University. Series «Complex Systems: Models, Analysis and Management» [Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie»]*, 2021, No. 4, Pp. 119–131. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04.P.119.
6. Turdiev O. A. Investigation of the Computational Complexity of Generating Checksums for the CRC Algorithm Depending on the Width of the Generating Polynomial [Issledovanie vychislitelnoy slozhnosti formirovaniya kontrolnykh summ dlya algoritma CRC v zavisimosti ot razryadnosti porozhdayushchego polinoma], *Modern Science: Actual of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences [Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki]*, 2022, No. 1/2, Pp. 52–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.01-2.17.
7. Turdiev O. A., Seytmanbitov D. A., Kadirova Sh. Sh. Method for reducing the computational complexity of formation of check sums of a probable code of a number based on stochastic calculations [Metodika snizheniya vychislitelnoy slozhnosti formirovaniya kontrolnykh summ veroyatnogo koda chisla na osnove stokhasticheskikh vychisleniy], *Bulletin of the Russian New University. Series «Complex Systems: Models, Analysis and Management» [Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie»]*, 2021, No. 4/1, Pp. 106–118. DOI: 10.18137/RNU.V9187.21.04/1.P.106.
8. Turdiev O. A., Yakovlev V. V., Klimentko S. V., Boltaev A. X. Study of the Formation of Block Checksum (BCC) of the Transmitted Data [Issledovanie formirovaniya blokovoy kontrolnoy summy (BCC) peredavaemykh dannykh], *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University [Izvestiya SPbGETU «LETI»]*, 2019, No. 6, Pp. 67–71.
9. Turdiev O. A., Klimentko S. V., Tuxtaxodjaev A. B. The Study of the Implementations of the Algorithm Method Checks Summation (CRC) of the Transmitted Data [Otsenki effektivnosti obnaruzheniya oshibok kontrolnogo summirovaniya (CRC) peredavaemykh dannykh], *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University [Izvestiya SPbGETU «LETI»]*, 2019, No. 8, Pp. 54–58.
10. Turdiev O. A. Model for the Formation of a Probable Code of a Number Based on Stochastic Calculations [Model formirovaniya veroyatnogo koda chisla na osnove stokhasticheskikh vychisleniy], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2021, No. 4 (28), Pp. 28–33. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-428-28-33.
11. Zakirov V., Abdullaev E., Shukurov F. Reducing of the System Load Using Asynchronous and Synchronous Service Methods (Preprint), *Research Square*, 2023, 9 p. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2418155/v1.
12. Rasulmukhamedov M., Shukurov F., Shukurova Sh. Comparison of Fog Computing Efficiency with Cloud Computing Based on the iFogSim Library [Sravnenie effektivnosti Fog Computing s Cloud Computing na baze biblioteki iFogSim], *Current Issues of Development of Innovative and Information Technologies in Transport (AVRIIT-2021): Proceedings of the I Republican Scientific and Technical Conference [Aktualnye voprosy razvitiya innovatsionno-informatsionnykh tekhnologiy na transporte (AVRIIT-2021): Materialy I Respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii]*, Tashkent, Uzbekistan, November 24–25, 2021, 2022, No. 1, Pp. 59–65. DOI: 10.47689/978-9943-7818-0-1-pp59-65.

13. Turdiyev O. A., Tukhtakhodjaev A. B., Abdullaev E. S. The Model of Network Bandwidth When Servicing Multi-Service Traffic [Model propusknoy sposobnosti setey pri obsluzhivanii multiservisnogo trafika], *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers [Vestnik TashIIT]*, 2019, Vol. 15, No. 3, Pp. 70–74.

# Оценка готовности компании к цифровой трансформации: домен бизнес-процессов

к.э.н. В. В. Иванова, к.ф.-м.н. Л. В. Гадасина  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Санкт-Петербург, Россия  
v.ivanova@spbu.ru, l.gadasina@spbu.ru

**Аннотация.** Рассматриваются подходы к оценке зрелости/готовности бизнес-процессов к цифровой трансформации. Предлагаются критерии для оценки, в том числе: автоматизация бизнес-процессов, стандартизация бизнес-процессов, интеграция бизнес-процессов, измерение бизнес-процессов, управление процессами. Для каждого критерия предлагается система метрик.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, готовность бизнес-процессов, критерии готовности бизнес-процессов.

## ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе актуальность цифровой трансформации компаний не снижается, а скорее даже увеличивается. Такое утверждение можно обосновать следующими фактами: необходимость изменения бизнес-процессов компаний, для многих — необходимость реинжиниринга самой бизнес-модели. Стратегию трансформации в новых условиях приходится выстраивать быстро и с учетом новых вызовов и рисков, связанных с переходом на отечественное программное обеспечение. Иными словами, в условиях высокой неопределенности эффективность реализации во многом зависит от возможности адаптации к изменившимся условиям [1].

Для сокращения негативных последствий трансформации необходима предварительная оценка готовности компании к трансформации, что ведет к необходимости определить разумный пул возможных проектов, а также направлений изменений. Соответствующих моделей для оценки представлено достаточно. Отметим некоторые из них: модель цифровой зрелости компании Deloitte [2]; модель оценки цифровых способностей компании KPMG [3] и ряд других. На текущий момент больший интерес представляют отечественные разработки, учитывающие специфику российских компаний, в том числе модель, разработанная Высшей школой экономики [4], модель DTRA [5].

Анализ моделей оценки позволяет сделать следующие выводы.

Модели преимущественно основываются на нескольких доменах оценки. К основным можно отнести:

1. Стратегия/Бизнес-модель;
2. Организационная структура/Архитектура;
3. Бизнес-процессы;
4. Технологии;
5. Цифровая компетентность/Цифровая культура;
6. Клиенты/Взаимоотношения с заинтересованными лицами;
7. Управление данными.

Оценка осуществляется или на основе многоуровневой системы параметров, или, что бывает чаще, по результатам опросов и расширенных интервью.

Определяют от 4 до 6 уровней зрелости/готовности, при этом критерии и показатели оценки по каждому домену могут быть достаточно расплывчатыми и должны быть адаптируемы под разные типы компаний.

В свою очередь, для каждого домена даются рекомендации для определения критериев оценки, а также системы метрик. Как правило, законченных решений модели не предлагают.

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ К ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Прежде всего следует отметить, что существует несколько подходов к оценке готовности/зрелости как отдельных процессов, так и процессной зрелости организации в целом. К ним относятся, например: модель зрелости бизнес-процессов (BPMМ), модель процессной зрелости (Forrester), комплексная модель зрелости способностей (СМММ), модель зрелости процессной организации (РЕММ).

Анализ методологий и практик компаний позволил сделать вывод о необходимости следующих критериев при оценке бизнес-процессов:

1. Автоматизация бизнес-процессов: оценка автоматизации как основных, так и обеспечивающих процессов, а также процессов управления.

2. Стандартизация бизнес-процессов: оценка качества регламентации бизнес-процессов. В описанных (регламентированных) процессах анализируется информация о связи с другими процессами на уровне процесс — поставщик/процесс — клиент, входными/результатирующими потоками, зон ответственности и зон передачи ответственности.

3. Интеграция бизнес-процессов: оценка уровня информационных разрывов, то есть отсутствие ситуации, когда передача данных между процессами идет в ручном режиме, в режиме электронной почты или мессенджеров.

4. Измерение бизнес-процессов: оценка качества системы контролирующих показателей, в том числе ее комплексность (охват), связь со стратегией компании, актуальность.

5. Управление бизнес-процессами: оценка ряда характеристик, связанных с управлением, например: процессы, для которых проводится систематический анализ, качество регламентов реагирования на проблемы и другие.

В таблице 1 представлена возможная система метрик по каждому критерию.

Для оценки бизнес-процессов утверждаются уровни готовности, которых, как и в комплексной оценке, может быть 5-6. Базой для определения уровней служат ГОСТ Р ИСО/МЭК 33004-2017 [6], уровни зрелости, отраженные в BPM СВОК 4.0 [7], а также другие вышеупомянутые модели. Наименование уровней остается стандартным.

Таблица 1

Система метрик оценки готовности бизнес-процессов

Критерии оценки	Метрики
Автоматизация бизнес-процессов	Доля автоматизированных бизнес-процессов (в том числе отраженных в ВРМС)
	Уровни/типы технологий, применяемые при автоматизации/цифровизации процессов
	Доля цифровых процессов
Стандартизация бизнес-процессов	Доля регламентированных процессов/доля стандартов процессов/доля процессов в процессе стандартизации
	Доля стандартов, в которые вносили изменения за последний период
Интеграция бизнес-процессов	Уровень информационных разрывов
	Уровень интеграции клиентов/поставщиков в бизнес-процессы
Измерение бизнес-процессов	Охват системы контролируемых показателей
	Степень формализации и систематизации измерения эффективности
	Степень измерения в режиме реального времени
	Степень связи показателей процессов со стратегической картой (граф показателей)
	Частота обновления системы показателей
	Степень присутствия категорий измерения: операционной эффективности, финансов, законодательства, проблем, потребительского опыта взаимодействия, качества
Управление процессами	Уровень автоматизации представления и обновления системы показателей для руководителей (панели приборов)
	Доля процессов, для которых проводится систематический анализ (имитация, process mining и др.)
	Наличие ролей BPM
	Наличие регламентов реагирования на проблемы процессов

Для каждого показателя определяются границы принадлежности к тому или иному уровню готовности. Например, для показателя «Доля регламентированных процессов» можно определить границы следующим образом: начальный (начинающий) — до 12 %, управляемый (продолжающий) — до 33 %, стандартизированный (закрепляемый) — до 60 %, измеряемый (внедряемый) — до 80 %, выше — совершенствующий.

Следующий шаг — определение методики расчета интегрированной метрики для оценки уровня по каждому критерию. Соответственно, формируется шкала уровня готовности по каждому критерию. Таким образом возможно оценить уровень готовности/зрелости бизнес-процессов компании. Сама оценка по каждому критерию должна быть достаточно развернутой и понятной заинтересованным лицам. Приведем пример представления оценки: «Интеграция. Уровень информационного взаимодействия внутри компании ниже 55 %. Возможны поступления обращений, связанные с незнанием источников поступления информации. Вовлеченность клиентов/поставщиков в бизнес-процессы менее 49 %, но уже существует обратная связь, возможно по электронной почте. Рекомендация: обратите внимание на разработку методов обратной связи с потребителями бизнес-процессов. Создайте информационно-

аналитическую базу понимания организации и ее клиентов/поставщиков, чтобы выстроить приоритеты и в дальнейшем разработать план взаимодействия. Составьте профиль ваших клиентов/поставщиков — их ожиданий, характеристик и предпочитаемого подхода к проблеме взаимодействия».

Приведенная выше оценка носит общий рекомендательный характер и приведена как пример результата первоначальной оценки готовности к трансформации. Основная цель — определить возможные критические области, на которые в первую очередь надо направить усилия или, наоборот, исключить заранее провальные проекты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая трансформация: ожидания и реальность: Доклад НИУ ВШЭ к XXIII Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества (Москва, Россия, 05–22 апреля 2022 г.) / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишнеvский, [и др.]. — Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2022. — 220 с.
2. Digital Maturity Model: Achieving Digital Maturity to Drive Growth // TMForum. URL: <http://www.tmforum.org/wp-content/uploads/2018/08/Deloitte-DMM.pdf> (дата обращения 09.04.2023).
3. Are You Ready for Digital Transformation? Measuring Your Digital Business Aptitude // KPMG International. URL: <http://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/measuring-digital-business-aptitude.pdf> (дата обращения 09.04.2023).
4. Исаев, Е. А. Оценка готовности ИТ-подразделения компании к цифровой трансформации бизнеса / Е. А. Исаев, Н. Л. Коровкина, М. С. Табакова // Бизнес-информатика. 2018. № 2 (44). С. 55–64. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.55.64.
5. Stoianova O. V. The Framework for Assessing Company's Digital Transformation Readiness / O. V. Stoianova, T. A. Lezina, V. V. Ivanova // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2020. Т. 36, No. 2. С. 243–265. DOI: 10.21638/spbu05.2020.204.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 33004-2017. Информационные технологии. Оценка процесса. Требования к эталонным моделям процесса, моделям оценки процесса и моделям зрелости = Information technologies. Process assessment. Requirements for process reference, process assessment and maturity models: национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 марта 2017 года № 97-ст: дата введения 2018-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2017. — 12 с.
7. Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 4.0 / Т. Бенедикт, М. Кирхмер, М. Шарсиг, [и др.]; пер. с англ. А. Матусевича, научн. ред. А. Белайчук. — Москва: Альпина Паблишер, 2023. — 504 с.

# Assessing a Company's Digital Transformation Readiness: Business Process Domain

PhD V. V. Ivanova, PhD L. V. Gadasina  
Saint Petersburg State University  
Saint Petersburg, Russia  
v.ivanova@spbu.ru, l.gadasina@spbu.ru

**Abstract.** Approaches to assessing the maturity/readiness of business processes for digital transformation are considered. Criteria for evaluation are proposed, including: Automation of business processes, Standardization of business processes, Integration of business processes, Measurement of business processes, Process management. A system of metrics is proposed for each criterion.

**Keywords:** digital transformation, business process readiness, business process readiness criteria.

## REFERENCES

1. Abdrakhmanova G. I., Vasilkovsky S. A., Vishnevsky K. O., et al. Digital Transformation: Report of the Higher School of Economics to the XXIII Yasinsk (April) International Scientific Conference on Problems of Economic and Social Development [Tsifrovaya transformatsiya: ozhidaniya i realnost: Doklad NIU VShE k XXIII Yasinskoy (Aprelskoy) mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva] (Moscow, Russia, April 05–22, 2022). Moscow, Higher School of Economics, 2022. 220 p.
2. Digital Maturity Model: Achieving Digital Maturity to Drive Growth, *TMForum*. Available at: <http://www.tmforum.org/wp-content/uploads/2018/08/Deloitte-DMM.pdf> (accessed 09 Apr 2023).
3. Are You Ready for Digital Transformation? Measuring Your Digital Business Aptitude, *KPMG International*. Available at: <http://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/measuring-digital-business-aptitude.pdf> (accessed 09 Apr 2023).
4. Isaev E. A., Korovkina N. L., Tabakova M. S. Evaluation of the Readiness of a Company's IT Department for Digital Business Transformation [Otsenka gotovnosti IT-podrazdeleniya kompanii k tsifrovoy transformatsii biznesa], *Business Informatics [Biznes-informatika]*, 2018, No. 2 (44), Pp. 55–64. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.55.64.
5. Stoianova O. V., Lezina T. A., Ivanova V. V. The Framework for Assessing Company's Digital Transformation Readiness, *St. Petersburg University Journal of Economic Studies [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika]*, 2020, Vol. 36, No. 2, Pp. 243–265. DOI: 10.21638/spbu05.2020.204.
6. GOST R ISO/IEC 33004-2017. Information technologies. Process assessment. Requirements for process reference, process assessment and maturity models [Informatsionnye tekhnologii. Otsenka protsessa. Trebovaniya k etalonnym modelyam protsessa, modelyam otsenki protsessa i modelyam zrelosti]. Effective from January 01, 2018. Moscow, StandartInform Publishing House, 2017, 12 p.
7. Benedict T., Kirchmer M., Scharsig M. BPM CBOK Version 4.0 Guide to the Business Process Management Common Body of Knowledge [Svod znaniy po upravleniyu biznes-protsessami: BPM CBOK 4.0]. Moscow, Alpina Publisher, 2023, 504 p.

# Многокритериальный анализ альтернатив в нечеткой информационной среде в задачах управления рисками в организации

К. А. Гончаров

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Москва, Россия

goncharovkostya.1997@gmail.com

**Аннотация.** Процесс управления рисками в организации представляет особую важность при осуществлении организацией своей основной коммерческой и иной деятельности. Эффективно выстроенная система управления рисками способна помочь уменьшить или вовсе избежать негативных последствий при реализации тех или иных рисков. В реальных условиях построение эффективной модели риск-менеджмента может быть существенно затруднено наличием некоторого набора неопределенностей и неточностей в описании или критериях риска. Для автоматизации подобной задачи могут быть применены различные программно-аппаратные комплексы, использующие математический инструментальный многокритериальный анализ альтернатив в нечеткой информационной среде. В данной работе проводится описание основных этапов риск-менеджмента в организации и создаются предпосылки интеграции математических методов многокритериального анализа альтернатив в процесс риск-менеджмента.

**Ключевые слова:** управление рисками, анализ альтернатив, нечеткая логика, информационные технологии, автоматизация риск-менеджмента.

## СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

В условиях современной экономики организации могут столкнуться с вероятностью реализации определенных негативных событий, способных кардинально повлиять на способность организации осуществлять свою дальнейшую деятельность, вплоть до невозможности дальнейшего функционирования и существования. Сочетание вероятности и последствий реализации некоторого негативного события носит название «риск». Для управления рисками могут быть применены различные инструменты и методы, в том числе и математические. Однако в современных условиях организациям зачастую приходится иметь дело с набором различного рода неопределенностей и неточностей. В таких условиях необходимо учитывать нечеткость информационной среды и исходя из этого выбирать наиболее подходящие математические методы. Одним из таких вариантов являются методы многокритериального анализа альтернатив. Данный набор методов и алгоритмов включает как методы работы с четкими данными, так и методы, предназначенные для работы в нечеткой информационной среде.

Для того чтобы сделать вывод о возможности применения математического аппарата многокритериального анализа альтернатив в процессе риск-менеджмента в организации, необходимо проанализировать сущность и процессы каждого этапа процесса управления рисками в орга-

низации, а также сущность применяемого для решения задачи математического инструментария. Также необходимо сделать корректировку выбираемого математического инструментария с учетом того факта, что имеющиеся фрагменты информационной среды решаемых задач могут иметь нечеткие характеристики.

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВ В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ

Многокритериальный анализ альтернатив — семейство математических методов, которые на основе числовых характеристик представленных альтернатив способны выбрать наилучшую или наиболее приближенную к наилучшей. В условиях нечеткости представленной информационной среды процесс выбора затрудняется и требует введения дополнительных математических средств, поскольку не все критерии определены четко. Альтернатива в контексте многокритериального анализа является одним из множества вариантов возможных принимаемых решений. Исходом считается набор последствий или состояние объекта исследования, наступившее вследствие реализации выбранной альтернативы. Критерием является числовая характеристика описываемой альтернативы. Методы многокритериального анализа альтернатив также могут быть скорректированы наличием предпочтений лица, принимающего управленческое решение. Суждения лица, принимающего управленческое решение, могут быть выражены в различной форме:

- непосредственное назначение весов отдельным критериям;
- парные сравнения критериев;
- указание наилучшего по мнению лица, принимающего управленческое решение, решения;
- иные формы [1].

В процессе принятия решений люди могут играть разные роли. Человека, фактически осуществляющего выбор наилучшего варианта действий, принято называть лицом, принимающим решения [2]. Стоит отметить, что суждения лица, принимающего решение, могут быть сформированы недостаточно четко. Помимо этого, и сами оценки альтернатив могут принимать определенные значения с некоторой долей погрешности. Именно эти факты и определяют необходимость применения математических методов и моделей, позволяющих взаимодействовать с нечеткими величинами в рамках решения задачи многокритериального анализа альтернатив.

Существует несколько конкретных методов многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде, например нечеткая логика, или нечеткий анализ иерархий, позволяющий выявлять взаимосвязь между отдельными критериями внутри одной альтернативы и учитывать приоритеты одних критериев над другими. Для решения задач данного класса также возможно применить методы теории возможностей и теории нечетких множеств.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА АЛЬТЕРНАТИВ  
В НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ  
ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Обычно процесс принятия решений включает в себя следующие составляющие: планирование, генерирование ряда альтернатив, установление приоритетов, выбор наилучшей линии поведения после нахождения ряда альтернатив, распределение ресурсов, определение потребностей, предсказание исходов, построение систем, измерение характеристик, обеспечение устойчивости системы, оптимизация и разрешение конфликтов [3].

Процесс управления рисками в организации реализует данные этапы процесса принятия решений в следующем виде.

1. Идентификация рисков. Основная задача данного этапа — выявить и составить список рисков, которые способны повлиять на протекание бизнес-процессов в организации. Данный этап является основополагающим для всего процесса риск-менеджмента, поскольку именно на основе данных об угрозах можно составлять соответствующий план по управлению ими. Данный этап является аналитическим и не предполагает внедрение аппарата многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде, поскольку предполагает ручной анализ внутренней и внешней среды и факторов. Результатом данного этапа является формализованный список существующих рисков и их лингвистическое описание. Формализованный список обнаруженных рисков представляет собой методологическую базу для осуществления деятельности в рамках этапа оценки выявленных рисков.

2. Оценка выявленных рисков. На данном этапе проводится аналитическая работа по оценке числовых характеристик каждого отдельно взятого риска, таких как: вероятность реализации данного риска, степень критичности его влияния на деятельность организации при его реализации, степень уязвимости организации к риску, размер финансовых и иных нематериальных последствий. На данном этапе могут быть применены такие существующие методики оценки рисков, как матрица рисков, SWOT-анализ, анализ влияния и т. д. В результате проведенных работ в рамках данного этапа у каждого риска появляется набор числовых характеристик, что делает возможным применение численных методов и соответствующих комплексов автоматизированных информационных систем на дальнейших этапах процесса управления рисками. Стоит отметить, что некоторые числовые характеристики отдельно взятого риска могут иметь определенную долю неточности, поскольку проводится оценка риска в нечеткой информационной среде.

3. Разработка стратегии управления рисками в организации. На данном этапе осуществляется выбор стратегии

управления отдельно взятыми рисками в организации. Ключевой выбор может включать в себя: принятие риска, избегание риска, минифицирование риска или перенос риска. Решение принимается компетентным лицом на основе численных характеристик риска, полученных на прошлом этапе, а также на основе личных суждений, опыта и предпочтений. На данном этапе может быть применен математический инструментальный многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде. Поскольку результатом данного этапа является решение о применении единственной стратегии управления риском из существующих, возможно переформатирование данного этапа в задачу многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде и решение ее одним из существующих методов. Альтернативами в данном случае выступают стратегии управления рисками в организации, а критериями — полученные для каждой отдельно взятой альтернативы числовые оценки на этапе оценки выявленных рисков. Критериями, участвующими в расчетах, могут выступать такие характеристики риска, как степень риска, стоимость реализации предложенной стратегии (альтернативы), влияние на степень реализации риска и т. д. Выбор альтернативы может быть скорректирован при наличии у лица, принимающего управленческое решение (или группы таких лиц) субъективных предпочтений. В рамках данного этапа может возникнуть необходимость проведения дополнительных аналитических исследований на предмет оценки критериев предложенных стратегий управления риском. После выбора конкретной стратегии управления риском можно приступать к следующему этапу.

4. Реализация мер в рамках выбранной стратегии управления риском. На данном этапе предполагается выделение лица, ответственного за реализацию мер, предусмотренных выбранной на прошлом этапе стратегии управления риском. Меры, предусмотренные выбранной стратегией, могут включать заключение страховых договоров, обучение сотрудников, совершенствование мер внутренней безопасности и т. д. В результате действий, предпринятых на данном этапе, создается возможность осуществлять мониторинг на предмет оценки адекватности отработанной математической модели анализа рисков. Непосредственный мониторинг эффективности предпринятых мер — сущность следующего этапа процесса управления риском в организации.

5. Мониторинг и анализ эффективности реализованных мер по управлению риском. На данном этапе производится анализ эффективности принятых мер в рамках выбранной стратегии, что по сути является проверкой адекватности отработанной модели многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде. Если реализованные меры признаются неэффективными, необходимо возврат на несколько этапов назад в процессе управления риском, вплоть до его переисследования. Если меры признаны эффективными, то необходимо продолжать мониторинг и провести анализ мер на предмет их действия в долгосрочной перспективе. Оценка адекватности математической модели позволяет оценить, насколько точно модель способна отражать реальные процессы и сущности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ методов и сущности математического инструментария многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде, а также детальный анализ процесса управления рисками в организации позволяет сделать вывод о том, что задача управления рисками в организации на определенном этапе может иметь возможность быть сведенной к задаче многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде. Применение математических средств при решении данного класса задач позволяет достичь более высокой эффективности, а также дает возможность автоматизировать данные задачи с помощью программного обеспечения. Однако применение математиче-

ских средств на определенном этапе отдельно взятых процессов зачастую требует формализации решаемой задачи для ее соответствия применяемым методам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, В. П. Многокритериальный анализ решений при нечетких областях предпочтений / В. П. Осипов, В. А. Судаков // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2017. № 6. 16 с. DOI: 10.20948/prepr-2017-6.
2. Лотов, А. В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие / А. В. Лотов, И. И. Поспелова. — Москва: МАКС Пресс, 2008. — 197 с.
3. Саати, Т. Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. — Москва, Радио и связь, 1993. — 315 с.



# Multi-Criteria Analysis of Alternatives in a Fuzzy Information Environment in the Tasks of Risk Management in the Organization

K. A. Goncharov

Financial University under the Government of the Russian Federation

Moscow, Russia

goncharovkostya.1997@gmail.com

**Abstract.** The process of risk management in the organization is of particular importance when the organization carries out its main commercial and other activities. Effectively built risk management system can reduce or avoid negative consequences of the realization of certain risks. In real conditions building of effective risk management model can be essentially complicated by presence of some set of uncertainties and inaccuracies in the description or criteria of risk. To automate such a task can be applied various hardware-software complexes that use mathematical tools of multi-criteria analysis of alternatives in a fuzzy information environment. This paper describes the main stages of risk management in the organization and creates prerequisites for the integration of mathematical methods of multi-criteria analysis of alternatives in the risk management process.

**Keywords:** risk management, alternatives analysis, fuzzy logic, information technology, risk management automation.

## REFERENCES

1. Osipov V. P., Sudakov V. A. Multi-Criteria Decision Analysis with Fuzzy Preference Areas [Mnogokriterialnyy analiz resheniy pri nechetkikh oblastiakh predpochteniy], *Keldysh Institute Preprints [Preprinty IPM im. M. V. Keldysha]*, 2017, No. 6, 16 p. DOI: 10.20948/prepr-2017-6.

2. Lotov A. V., Pospelova I. I. Multi-criteria decision-making tasks: Study guide [Mnogokriterialnye zadachi prinyatiya resheniy: Uchebnoe posobie]. Moscow, MAKS Press Publishing House, 2008, 197 p.

3. Saaty T. L. Decision making: The Analytic Hierarchy Process [Prinyatie resheniy: Metod analiza ierarkhiy]. Moscow, Radio and Communications Publishing House, 1993, 315 p.

# Об интегрированном автоматизированном подходе к управлению качеством на предприятии

PhD Ш. Д. Тойбаева, д.т.н. И. Т. Утепбергенов

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева

Алматы, Казахстан

sh.toibaeva@aes.kz, i.utepbergenov@aes.kz

**Аннотация.** Рассматривается качество, которое является одним из важных стратегических инструментов в бизнесе. Большое значение в системе менеджмента качества предприятия имеет оценка эффективности, где необходимо учитывать специфику показателей качества, многоуровневый характер разрабатываемой системы и выбор оптимального количества показателей эффективности и мониторинга состояния системы — это связано с получением рациональных решений по управлению системой менеджмента качества.

Предложены метод и модель автоматизированного управления качеством предприятия и интеллектуальная автоматизированная система управления качеством предприятия, интегрированная с управляющими подсистемами MICS, позволяющие автоматизировать процессы внедрения и поддержки системы менеджмента качества и повысить обоснованность, оперативность и эффективность управленческих решений за счет автоматизации ряда функций лиц, принимающих решения, и персонала.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, управление качеством, оценка эффективности.

## ВВЕДЕНИЕ

Концепция Стратегического плана развития Республики Казахстан требует разработки методов устойчивого управления предприятием [1].

Устойчивость предприятия — это состояние экономических и финансовых ресурсов, обеспечивающее постоянную прибыль, выполнение обязательств заинтересованными лицами и достаточные условия для производственной деятельности, а также учет внешних и внутренних факторов деятельности предприятия [2].

Разработка и внедрение системы менеджмента качества (СМК) — это инновационный процесс, призванный повысить ее результативность и эффективность. В последние несколько лет отмечается развитие систем, основанных на управлении с помощью интеллекта [3]. Особенно следует отметить направление развития систем, использующих аппарат нечеткой логики: нечеткие множества, нечеткое моделирование и т. д.

Метод ввода и анализа данных о соответствии качества предприятия быстро устаревает, поскольку новые технологии упрощают сбор и управление данными. ИТ-технологии используют новые технологии для того, чтобы менеджеры тратили свое время на планирование и организацию будущего роста, изменения и совершенствования предприятия.

Использование ИТ-технологий позволяет менеджерам по качеству вывести предприятие на новый уровень управления качеством.

Согласно стандартам СТ РК ИСО 9001-2015 и СТ РК ИСО 9001-2016 «процессы СМК должны быть внедрены результативно», кроме того, результативность СМК требует: обеспечения (пункт 5.6.1), анализа (пункт 5.6.3), демонстрации (пункт 8.4), постоянного улучшения (пункты 4.1 и 5.1) и совершенствования (пункты 5.3, 6.1, 8.1 и 8.4). Вместе с тем пункт 4.2.4 требует подтверждения оценки и достижения результатов работы. В общем случае результативность можно отнести к реализации намеченных целей и задач организации, к отражению степени внедрения той или иной стратегии, тогда как эффективность относится к оценке потребления ресурсов предприятия в процессе реализации стратегий предприятия [4].

Оценить эффективность производственных процессов несложно, трудности возникают при определении критериев эффективности, определении методов мониторинга и измерения показателей эффективности.

Оценка качества менеджмента зависит от статических и динамических показателей системы менеджмента (моделирование, построение и функционирование СМК). Общепринятых методик оценки результативности СМК не существует. Также не стандартизированы нормативные значения характеристик качества. Следовательно, исследователи в этой области не пришли к однозначному выводу.

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Данное исследование основано на работах отечественных и зарубежных ученых, представленных ниже.

Большое внимание авторы Р. Каплан, Д. Нортон в работе «Сбалансированная система показателей, определяющая эффективность организации» уделили методам управления в бизнес-среде предприятия — сбалансированной системе показателей (balanced scorecard, BSC) — использующейся как один из способов оценки эффективности деятельности компании. BSC используется как инструмент, направленный на повышение эффективности процессов внутренней и внешней коммуникации, мониторинга и улучшения показателей деятельности предприятия [5, 6]. BSC не используется как инструмент для формирования траектории развития предприятия, а применяется для характеристики стратегии в определенный момент [7]. В работах В. А. Качалова рассматриваются проблемы создания,

внедрения, сертификации и совершенствования экологических СМК на основе стандартов ISO 9001:2015 и ISO 14001:2015 [8].

Для повышения производительности, которая определяется снижением количества дефектов, процессов и услуг, в рамках разработки автоматизированных систем менеджмента качества предприятий в Казахстане также рассматривается наиболее распространенная методология «Шесть сигм» [9–11]. Моисеева А. В. провела сравнительный анализ программного обеспечения, используемого для управления качеством, и обзор специального программного пакета, который распространяется для мониторинга основных бизнес-процессов предприятия [12, 13]. Рассматривается влияние использования ИТ-продуктов на систему менеджмента качества предприятия для обеспечения большей эффективности СМК.

Информационные технологии используются для укрепления взаимосвязи между потреблением и производством, обмен информацией необходим для их совместной работы в целях организации и управления производителями и потребителями [14].

Для представления и управления знаниями в СМК в виде онтологического моделирования была рассмотрена монография Б. Кубекова «Организация и представление знаний планового обучения на основе онтологий» [15], где была разработана новая методология представления компонентов знаний на основе онтологического инжиниринга. В работе [16] представлены методы моделирования бизнес-процессов, начиная с детального проектирования архитектуры и заканчивая реализацией бизнес-логики.

В работе В. Н. Бурковой [17] разработана модель управления организационными системами и представлена технология решения возникающих проблем управления в про-

цессе их использования. В работе «Механизмы управления: многофункциональный учебник» [18] авторами представлены основные механизмы управления организационными системами, приведены примеры моделирования сложных технологий управления, рассмотрены математические модели в задачах теории управления организационными системами и их приложениях. Также уделяется внимание математическому аппарату, связанному с задачами оптимального управления в моделях функционирования активных систем, приводятся высокоэффективные методы принятия решений и примеры задач управления на основе алгоритмов «распараллеливания» решений [19].

#### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Современные исследования в области управления качеством имеют большое теоретическое и практическое значение. Но их наличие как работ по теме исследования не снимает необходимости дальнейшего исследования теоретико-методологических основ и вопросов практического применения в сфере бизнеса. По результатам проведенного обзора статей, опубликованных по данной теме, видно, что рассматриваются лишь некоторые вопросы и проблемы исследуемой области. Например, в Казахстане не разработаны аналоги на основе общепринятой стандартизированной методики оценки результативности и эффективности СМК, не разработаны решения ряда проблем в данной области автоматизации.

Анализ журналов в области исследований — «Автоматизация в промышленности», «Методы менеджмента качества», научно-технического журнала «Автоматизация процессов управления» — показал тенденцию роста интереса к автоматизации СМК в рамках научных исследований и прикладных решений (рис. 1).

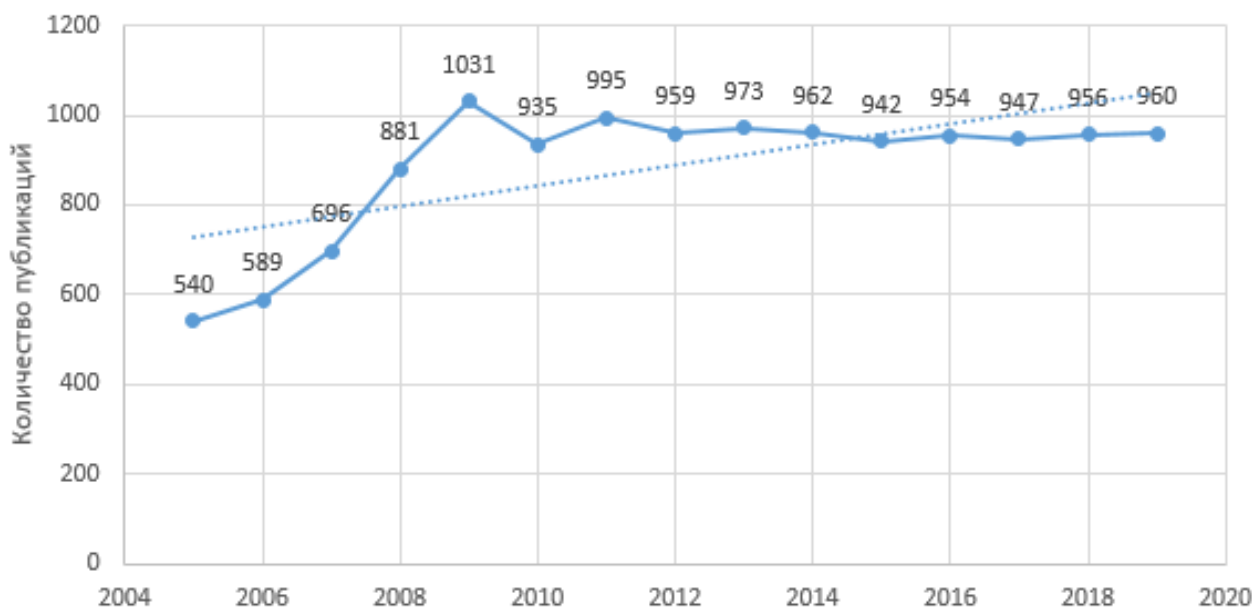


Рис. 1. Количество публикаций по запросу «управление качеством»

С начала 2002 года организация, разработка и внедрение СМК организаций в Казахстане заметно усилилась.

Разработка и внедрение стандартов является частью ежегодного плана стандартизации Республики Казахстан в области менеджмента.

Согласно данным за 2021 год, Казахстан занимает 74-е место в мировом рейтинге по количеству сертифицированных предприятий — 503 организации (рис. 2).

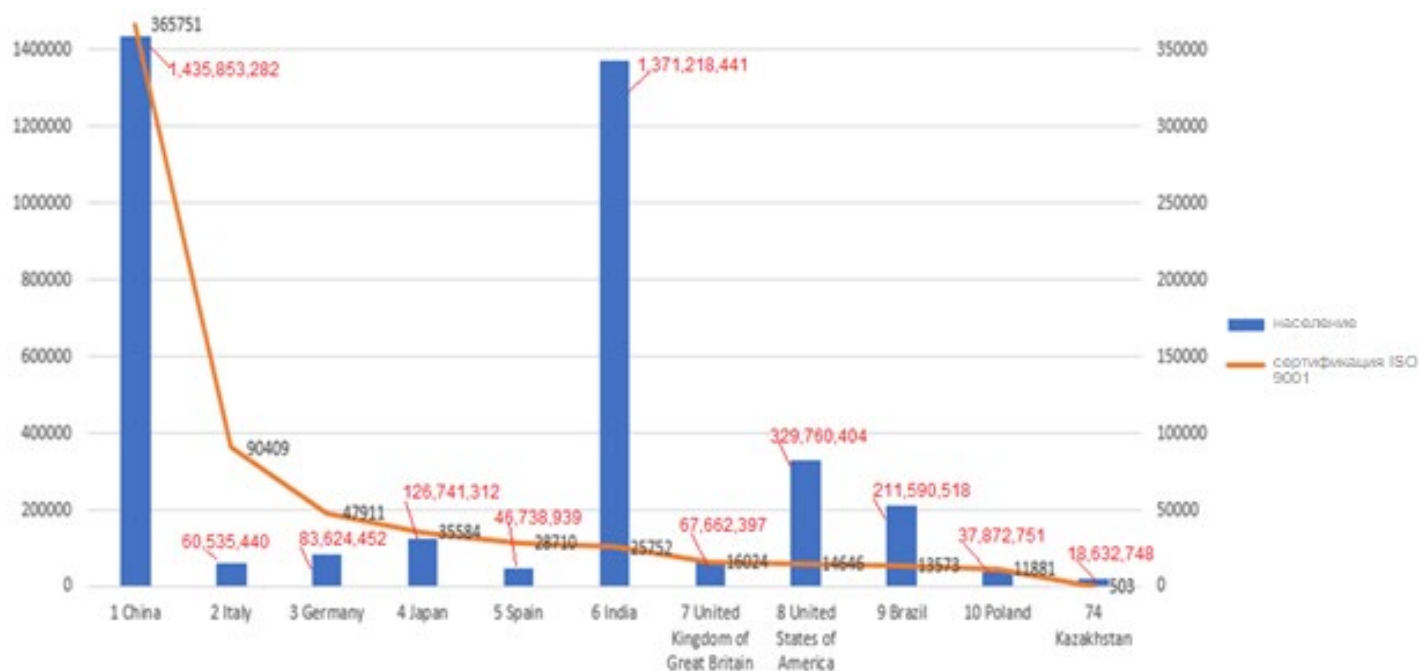


Рис. 2. Результаты исследования ISO 9001

Интеграция систем управления является объективной необходимостью. Проектирование и разработка такой системы управления может быть классифицирована как глубокий инновационный проект, направленный на повышение эффективности управления организацией в целом. В работе А. Атеса и В. Битичи [21] бизнес-среда рассматривается как постоянно меняющаяся, а идея управления изменениями рассматривается как часть адаптации к неопределенному будущему, что является вызовом, требующим устойчивости — способности компании держаться, адаптироваться и контролировать устойчивость бизнеса в условиях высокого роста.

Автоматизация предприятия требует больших затрат времени и инвестиций. Несмотря на настройки системы и соответствие стандартам ISO, она не сможет своевременно оценить и обработать большой объем информации, имеющей отношение к функционированию организации. Необходимая информация своевременно не передается в процесс в полном объеме, в связи с чем принимаемые решения, чаще всего, будут недостаточно адекватными, и решить эту проблему может только автоматизированная система, разработанная и адаптированная к предприятию [22].

Принципиально важно, чтобы для управления качеством обязательно использовались современные средства автоматизации, а разработанное ИТ-решение подходило для решения целого ряда задач. Положения стандартов серии ISO 9001 основаны на модификации и адаптации информационных потоков на предприятии [23], что делает возможным разработку и использование универсального программного обеспечения.

Казахстанские предприятия проводят сертификацию качества в своих организациях, что является важной бизнес-стратегией. С развитием информационных технологий возникла проблема устаревания традиционных методов управления данными о соответствии требованиям менеджмента качества [24, 25].

Инновационные компании применяют новые подходы к управлению системами, а менеджеры по качеству предприятий добиваются больших результатов для своих организаций за меньшее время [26, 27].

#### ПРЕДЛАГАЕМАЯ МОДЕЛЬ

Дана система менеджмента качества предприятия, которая включает: объект управления (предприятие), персонал, производственные и бизнес-процессы, аудиторы и показатели деятельности предприятия. СМК влияет на показатели деятельности предприятия путем улучшения производственных и бизнес-процессов и может быть включена в показатели как оцениваемые показатели результативности СМК предприятия. Процесс СМК осуществляется путем выдачи персоналом документированной информации и периодической оценки выполнения персоналом своих обязанностей, принятия проектной документации и их последующего контроля. Поскольку этот процесс очень трудоемкий, он отвлекает персонал компании от основной работы.

Требуется автоматизировать СМК предприятия и разработать систему автоматизации управления качеством предприятия. Для этого необходимо рассмотреть следующие этапы процесса автоматизации:

1. Интерактивный сбор информации, который позволяет автоматизировать процесс принятия управленческих решений для следующего этапа мониторинга.

2. На основе полученной информации построение нечетких и множественных интеллектуальных моделей управления бизнес-процессами, представляющих зависимость эффективности СМК от характеристик процессов с использованием их производственной формы.

3. Непрерывный мониторинг и визуализация управляемости процессов предприятия, позволяющие обеспечить статистическую управляемость и стабильность СМК предприятия.

4. Возможность реализации автоматизированного управления СМК предприятия на основе интеллектуальной информационной системы.

В соответствии с постановкой задачи предлагается следующее автоматизированное управление системой управления предприятием с использованием модели интеллектуальной системы управления качеством производственных процессов.

Автоматизированная система управления качеством предприятия (АСУК) состоит из следующих компонентов, которые представлены на рисунке 3:

- $\{X\}(t)$  — значение показателей качества бизнес-процессов;
- объект управления — предприятие;
- автоматизированная система управления качеством;
- $Y(t)$  — параметры оценки качества;
- $P(t)$  — оценка эффективности деятельности предприятия;
- $U(t)$  — управляющее воздействие;
- $Z(t)$  — возмущающие воздействия, экспертные знания для получения исходных количественных показателей.



Рис. 3. Структурная схема автоматизированной системы управления менеджментом качества предприятия

Краткое описание функционирования автоматизированной системы управления:

1. Входные данные  $\{X\}(t)$  поступают на объект управления, а для лиц, принимающих решения (ЛПР), имеется доступ к просмотру.

2. Объект управления предприятием имеет 4 группы процессов: основные процессы, процессы управления, процессы измерения и улучшения и вспомогательные процессы. Каждый из процессов содержит показатели для количественной оценки эффективности управления качеством предприятия.

3.  $Z(t)$  — положительное возмущающее воздействие, с его помощью предлагаемая система позволяет обеспечить модели «Расчет показателей качества для мониторинга эффективности АСУК предприятия» для ранжирования важных показателей процессов и определения эффективности менеджмента качества предприятия и «Статистическое управление СМК предприятия» для обеспечения статистического контроля предприятия. Цифровые показатели, полученные в результате первоначальных экспертных оценок, в дальнейшем используются для обработки в оценочных моделях.

4.  $Y(t)$  определяет параметры оценки качества. Информация о текущих значениях поступает в систему управления, используя нечетко-множественную модель интеллектуального управления производственными процессами, система управления оказывает управляющее воздействие  $U(t)$  на рекомендуемую систему управления, и на выходе  $P(t)$  оценивает работу предприятия.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложенная в соответствии с разработанной методологией архитектура интеллектуальной автоматизированной системы управления автоматизированной системой управления качеством предприятия включает 3 модуля (рис. 4):

1. Модуль анализа экспертных данных предназначен для ввода и оценки показателей количественной оценки эффективности СМК предприятия.

2. Модуль работы с нечеткими тенденциями предназначен для интеллектуального управления производственными процессами.

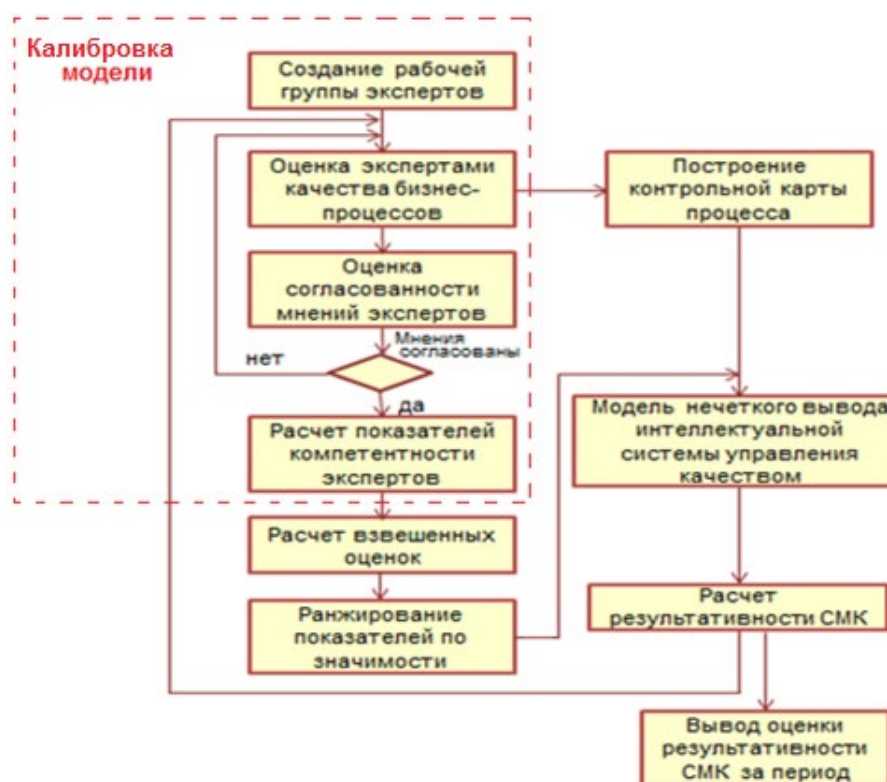


Рис. 4. Архитектура интеллектуальной автоматизированной системы управления

3. Модуль статистического управления основан на картах Шухарта и используется для непрерывного мониторинга и визуализации течения бизнес-процесса СМК.

Для разработки данного приложения могут быть использованы возможные решения .NET Framework, C # и SQL Server, однако из-за сильной динамики логических процессов разработка на этом стеке будет продолжаться чрезмерно долго.

Поэтому подсистемы реализованы в виде веб-сервиса. В качестве сервера базы данных используется следующая конфигурация: операционная система Windows Server 2008 R2, документоориентированная СУБД MongoDB [28–31], платформа Node.js, язык программирования ECMAScript. Для просмотра приложения требуется современный браузер (семейство Chrome, Firefox), Internet Explorer не поддерживается.

В течение нескольких лет наблюдается устойчивое развитие систем, основанных на интеллектуальном управлении. Одним из основных направлений в развитии этих систем является использование нечеткой логики: нечеткие множества, нечеткое моделирование и т. д.

Окно разработанной авторами программы автоматизированной СМК предприятия «Анализ прогресса», дающей возможность экспертам заполнять систему состояния показателей СМК предприятия, показано на рисунке 5.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПОСЛЕДУЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ

Эффективные инструменты анализа данных являются решающим критерием для постоянного обновления и постепенного улучшения предприятия. Предлагаемая система менеджмента качества обеспечивает централизованное представление данных в едином сервисе и делает доступным обмен и анализ данных. Позволяет в кратчайшие

сроки выявить длительные процессы, низкое качество или неэффективное управление.

У компании появляется возможность в любое время в короткие сроки улучшить процессы качества и при необходимости предпринять корректирующие действия. Результат — высокое качество продукции и низкий уровень жалоб клиентов.

Применение теории нечеткого аппарата для получения анализа работы системы менеджмента качества позволяет руководителю компании получить новые модели и методы анализа СМК [26–29].

Использование производственной формы знаний доказывает свою целесообразность, сохраняемую при оценке эффективности СМК, при разработке интеллектуальной СМК производственных процессов с использованием аппарата нечеткой логики это было подтверждено [30, 31].

Дальнейшая исследовательская работа в этом направлении будет основана на разработке модели и алгоритмов цифровой трансформации документального обеспечения СМК для выявления и идентификации противоречий и несоответствий в нормативных документах СМК [32–34]. Данная технология направлена на снижение проблем, связанных с обработкой большого объема нормативных документов предприятия в автоматизированной системе управления СМК. Решение будет основано на разработке формального языка, аналогичного декларативным языкам программирования [35].

Задачи последующих исследований:

1. Анализ основных понятий, моделей, методов и алгоритмов для поиска противоречий и несоответствий в нормативных документах и разработка методологической базы в информационном поле системы менеджмента качества.

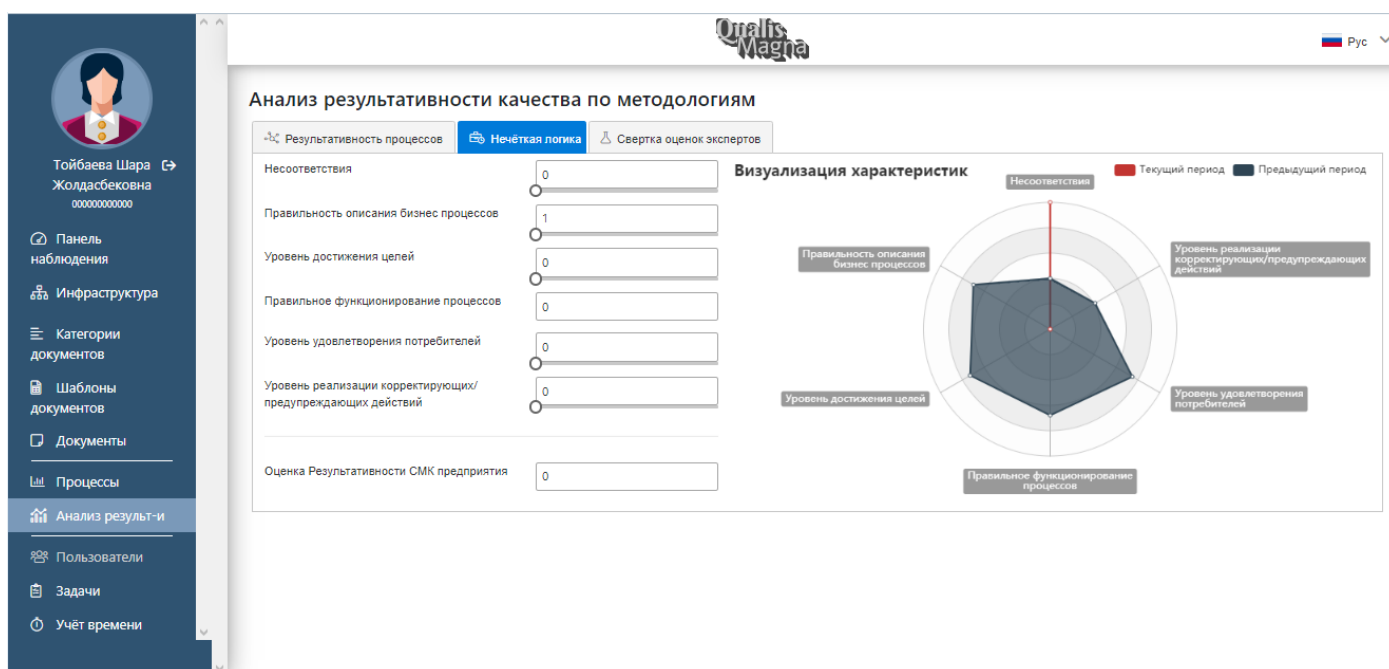


Рис. 5. Окно анализа прогресса СМК

2. Анализ основных понятий, моделей, методов и алгоритмов для поиска противоречий и несоответствий в нормативных документах и разработка методологической базы в информационном поле системы менеджмента качества.

3. Разработка технологии формализованного представления нормативных документов системы менеджмента качества на основе физического дизайна и объектной формы документации СМК.

4. Создание архитектуры комплексной автоматизированной системы подготовки, утверждения и использования нормативных документов СМК предприятия.

5. Формирование средств алгоритмического проектирования с использованием формализованного представления документов СМК.

6. Создание программного продукта для обеспечения целостности и согласованности документов комплексной автоматизированной системы оценки, утверждения и использования нормативных документов системы менеджмента качества.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы получены и достигнуты следующие научные и практические результаты [35]:

1. Разработан метод автоматизированного управления качеством предприятия на основе интеллектуальной информационной системы, содержащий модель выбора и расчета анализируемых показателей для количественных характеристик результативности СМК, постоянного мониторинга и визуализации управляемости процесса СМК и формирования нечетко-множественных моделей интеллектуальной системы управления процессами.

2. Составлена таблица базы правил и разработана модель интеллектуально-автоматизированного управления качеством производственных и бизнес-процессов казахстанского предприятия с использованием технологии нечеткой логики Мамдани.

3. Построена автоматизированная система управления качеством на уровне предприятия, причем облачная модификация системы повышает масштабируемость, облегчает управление и обеспечивает доступ к программным ресурсам и центру обработки данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Стратегического плана развития Республики Казахстан до 2025 года и признании утратившими силу некоторых указов Президента Республики Казахстан: Указ Президента Республики Казахстан от 15 февраля 2018 года № 636 (в ред. от 26.02.2021 № 521).

2. Анализ финансовой отчетности: Учебник / под ред. М. А. Вахрушиной. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Вузовский учебник: Инфра-М, 2016. — 432 с.

3. Pupkov, K. A. Intelligent Systems and Human Being // Proceedings of the 13th International Symposium «Intelligent Systems 2018» (INTELS' 18) (St. Petersburg, Russia, 22–24 October 2018). Procedia Computer Science. 2019. Vol. 150. Pp. 540–543. DOI: 10.1016/j.procs.2019.02.090.

4. СТ РК ISO 9001-2016. Системы менеджмента качества. Требования = Quality Management Systems. Requirements: национальный стандарт Республики Казахстан: утвержден и введен в действие Приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 14 ноября 2016 года № 285-од: дата введения: 2017-01-01. — Астана: Госстандарт, 2016. — 91 с.

5. Kalender, Z. T. The Fifth Pillar of the Balanced Scorecard: Sustainability / Z. T. Kalender, Ö. Vayvay // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 235. Pp. 76–83. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.11.027.

6. Tubis, A. Balanced Scorecard Use in Passenger Transport Companies Performing at Polish Market / A. Tubis, S. Werbińska-Wojciechowska // Procedia Engineering. 2017. Vol. 187. Pp. 538–547. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.412.

7. Каплан, Р. С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон; пер. с англ. М. Павловой. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Олимп-Бизнес, 2016. — 320 с. — (Классика менеджмента).

8. Качалов, В. А. Системы менеджмента на основе ISO 9001:2015 и ISO 14001:2015: комментарии, рекомендации, практика внедрения: в 4 т. — Москва: ИздАТ, 2017. — Т. 4. — 477 п.

9. Implementation of Lean Six Sigma in Saudi Arabian organizations: Findings from a Survey / S. A. Albliwi, J. Antony, N. Arshed, A. Ghadge // International Journal of Quality and Reliability Management. 2017. Vol. 34, Is. 4. Pp. 508–529. DOI: 10.1108/IJQRM-09-2015-0138.

10. Improving Manufacturing Productivity by Combining Cognitive Engineering and Lean-Six Sigma Methods / F. Gleeson, P. Coughlan, L. Goodman, [et al.] // Proceedings of the 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS) (Ljubljana, Slovenia, 12–14 June 2019). Procedia CIRP. 2019. Vol. 81. Pp. 641–646. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.169.

11. A Generic Framework to Support the Implementation of Six Sigma Approach in SMEs / S. Deeb, H. B. Haouzi, A. Aubry, M. Dassisti // Proceedings of the 16th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2018) (Bergamo, Italy, 11–13 June 2018). IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51, Is. 11. Pp. 921–926. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.490.

12. Моисеева, А. В. Программное обеспечение системы менеджмента качества // Молодой ученый. 2017. № 10 (44). С. 259–261.

13. Pérez-Aróstegui, M. N. Exploring the Relationship Between Information Technology Competence and Quality Management / M. N. Pérez-Aróstegui, F. Bustinza-Sánchez, V. Barales-Molina // BRQ Business Research Quarterly. 2015. Vol. 18, Is. 1. Pp. 4–17. DOI: 10.1016/j.brq.2013.11.003.

14. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Ninth Edition. Chapter 1. Section 1.2: Perspectives on Information Systems. URL: <http://paginas.fe.up.pt/~acbrito/laudon/ch1/chpt1-2main.htm> (дата обращения 22.03.2023).

15. Project-Competency Based Approach and the Ontological Model of Knowledge Representation of the Planned Learning / W. Wojcik, V. Kubekov, V. Naumenko, [et al.] // International Journal of Electronics and Telecommunications. 2019. Vol. 65, No. 1. Pp. 45–49. DOI: 10.24425/123564.

16. Морозова, В. И. Моделирование бизнес-процессов с использованием методологии ARIS: Учебно-методическое пособие / В. И. Морозова, К. Э. Врублевский; М-во транспорта РФ, ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ). — Москва: РУТ (МИИТ), 2017. — 47 с.

17. Бурков, В. Н. Введение в теорию управления организационными системами / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин, Д. А. Новиков. — Изд. стереотип. — Москва: URSS, 2017. — 264 с.

18. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы: Монография / О. В. Логиновский, А. А. Максимов, В. Н. Бурков; под ред. О. В. Логиновского, А. А. Максимова. — Москва: Инфра-М, 2018. — 410 с. — (Научная мысль).

19. Barkalov, S. A. Models of the Competitive Mechanism at the Organization of Mechanical Engineering Production / S. A. Barkalov, V. N. Burkov, V. L. Poryadina // Proceedings

of the International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering — MIP: Engineering–2019» (Krasnoyarsk, Russia, 04–06 April 2019). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537, Is. 4. Art. No. 042049. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/537/4/042049.

20. Olszewska, A. M. Research Issues Undertaken within Quality Management — Overview of Selected Literature and a Knowledge Map // Proceedings of the 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2016) (Bialystok, Poland, 21–23 September, 2016). Procedia Engineering. 2017. Vol. 182. Pp. 518–523. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.146.

21. Ates, A. Change Process: A Key Enabler for Building Resilient SMEs / A. Ates, U. Bititci // International Journal of Production Research. 2011. Vol. 49, Is. 18. Pp. 5601–5618. DOI: 10.1080/00207543.2011.563825.

22. Касенов, К. Р. Интегрированные системы менеджмента как основа устойчивого развития организаций / К. Р. Касенов, А. Ж. Байсенгирова // Вестник Казахского национального педагогического университета имени Абая. Серия «Экономическая». 2017. № 1 (51). С. 5–10.

23. ISO 9001. Системы менеджмента качества // Международная организация по стандартизации (ISO). URL: <http://www.iso.org/ru/iso-9001-quality-management.html> (дата обращения 22.03.2023).

24. Dzhulaeva, A. M. Quality Management in Kazakhstan / A. M. Dzhulaeva, A. M. Issakul // Вестник Казахского национального университета. Серия экономическая. 2016. № 2/2 (114). С. 94–97.

25. Цифровой Казахстан: умные города, современная экономика // Yvision. — 2018. — 24 сентября. URL: <http://yvision.kz/post/815122> (дата обращения 22.03.2023).

26. About the Concept of Information Support System for Innovative Economy in the Republic of Kazakhstan / I. Utebergenov, L. Bobrov, Medyankina I., [et al.] // Recent Research in Control Engineering and Decision Making: Proceedings of the International Conference on Information Technologies (ICIT-2019) (Saratov, Russia, 07–08 February 2019). — Cham: Springer, 2019. — Pp. 515–526. — (Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 199). DOI: 10.1007/978-3-030-12072-6\_42.

27. Draker, M. A Comparison of NoSQL Database Management Systems and Models / M. Drake, O. S. Tezer // Digital-Ocean Tutorials. — Обновлено 09.08.2019. URL: <http://www.digitalocean.com/community/tutorials/a-comparison-of-nosql-database-management-systems-and-models> (дата обращения 22.03.2023).

28. Transactions with Memory-Optimized Tables // Microsoft Learn. — 2023. — 01 March. URL: <http://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/in-memory-oltp/transactions-with-memory-optimized-tables?view=sql-serverver16> (дата обращения 22.03.2023).

29. Bass, G. SQL и NoSQL: разбираемся в основных моделях баз данных // Tproger. — 2016. — 04 сентября. URL: <http://tproger.ru/translations/sql-nosql-database-models> (дата обращения 22.03.2023).

30. Сравнительный анализ состояния информационного обеспечения инноваций в России и Казахстане / И. П. Медянкина, Л. К. Бобров, Ш. Д. Тойбаева, А. Н. Нургулжанова // Вестник Казахской академии транспорта и



коммуникаций имени М. Тынышпаева. 2018. № 4 (107). С. 238–247.

31. MongoDB Intro. — Обновлено 21.10.2021. URL: <http://mellarius.ru/dbmongo> (дата обращения 22.03.2023).

32. Intelligent Management System of Production and Quality Products for the Small and Medium Business Enterprises / I. Utepbergenov, M. Kalimoldaev, I. Skliarova, [et al.] // Przegląd Elektrotechniczny. 2018. No. 1. Pp. 152–156. DOI: 10.15199/48.2018.01.38.

33. The Statistical Research of Problems of Information Support for Innovative Activity of Enterprises in Kazakhstan / I. T. Utepbergenov, U. B. Baizyldayeva, A. I. Buranbaeva, Sh. D. Toibayeva // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2019. Vol. 97, No. 2. Pp. 628–632.

34. Sousa, S. D. Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement / S. D. Sousa, N. Rodrigues, E. M. P. Nunes // Proceedings of the 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2017) (Modena, Italy, 27–30 June 2017). Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 11. Pp.1215–1222. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.247.

35. Toibayeva, Sh. D. Evaluation of the Efficiency of Business Process Management as an Element of an Automated Quality Management System for an Enterprise of the Republic of Kazakhstan / Sh. D. Toibayeva, I. T. Utepbergenov, A. E. Bodesova // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2019. Vol. 101, No. 2. Pp. 838–846.

# On an Integrated Automated Approach to Enterprise Quality Management

PhD Sh. D. Toibayeva, Grand PhD I. T. Utepbergenov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeev

Almaty, Kazakhstan

sh.toibaeva@aes.kz, i.utepbergenov@aes.kz

**Abstract.** This article deals with quality, which is one of the important strategic tools in business. Of great importance in the enterprise quality management systems is effectiveness assessment, where it is necessary to consider the specifics of quality indicators, the multi-level nature of the developed system and the choice of the optimal number of performance indicators and system state monitoring, it is associated with obtaining rational solutions for the management of quality management systems.

The method and model of automated enterprise quality management and intelligent automated system of quality management of enterprise integrated with ruling MICS subsystems are offered allowing to automate quality management system implementation and support processes and increasing the validity, efficiency and effectiveness of management decisions by automated a number of functions of decision makers and personnel.

**Keywords:** automated management system, quality management, performance evaluation.

## REFERENCES

1. On Approval of the Strategic Development Plan of the Republic of Kazakhstan Until 2025 and Invalidation of Some Decrees of the President of the Republic of Kazakhstan: Decree of the President of the Republic of Kazakhstan [Ob utverzhdenii Strategicheskogo plana razvitiya Respubliki Kazakhstan do 2025 goda i priznaniu utrativshimi silu nekotorykh ukazov Prezidenta Respubliki Kazakhstan: Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan] from February 15, 2018 No. 636 (last ed. from February 26, 2021 No. 521).

2. Vakhrushina M. A. (ed.) Analysis of financial statements: Textbook [Analiz finansovoy otchetnosti: Uchebnik]. Moscow, Infra-M Publishing House, 2016, 432 p.

3. Pupkov K. A. Intelligent Systems and Human Being, *Proceedings of the 13th International Symposium «Intelligent Systems 2018» (INTELS' 18)*, Saint Petersburg, Russia, October 22–24, 2018. *Procedia Computer Science*, 2019, Vol. 150, Pp. 540–543, DOI: 10.1016/j.procs.2019.02.090.

4. ST RK ISO 9001-2016. Quality Management Systems. Requirements [Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya]. Effective from January 01, 2017. Astana: Gosstandart Publishing House, 2016, 91 p.

5. Kalender Z. T., Vayvay Ö. The Fifth Pillar of the Balanced Scorecard: Sustainability, *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2016, Vol. 235, Pp. 76–83. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.11.027.

6. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S. Balanced Scorecard Use in Passenger Transport Companies Performing at Polish Market, *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 187, Pp. 538–547. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.412.

7. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action [Sbalansirovannaya sistema

pokazateley. Ot strategii k deystviyu]. Moscow, Olimp Biznes Publishing House, 2016, 320 p.

8. Kachalov V. A. Management systems based on ISO 9001:2015 and ISO 14001:2015: Comments, recommendations, implementation practice [Sistemy menedzhmenta na osnove ISO 9001:2015 i ISO 14001:2015: kommentarii, rekomendatsii, praktika vnedreniya]. Vol. 4. Moscow, Izdat Publishing House, 2017, 477 p.

9. Albliwi S. A., Antony J., Arshed N., Ghadge A. Implementation of Lean Six Sigma in Saudi Arabian organizations: Findings from a Survey, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 2017, Vol. 34, Is. 4, Pp. 508–529. DOI: 10.1108/IJQRM-09-2015-0138.

10. Gleeson F., Coughlan P., Goodman L., et al. Improving Manufacturing Productivity by Combining Cognitive Engineering and Lean-Six Sigma Methods, *Proceedings of the 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS)*, Ljubljana, Slovenia, June 12–14, 2019. *Procedia CIRP*, 2019, Vol. 81, Pp. 641–646. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.169.

11. Deeb S., Haouzi H. B., Aubry A., Dassisti M. A Generic Framework to Support the Implementation of Six Sigma Approach in SMEs, *Proceedings of the 16th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2018)*, Bergamo, Italy, June 11–13, 2018. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, Vol. 51, Is. 11, Pp. 921–926. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.490.

12. Moiseeva A. V. Quality Management System Software [Programnoe obespechenie sistemy menedzhmenta kachestva], *Young scientist [Molodoy uchenyy]*, 2017, No. 10 (44), Pp. 259–261.

13. Pérez-Aróstegui M. N., Bustinza-Sánchez F., Barrales-Molina V. Exploring the Relationship Between Information Technology Competence and Quality Management, *BRQ Business Research Quarterly*, 2015, Vol. 18, Is. 1, Pp. 4–17. DOI: 10.1016/j.brq.2013.11.003.

14. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Ninth Edition. Chapter 1. Section 1.2: Perspectives on Information Systems. Available at: <http://paginas.fe.up.pt/~acbrito/laudon/ch1/chpt1-2main.htm> (accessed 22 Mar 2023).

15. Wojcik W., Kubekov B., Naumenko V., et al. Project-Competency Based Approach and the Ontological Model of Knowledge Representation of the Planned Learning, *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 2019, Vol. 65, No. 1, Pp. 45–49. DOI: 10.24425/123564.

16. Morozova V. I., Vrublevsky K. E. Modeling business processes using the ARIS methodology: Study guide [Modelirovanie biznes-protsessov s ispolzovaniem metodologii ARIS: Uchebno-metodicheskoe posobie]. Moscow, Russian University of Transport (MIIT), 2017, 47 p.

17. Burkov V. N., Korgin N. A., Novikov D. A. Introduction to the theory of management of organizational systems [Vvedenie v teoriyu upravleniya organizatsionnymi sistemami]. Moscow: URSS Publishing Group, 2017, 264 p.
18. Loginovsky O. V., Maksimov A. A., Burkov V. N. Management of industrial enterprises: Strategies, mechanisms, systems: Monograph [Upravlenie promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy: Monografiya]. Moscow, Infra-M Publishing House, 2018, 410 p.
19. Barkalov S. A., Burkov V. N., Poryadina V. L. Models of the Competitive Mechanism at the Organization of Mechanical Engineering Production, *Proceedings of the International Workshop «Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering — MIP: Engineering–2019»*, Krasnoyarsk, Russia, April 04–06, 2019. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, Vol. 537, Is. 4, Art. No. 042049, 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/537/4/042049.
20. Olszewska A. M. Research Issues Undertaken within Quality Management — Overview of Selected Literature and a Knowledge Map, *Proceedings of the 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2016)*, Bialystok, Poland, September 21–23, 2016. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 182. Pp. 518–523. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.146.
21. Ates A., Bititci U. Change Process: A Key Enabler for Building Resilient SMEs, *International Journal of Production Research*, 2011, Vol. 49, Is. 18, Pp. 5601–5618. DOI: 10.1080/00207543.2011.563825.
22. Kasenov K. R., Baisengirova A. Z. The Integrated Systems of Management — Basis of Sustainable Development of the Organizations [Integrirovannye sistemy menedzhmenta kak osnova ustoychivogo razvitiya organizatsiy], *Bulletin of the Abai University. Economic Series [Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo pedagogicheskogo universiteta imeni Abaya. Seriya «Ekonomicheskaya»]*, 2017, No. 1 (51), Pp. 5–10.
23. ISO 9001 and related standards. Quality management [ISO 9001. Sistemy menedzhmenta kachestva], *International Organization for Standardization (ISO) [Mezhdunarodnaya organizatsiya po standartizatsii (ISO)]*. Available at: <http://www.iso.org/ru/iso-9001-quality-management.html> (accessed 22 Mar 2023).
24. Dzhulaeva A. M., Issakul A. M. Quality Management in Kazakhstan, *KazNU Bulletin. Economics Series [Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo universiteta. Seriya ekonomicheskaya]*, 2016, No. 2/2 (114), Pp. 94–97.
25. Digital Kazakhstan: Smart Cities, Modern Economy [Tsifrovoy Kazakhstan: umnye goroda, sovremennaya ekonomika], *Yvision*. Published online at September 24, 2018. Available at: <http://yvision.kz/post/815122> (accessed 22 Mar 2023).
26. Utepbergenov I., Bobrov L., Medyankina I., et al. About the Concept of Information Support System for Innovative Economy in the Republic of Kazakhstan, *Recent Research in Control Engineering and Decision Making: Proceedings of the International Conference on Information Technologies (ICIT-2019)*, Saratov, Russia, February 07–08, 2019. *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 199. Cham, Springer, 2019, Pp. 515–526. DOI: 10.1007/978-3-030-12072-6\_42.
27. Draker M., Teser O. S. A Comparison of NoSQL Database Management Systems and Models, *DigitalOcean Tutorials*. Last update at August 09, 2019. Available at: <http://www.digitalocean.com/community/tutorials/a-comparison-of-nosql-database-management-systems-and-models> (accessed 22 Mar 2023).
28. Transactions with Memory-Optimized Tables, *Microsoft Learn*. Published online at March 01, 2023. Available at: <http://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/in-memory-oltp/transactions-with-memory-optimized-tables?view=sql-server-ver16> (accessed 22 Mar 2023).
29. Bass G. SQL and NoSQL: We understand the basic database models [SQL i NoSQL: razbiraemysya v osnovnykh modelyakh baz dannykh], *Tproger*. Published online at September 04, 2016. Available at: <http://tproger.ru/translations/sql-nosql-database-models> (accessed 22 Mar 2023).
30. Medyankina I. P., Bobrov L. K., Toybaeva Sh. D., Nurgulzhanova A. N. Comparative Analysis of the State of Information Support of Innovations in Russia and Kazakhstan [Sravnitelnyy analiz sostoyaniya informatsionnogo obespecheniya innovatsiy v Rossii i Kazakhstane], *The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshtayev [Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy imeni M. Tynyshtayeva]*, 2018, No. 4 (107), Pp. 238–247.
31. MongoDB Intro. Last update at October 21, 2021. Available at: <http://mellarius.ru/dbmongo> (accessed 22 Mar 2023).
32. Utepbergenov I., Kalimoldaev M., Skliarova I., et al. Intelligent Management System of Production and Quality Products for the Small and Medium Business Enterprises, *Przeglad Elektrotechniczny*, 2018, No. 1, Pp. 152–156. DOI: 10.15199/48.2018.01.38.
33. Utepbergenov I. T., Baizylidayeva U. B., Buranbaeva A. I., Toibayeva Sh. D. The Statistical Research of Problems of Information Support for Innovative Activity of Enterprises in Kazakhstan, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2019, Vol. 97, No. 2, Pp. 628–632.
34. Sousa S. D., Rodrigues N., Nunes E. M. P. Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement, *Proceedings of the 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2017)*, Modena, Italy, June 27–30, 2017. *Procedia Manufacturing*, 2017, Vol. 11, Pp. 1215–1222. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.247.
35. Toibayeva Sh. D., Utepbergenov I. T., Bodesova A. E. Evaluation of the Efficiency of Business Process Management as an Element of an Automated Quality Management System for an Enterprise of the Republic of Kazakhstan, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2019, Vol. 101, No. 2, Pp. 838–846.

# О надежности и доступности объектных хранилищ данных

д.т.н. А. Д. Хомоненко, Р. Абу Хасан

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Санкт-Петербург, Россия

khomon@mail.ru, ragheb1997@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы надежности и доступности распределенных объектно-ориентированных хранилищ геоинформационных систем. Обсуждаются меры, направленные на повышение характеристик надежности и доступности (кластерная архитектура, репликация данных, балансирование нагрузки, обеспечение безопасности данных, мониторинг и диагностика, управление версиями данных, обеспечение масштабируемости). Характеризуется популярная объектно-ориентированная система хранения данных с открытым исходным кодом Apache Cassandra, документоориентированные системы MongoDB, Couchbase, CouchDB, а также системы хранения данных Redis и MinIO.

**Ключевые слова:** объектные хранилища данных, ГИС, Apache Cassandra, MongoDB, Couchbase, CouchDB, Redis, MinIO, надежность, доступность.

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности и доступности распределенных объектно-ориентированных хранилищ геоинформационных систем (ГИС) является актуальной задачей, поскольку такие хранилища обеспечивают хранение, управление и анализ пространственных данных. Объектно-ориентированные системы хранения данных, такие как Oracle Object Storage, позволяют хранить и управлять данными в виде объектов, что делает их более гибкими и эффективными в сравнении с реляционными системами.

Для повышения надежности и доступности данных в таких системах необходимо реализовать ряд мер:

1. Использование кластерной архитектуры. Распределенные объектно-ориентированные хранилища ГИС должны быть развернуты в кластере, что позволит обеспечить высокую доступность и масштабируемость системы. Кластеры ГИС состоят из нескольких серверов, каждый из которых обрабатывает определенный набор данных. Это позволяет распределить нагрузку на систему и обеспечить высокую производительность при большом количестве запросов.

2. Применение механизмов репликации данных. Для обеспечения отказоустойчивости системы необходимо предусмотреть механизмы репликации данных между узлами кластера. Это позволит обеспечить быстрое восстановление после сбоев и минимизирует время простоя системы. Технологии репликации данных позволяют автоматически дублировать данные на нескольких серверах для обеспечения их доступности в случае отказа одного из серверов.

3. Использование технологии автоматического балансировщика нагрузки. Балансировщик нагрузки позволяет равномерно распределить нагрузку между узлами кластера, обеспечивая оптимальное использование ресурсов системы.

4. Применение технологий обеспечения безопасности данных. В распределенных системах хранения данных важно обеспечить надежную защиту информации от несанкционированного доступа, использования и изменения. Для этого следует использовать шифрование данных, аутентификацию пользователей и авторизацию доступа к данным.

5. Мониторинг и диагностика системы. Необходимо осуществлять постоянный мониторинг работы системы и ее компонентов для выявления возможных проблем и своевременного их устранения.

6. Мониторинг и аналитика. Использование инструментов мониторинга и аналитики позволяет оперативно выявлять проблемы и прогнозировать неисправности.

7. Управление версиями данных. Важно обеспечить возможность управления версиями объектов для обеспечения возможности отката к предыдущим состояниям данных в случае возникновения ошибок или сбоев.

8. Обеспечение масштабируемости. Система должна быть спроектирована таким образом, чтобы она могла легко масштабироваться в соответствии с ростом объема данных и увеличением нагрузки на систему.

9. Обучение и повышение квалификации персонала, ответственного за обслуживание и эксплуатацию систем хранения данных.

10. Тестирование и сценарии восстановления. Регулярное тестирование процедур восстановления данных и создание сценариев восстановления помогут убедиться в работоспособности мер безопасности и восстановления в случае сбоев.

11. Планирование аварийных ситуаций. Разработка планов и процедур для реагирования на аварийные ситуации поможет минимизировать потери в случае серьезных инцидентов.

Соблюдение этих рекомендаций позволит существенно повысить надежность и доступность распределенных объектно-ориентированных хранилищ данных ГИС, что в свою очередь обеспечит эффективность и безопасность работы с пространственными данными. Схема архитектуры объектного хранилища данных приведена на рисунке 1.

На *железнодорожном транспорте* распределенные объектно-ориентированные хранилища данных используются для управления информацией о маршрутах, расписании движения поездов, состоянии инфраструктуры и других аспектах работы железнодорожного транспорта.

Моделирование надежности и доступности хранилищ данных является важным аспектом для любой железнодорожной системы, так как это напрямую влияет на безопасность и эффективность перевозок. В объектно-ориентиро-



Рис. 1. Схема архитектуры объектного хранилища данных

ванном подходе к моделированию данных надежность и доступность могут быть определены через следующие аспекты:

1. Протоколы связи. Должны быть надежными и обеспечивать высокую доступность для передачи данных между объектами.
2. Аппаратное обеспечение. Должно быть надежным и иметь возможность восстановления после сбоев.
3. Точность данных. Надежность данных включает в себя точность и целостность информации. Ошибки в данных могут привести к негативным последствиям в железнодорожной системе, поэтому важно обеспечить высокую точность данных.
4. Программное обеспечение. Должно обеспечивать отказоустойчивость и возможность восстановления после ошибок.
5. Человеческий фактор. Обучение и подготовка персонала также играет важную роль в обеспечении надежности и доступности системы.
6. Резервное копирование и восстановление данных. Необходимо обеспечить наличие надежных механизмов резервного копирования и восстановления данных в случае их потери.

Моделирование доступности и надежности в объектно-ориентированной ГИС включает в себя обеспечение надежности хранения данных, их доступности для пользователей и возможности восстановления после сбоев. Для этого используются различные механизмы, такие как резервное копирование данных, дублирование данных на разных серверах и использование георепликаторов для автоматического распределения данных по разным серверам.

Важным аспектом моделирования доступности и надежности является обеспечение также отказоустойчивости системы. Для этого используются механизмы автоматического перезапуска сервисов, переключения на резервные компоненты и мониторинг состояния системы.

Таким образом, моделирование доступности и надежности в объектно-ориентированных ГИС является важным аспектом, который обеспечивает надежность хранения данных, их доступность для пользователей и возможность восстановления после сбоев.

Для обеспечения доступности и надежности данных важно обеспечить эффективное *управление данными*, которое включает не только предотвращение сбоев и отказов, но и готовность быстро реагировать на них и восстанавливать работоспособность системы. Такой комплексный подход позволяет обеспечить надежность и доступность данных в железнодорожной системе, что критически важно для безопасности и эффективности железнодорожных перевозок.

Для оценки надежности и доступности хранилища данных необходимо провести анализ рисков, который включает анализ возможных отказов и их последствий, а также определение соответствующих мер по их предотвращению. Это может включать в себя тестирование системы, анализ данных о сбоях и анализ требований к производительности.

#### ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ С ОТКРЫТЫМ КОДОМ

Объектно-ориентированные системы хранения данных с *открытым исходным кодом* в условиях импортозамещения представляют большой практический интерес. Одной из популярных объектно-ориентированных систем

хранения данных с открытым исходным кодом является Apache Cassandra. Она предназначена для работы с большими объемами данных и обеспечивает высокую доступность и масштабируемость. Другие популярные системы: MongoDB, Couchbase, Redis и MinIO. Все эти системы обеспечивают высокую производительность и гибкость в работе с данными [1–3].

Объектно-ориентированное моделирование данных — это метод организации и представления данных, который фокусируется на объектах и их свойствах, а не на связях между ними. Этот подход позволяет создавать более гибкие и модульные системы, которые легче поддерживать и изменять.

Одним из *преимуществ* объектно-ориентированного подхода является то, что он позволяет моделировать сложные системы более точно и детально. Это особенно полезно в железнодорожной отрасли, где важно учитывать множество различных факторов, таких как движение поездов, управление инфраструктурой и безопасность пассажиров.

Другим преимуществом является улучшение сотрудничества и командной работы. Структурированный и абстрактный подход к моделированию данных упрощает командную работу и обмен информацией между разработчиками и другими участниками проекта. Это способствует более эффективному взаимодействию и позволяет командам быстрее реагировать на новые требования и вызовы.

Развитие технологий влияет на функционирование железнодорожных систем, объектно-ориентированный подход позволяет более гибко интегрировать новые технологии и инновации. Это может включать в себя внедрение сенсоров, системы управления данными на основе искусственного интеллекта, мобильные приложения и многое другое.

Еще одним преимуществом является то, что объектно-ориентированный подход позволяет создавать системы, которые легко расширяются и адаптируются к новым требованиям. Это важно для железнодорожных систем, которые постоянно развиваются и изменяются.

Однако объектно-ориентированный подход также имеет свои *недостатки*. Одним из них является то, что он может быть более сложным для понимания и разработки, чем другие подходы. Кроме того, он может требовать больше ресурсов для работы, что может быть проблемой для небольших проектов.

Тем не менее объектно-ориентированный подход остается одним из наиболее популярных методов моделирования данных, и он широко используется в железнодорожной отрасли и также содействует успешному развитию и совершенствованию железнодорожных перевозок.

*Apache Cassandra* — это распределенная система управления базами данных (СУБД), разработанная компанией Apache Software Foundation. Она была создана для работы с очень большими объемами данных и поддерживает различные типы данных, включая строки, числа, даты и другие. Cassandra обладает высокой доступностью и масштабируемостью, что позволяет ей обрабатывать большое количество запросов без потери производительности. Кроме того, она имеет открытый исходный код, что дает возможность пользователям свободно использовать и модифицировать ее.

Cassandra также имеет ряд других преимуществ, которые делают ее привлекательной для использования в различных приложениях. Например, она поддерживает *репликацию данных*, что способствует обеспечению высокой доступности данных и помогает защитить их от потери. Кроме того, Cassandra имеет гибкий механизм запросов, который позволяет пользователям создавать свои собственные запросы и выполнять их на больших объемах данных. Наконец, Cassandra является одной из немногих систем управления базами данных, которые поддерживают работу с данными *в режиме реального времени*, что делает ее идеальной для использования в приложениях, требующих высокой производительности и надежности. Схожими особенностями обладают и две другие рассматриваемые СУБД, MongoDB и Redis.

*MongoDB* — это документоориентированная система управления базами данных, то есть данные хранятся в виде документов, которые могут содержать различные типы полей. MongoDB поддерживает различные типы документов, включая строки, числа, массивы и другие. Она также позволяет хранить данные в формате JSON, что упрощает работу с данными. MongoDB имеет высокую производительность и может обрабатывать большое количество запросов. Как и Cassandra, она имеет открытый исходный код и может быть использована бесплатно.

Среди документоориентированных СУБД можно отметить также Couchbase и CouchDB [4, 5], которые в определенном смысле конкурируют с MongoDB. Основные сравнительные их характеристики приведены в таблице 1.

*Redis* — это система хранения данных, которая используется для кэширования данных и обеспечения быстрого доступа к ним. Она имеет высокую производительность и поддерживает различные типы данных, такие как строки, числа, даты и другие. Redis также имеет открытый исходный код и может использоваться бесплатно.

Redis, как и любой другой инструмент, имеет свои *недостатки* и ограничения, например:

1. Ограничения на размер данных. Redis имеет ограничение на максимальный размер данных, которые могут быть сохранены в одной строке. Это может ограничить использование Redis для больших объемов данных.

2. Сложность настройки. Настройка Redis может быть сложной задачей для новичков, так как требует знания конфигураций и команд.

3. Производительность. Хотя Redis обычно имеет высокую производительность, в некоторых случаях она может быть ниже, чем у других систем хранения данных.

*MinIO* — это объектное хранилище с высокой производительностью, разработанное для развертывания в облаке или локально [6]. Оно предлагает масштабируемость, надежность и безопасность для хранения и управления данными. MinIO использует Amazon S3 API для обеспечения совместимости с другими сервисами и приложениями, поддерживающими этот протокол.

На рисунке 2 представлена архитектурная диаграмма MinIO, которая иллюстрирует внутренние компоненты и взаимосвязи в системе. Эта диаграмма помогает понять, как MinIO обрабатывает запросы, управляет данными и обеспечивает отказоустойчивость в кластере серверов.

Характеристики документоориентированных СУБД

	MongoDB	Couchbase	CouchDB
Тип	Документоориентированная	Документоориентированная	Документоориентированная
Разработчик	MongoDB Inc.	Couchbase Inc.	Apache Software Foundation
Долговечность	Да	Да	Да
Параллельный доступ	Master-slave	MVCC	MVCC
Кластеризация	Шардинг, консистентное хеширование	Шардинг, репликация	Шардинг, консистентное хеширование
MapReduce	Да	Да	Да
Запросы	Internal API Поддержка сложных запросов	Internal API (MapReduce)	Internal API (MapReduce)
Поддерживаемые языки	C, C#, C++, Clojure, ColdFusion, D, Dart, Delphi, Erlang, Go, Groovy, Haskell, Java, JavaScript, Lisp, Lua, MATLAB, Perl, PHP, PowerShell, Prolog, Python, R, Ruby, Scala, Smalltalk	.Net, C, Clojure, ColdFusion, Erlang, Java, JavaScript, Go, Perl, PHP, Python, Ruby, Scala, Tcl	C, C#, ColdFusion, Erlang, Haskell, Java, JavaScript, Lisp, Lua, Objective-C, OCaml, Perl, PHP, PL/SQL, Python, Ruby, Smalltalk
Операционная система сервера	Linux, OS X, Solaris, Windows	Linux, OS X, Windows	Android, BSD, Linux, OS X, Solaris, Windows
Лицензия	Open Source	Open Source	Open Source

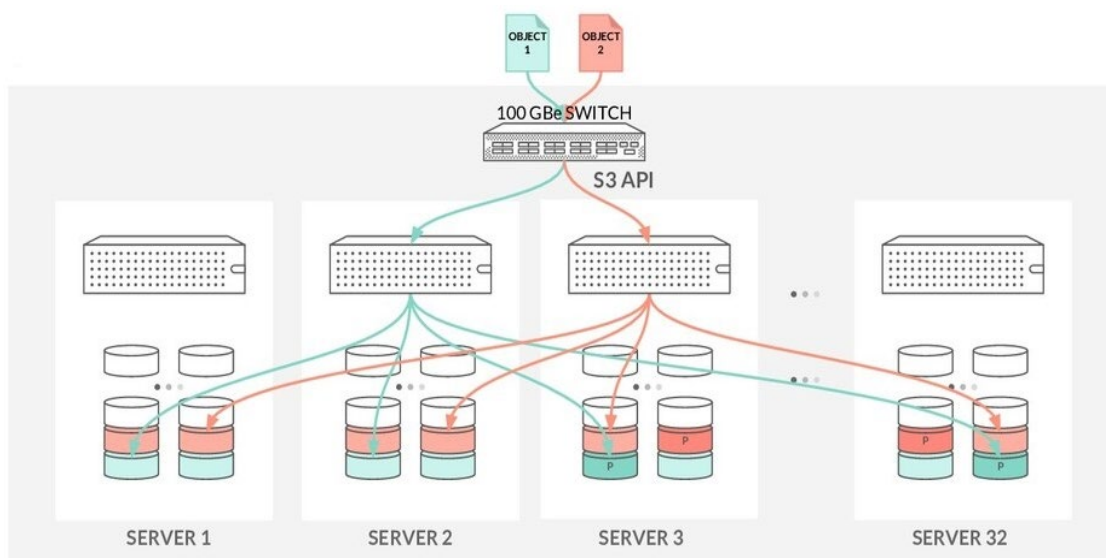


Рис. 2. Схема архитектуры MinIO

Ключевые характеристики MinIO:

1. Производительность. Обеспечивает высокую пропускную способность и низкие задержки, что делает его идеальным для крупномасштабных инфраструктур.
2. Масштабируемость. Позволяет легко масштабировать хранилище по мере роста потребностей. Это может быть выполнено путем добавления новых узлов в кластер или увеличения объема дисков на существующих узлах.
3. Надежность. Поддерживает избыточное хранение данных на нескольких узлах, обеспечивая высокую доступность и надежность.
4. Безопасность. Предлагает различные механизмы аутентификации и шифрования для защиты данных от несанкционированного доступа.
5. Совместимость. Использует S3 API, что позволяет легко интегрировать его с другими сервисами AWS и приложениями.

6. Простота использования. Имеет простой и понятный веб-интерфейс, который упрощает управление и мониторинг системы.
  7. Управление доступом и безопасностью. MinIO предоставляет средства для управления доступом к данным и обеспечения безопасности. Возможно настраивать политики доступа, шифрование данных и аутентификацию для защиты данных.
  8. Экономичное использование ресурсов. MinIO оптимизирован для использования ресурсов и может быть запущен на относительно недорогом оборудовании, что делает его экономически привлекательным решением.
- Объектно-ориентированное моделирование ГИС — это подход, который использует объекты и связи между ними для представления географической информации. Этот подход позволяет создавать модели, которые более точно отражают реальную географическую ситуацию и делает их более гибкими и легкими для изменения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охарактеризованные объектно-ориентированные системы хранения данных, на наш взгляд, в настоящее время представляют наиболее приемлемые средства обеспечения требуемых характеристик надежности и доступности хранения данных. Обоснованный выбор того или иного средства для практического применения требует дополнительного учета требований, предъявляемого со стороны заказчиков и потребителей, стоимости оборудования и программного обеспечения и, возможно, ряда других условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lawrence, R. Integration and Virtualization of Relational SQL and NoSQL Systems Including MySQL and MongoDB // Proceedings of the 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), (Las Vegas, NV, USA, 10–13 December 2014). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. — Vol. 1. — Pp. 285–290. DOI: 10.1109/CSCI.2014.56.
2. Масич, Г. Ф. Аспекты надежности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры / Г. Ф. Масич, С. Р. Латыпов, Д. П. Чугунов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2018. № 3. С. 25–40. DOI: 10.7242/1998-2097/2018.3.3.
3. Spillar, M. 10 Common NoSQL Use Cases for Modern Applications // Couchbase Blog. — 2023. — 02 March. URL: <http://www.couchbase.com/blog/10-common-nosql-use-cases-for-modern-applications> (дата обращения 16.03.2023).
4. Harrison, G. Next Generation Databases: NoSQL, NewSQL, and Big Data. — Berkeley (CA): Apress, 2015. — 256 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-1329-2.
5. Choosing the Right NoSQL Database for the Job: A Quality Attribute Evaluation / J. R. Lourenço, B. Cabral, P. Carreiro, [et al.] // Journal of Big Data. 2015. Vol. 2. Art No. 18. 26 p. DOI: 10.1186/s40537-015-0025-0.
6. Mellor, C. Traditional File and Block Storage Vendors Are Toast — Minio // Blocks & Files. — 2019. — 24 July. URL: <http://blocksandfiles.com/2019/07/24/minio-object-storage-benchmarks> (дата обращения 16.03.2023).



# About the Reliability and Availability of Object Data Stores

Grand PhD A. D. Khomonenko, R. Abou Hasan  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
khomon@mail.ru, ragheb1997@yandex.ru

**Abstract.** The issues of reliability and availability of distributed object-oriented storage of geographic information systems are considered. Measures aimed at improving reliability and availability characteristics are discussed (cluster architecture, data replication, load balancing, data security, monitoring and diagnostics, data versioning, scalability). The popular open source object-oriented data storage system Apache Cassandra, document-oriented systems MongoDB, Couchbase, CouchDB, as well as data storage systems Redis and MinIO are described.

**Keywords:** object data warehouses, GIS, Apache Cassandra, MongoDB, Couchbase, CouchDB, Redis, MinIO, reliability, availability.

## REFERENCES

1. Lawrence R. Integration and Virtualization of Relational SQL and NoSQL Systems Including MySQL and MongoDB, *Proceedings of the 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Las Vegas, NV, USA, 10–13 December 2014. Volume 1*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014, Pp. 285–290. DOI: 10.1109/CSCI.2014.56.
2. Masich G. F., Latypov S. R., Chugunov D. P. The Aspects of Information and Telecommunication Infrastructure's Dependability [Aspekty nadezhnosti informatsionno-telekommunikatsionnoy infrastruktury], *Perm Federal Research Centre Journal [Vestnik Permskogo federalnogo issledovatel'skogo tsentra]*, 2018, No. 3, Pp. 25–40. DOI: 10.7242/1998-2097/2018.3.3.
3. Spillar M. 10 Common NoSQL Use Cases for Modern Applications, *Couchbase Blog*. Published online at March 02, 2023. Available at: <http://www.couchbase.com/blog/10-common-nosql-use-cases-for-modern-applications> (accessed 16 Mar 2023).
4. Harrison G. Next Generation Databases: NoSQL, NewSQL, and Big Data. Berkeley (CA), Apress, 2015, 256 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-1329-2.
5. Lourenço J. R., Cabral B., Carreiro P., et al. Choosing the Right NoSQL Database for the Job: A Quality Attribute Evaluation, *Journal of Big Data*, 2015, Vol. 2, Art No. 18, 26 p. DOI: 10.1186/s40537-015-0025-0.
6. Mellor C. Traditional File and Block Storage Vendors Are Toast — Minio, *Blocks & Files*. Published online at July 24, 2019. Available at: <http://blocksandfiles.com/2019/07/24/minio-object-storage-benchmarks> (accessed 16 Mar 2023).

# Моделирование информационных систем на базе модели Захмана и онтологическом инжиниринге

Б. С. Кубеков  
Университет «Туран»  
Алматы, Казахстан  
b.kubekov@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается применение когнитивно-фреймовой модели на базе онтологии понятий, позволяющей представлять общую понятийную платформу для описания существующего окружения, планов и целей управления предприятием согласно методике Дж. Захмана. Предлагаемая концепция smart-контракта, являясь инструментом оценки качества артефактов проектного менеджмента, направлена на решение проблемы полного описания уровней и аспектов модели Захмана.

**Ключевые слова:** когнитивно-фреймовая модель, онтология понятий, модель Захмана, проектный менеджмент, архитектура предприятия, инжиниринг предприятия.

## МОДЕЛЬ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Значительный вклад в развитие концепции архитектуры предприятия был сделан Дж. Захманом (John A. Zachman) в виде так называемой модели Захмана [1]. Данная методика основана на дисциплине классической архитектуры предприятия и обеспечивает общий словарь и набор перспектив, или структур, для описания каждого отдельного аспекта сложных корпоративных систем, что является актуальной задачей, особенно в условиях цифровой трансформации предприятия. Захман определил архитектуру предприятия как «набор описательных представлений (моделей), которые применимы для описания предприятия в соответствии с требованиями управленческого персонала (качество) и которые могут развиваться в течение определенного периода (динамичность)». Термин «архитектура» подчеркивает существующую аналогию между внутренней структурой абстрактного объекта, то есть предприятия, и сложным искусственным объектом [2].

Модель архитектуры предприятия преследует две основные цели: с одной стороны логически разбить все описание архитектуры на отдельные разделы для упрощения их формирования и восприятия, с другой — обеспечить возможность рассмотрения целостной архитектуры с выделенных точек зрения и соответствующих уровней абстракции.

Как известно, традиционным подходом при формировании описания систем являлось использование концепции «жизненного цикла», включающего такие этапы, как планирование, анализ, проектирование, разработка, документирование, внедрение и промышленная эксплуатация. На каждом из этих этапов рассматриваются вопросы, связанные как с функциями системы, так и с данными. За-

ман предложил вместо традиционного подхода, связанного с рассмотрением отдельных аспектов работы системы в различные моменты времени, использовать рассмотрение системы с различных перспектив.

Исторически модель Захмана впервые была создана именно для ИТ-систем. Этот подход далее был обобщен для рассмотрения не только ИТ-систем, но и для описания предприятия в целом, так что предложенная модель может использоваться как средство для описания архитектуры сложных производственных систем любого типа. Основная идея модели Захмана заключается в том, чтобы обеспечить возможность последовательного описания каждого отдельного аспекта работы системы с точки зрения роли соответствующего уровня в координации со всеми остальными ролями.

Как известно, важным аспектом инжиниринга предприятия в условиях цифровой трансформации является формализация профессиональных знаний. Для этих целей может быть принят подход с использованием когнитивно-фреймовой модели на базе онтологии понятий, где в качестве инструментария для моделирования и спецификации бизнес-процессов применяется модель Захмана, а для обеспечения описания каждого аспекта уровней системы предлагается использовать smart-контракт [3]. На базе данного подхода можно формировать общий словарь понятий и описательных представлений моделей таких уровней описания архитектуры предприятия, то есть ролей, как планировщик, менеджер, архитектор, проектировщик и разработчик.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет:

1. Представлять общую понятийную платформу для описания существующего окружения, планов и целей управления предприятием.
2. Четко определять семантический контекст понятий в соответствии с терминами описательного представления предприятия в рамках существующих структур данных, правил их преобразования и обработки для выполнения бизнес-функций.
3. Осуществлять привязку данных и операций над ними к выбранным технологиям проектирования информационной системы и детальной реализации.
4. Используя опорные понятия концептуального уровня когнитивно-фреймовой модели, можно будет обеспечивать поддержку концептуальных взаимосвязей и переходов между артефактами описательного представления предприятия, что важно для сохранения целостности системы, а что касается логического и физического

уровней понятий когнитивно-фреймовой модели, то представляется возможным последовательно описывать каждый отдельный аспект уровней системы в координации со всеми остальными.

5. Когнитивно-фреймовая модель может рассматриваться как онтологический паттерн, за счет «встроенного механизма» распространения изменений между отдельными описательными представлениями уровней системы. Основная функция когнитивно-фреймовой модели состоит в том, чтобы обеспечить возможность последовательного описания каждого отдельного аспекта уровней системы в терминах опорных понятий и соответствующих понятийных структур в координации с другими аспектами уровней, для которых опорные понятия играют роль концептуальных переходов.

Для любой достаточно сложной системы общее число связей, условий и правил обычно превосходит возможности для одновременного рассмотрения, а отдельное, в отрыве от других, рассмотрение каждого аспекта системы чаще всего приводит к неоптимальным решениям как в плане производительности, так и стоимости реализации.

Для того чтобы такое рассмотрение гарантировало успешность цельного представления аспектов и перспектив, предлагается использовать следующий smart-контракт:

$$\{P\} \langle \text{Описательное представление предприятия} \rangle \{Q\},$$

где  $\langle \text{Описательное представление предприятия} \rangle$  рассматривается в виде последовательности  $\langle \text{что, как, где, кто, когда, почему} \rangle$ ;  $\{P\}$  — предусловия, определяющие ограничения, выполнение которых на модели AS-IS, будут способствовать рассмотрению системы с различных перспектив — представлений в виде вариантов моделей TO-BE;  $\{Q\}$  — постуловия, гарантирующие успешность разработки архитектуры информационной системы предприятия в виде итоговой модели TO-BE.

Здесь следует напомнить, что модель AS-IS — модель «как есть», то есть модель существующего состояния бизнес-процессов предприятия, а модель TO-BE — бизнес-модель «как должно быть», которая, как правило, создается на основе AS-IS путем совершенствования и оптимизации ее бизнес-процессов и бизнес-потоков данных.

Другими словами,  $\{Q\}$  — постуловия, гарантирующие успешность разработки архитектуры системы при условии выполнения, во-первых, предусловий и, во-вторых, корректности используемых для этих целей: данных (*что*), процессов и функций (*как*), мест выполнения этих процессов и функций (*где*), организаций и персоналий — участников (*кто*), управляющих событий (*когда*), целей и ограничений, определяющих работу системы (*почему*).

Данное представление smart-контракта может конкретизироваться (иметь декомпозицию) с учетом уровней ролей и соответствующих процессов жизненного цикла разработки информационной системы. Использование smart-контракта в рамках каждого уровня таблицы позволит, таким образом, решать проблему полного описания системы с выбранной перспективой в циклах анализа и разработки прототипов предметной области, являться инструментарием оценки качества артефактов проектного менеджмента и, в целом, предоставляет возможность такого планирования, которое позволит лучше принимать решения за счет того, что они никогда не будут выноситься в отрыве от остальных аспектов деятельности предприятия.

Модель Захмана представляется в виде таблицы основных пяти уровней ролей (табл. 1), с помощью которых определяется архитектура предприятия, в виде набора описательных представлений (моделей), которые применимы для описания предприятия в соответствии с требованиями управленческого персонала (качество), которые могут развиваться в течение определенного периода (динамичность).

Таблица 1

Основные уровни ролей модели Захмана

Уровни ролей	Что	Как	Где	Кто	Когда	Почему
Планировщик	Список важных понятий	Список бизнес-процессов	Представление бизнес-процессов	Стейкхóлдеры	События и состояния	Бизнес-цели и стратегии
Аналитик-менеджер	Концептуальная модель данных	Модель бизнес-процессов	Схема логистики	Workflow	План реализации	Бизнес-план
Архитектор	Логическая модель данных	Архитектура системы	Модель архитектуры	GUI	Структура процессов	Бизнес-правила
Проектировщик	Физическая модель данных	Системный проект	Этапы процессов	Представления	Структура управления	Спецификация бизнес-правил и процессов
Разработчик	Описание структуры данных	Программный код	Сетевая архитектура	Архитектура безопасности	Определение временных привязок	Реализация бизнес-логики

ФОРМАЛИЗМЫ КОГНИТИВНО-ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ

Для представления знаний принята следующая когнитивно-фреймовая модель [4]:

$$CFM = \langle C, R, F \rangle,$$

представляющая собой иерархическую структуру понятий, концептуальный уровень которой представлен опорным понятием, логический уровень — идентифицирующими понятиями, физический уровень — конкретизирующими понятиями. Между понятиями модели определены отношения «композиция» (символ «\*»), «агрегация» (символ «+») и «альтернативный выбор» (символ «~»). Здесь  $F$  — функции интерпретации, обусловленные соответствующими отношениями между понятиями.

С помощью указанных операций для каждого понятия определяется его статус, то есть важность рассмотрения и влияния понятия на полноту и корректность описательных представлений.

Опорное понятие — базовая абстракция семантического контекста описательных представлений, с помощью которого отображается семантическая общность и характерные индивидуальные свойства понятий описательных представлений.

Логический уровень модели представляется идентифицирующими понятиями, являющимися средством определения семантических и отличительных свойств опорного понятия, что имеет исключительно важное значение для отождествления семантики опорного понятия посредством понятий физического уровня.

Физический уровень модели представляется конкретизирующими понятиями онтологии опорного понятия, которые в контексте своего идентифицирующего понятия позволяют ясно и недвусмысленно описывать опорное понятие и конфигурировать его семантические и отличительные свойства посредством типичных либо всевозможных сочетаний понятий семантического контекста описательных представлений.

Для спецификации онтологии опорного понятия введено так называемое выражение знаний опорного понятия.

В качестве примера рассмотрим опорное понятие  $C_2$  «Требования пользователей», применяемое в «Бизнес-цели и стратегии» первого уровня (Планировщик) таблицы модели Захмана.

Для отождествления данного опорного понятия, было выделено три идентифицирующих понятия:

- $*C_{2.1}$  — функциональные требования пользователей;
- $*C_{2.2}$  — нефункциональные требования пользователей;
- $*C_{2.3}$  — сценарий событий, являющийся семантическим контекстом второго уровня онтологии, включающего следующие конкретизирующие понятия:  $*C_1$  — вариант использования,  $+C_2$  — диаграмма потоков данных, либо  $+C_3$  — диаграмма переходов состояний, либо  $+C_4$  — таблица «событие — отклик».

В соответствии с принятой нотацией разработанного понятийного языка спецификации знаний спецификацию онтологии опорного понятия  $C_2$  «Требования пользователей», можно представить в виде следующего выражения знаний:

$$C_2 \leq *C_{2.1} * C_{2.2} * C_{2.3} (*C_1 + C_2 \sim + C_3 \sim + C_4),$$

где  $C_{2.1}$ ,  $C_{2.2}$  и  $C_{2.3}$  являются идентифицирующими понятиями онтологии опорного понятия, при помощи которых отождествляются проекции в описательных представлениях, в которых определены термины, с помощью которых можно описать опорное понятие, а понятия, выделенные в круглых скобках, — это конкретизирующие понятия для идентифицирующего понятия  $C_{2.3}$ . Как видно, первые два идентифицирующих понятия онтологии не нуждаются в дальнейшем уточнении.

Очень важно иметь возможность визуализации знаний, для этой цели был разработан редактор онтологии, позволяющий представлять онтологию опорного понятия в виде реляционного графа, как показано на рисунке 1 для опорного понятия  $C_2$  «Требования пользователей».

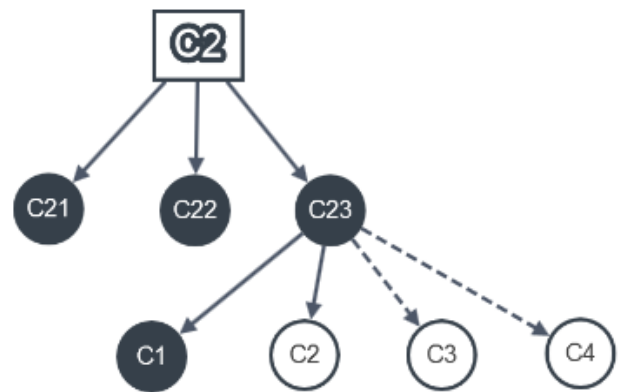


Рис. 1. Онтология опорного понятия  $C_2$  «Требования пользователей»

Выражение знаний — утверждение, представленное в виде предиката, который всегда истинен. Действительно, все понятия, используемые в описательных представлениях специалистами, играющими роли уровней модели Захмана, должны четко и однозначно соответствовать спецификациям итоговой модели ТО-ВЕ, в том числе в форме итоговых понятий и понятийных структур выражения знаний.

Более того, с помощью итоговых понятий и понятийных структур всех разработанных выражений знаний должен обеспечиваться общий словарь и набор перспектив, или структур, для описания современных сложных корпоративных систем.

Таким образом, применение предлагаемого подхода к проектированию архитектуры предприятия путем последовательного моделирования уровней модели Захмана и формирования базы знаний из соответствующих выражений знаний даст возможность обеспечить кроссплатформенность описательных представлений уровней, их сопоставления и корректировки, что достигается путем применения опорных понятий, играющих роль концептуальных переходов.

Формируемые таким образом выражения знаний составляют базу знаний, то есть корпоративную память предприятия, которая может служить для многих целей — от проектирования информационных систем до обучения персонала предприятия, как того требует цифровая трансформация предприятия.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, когнитивно-фреймовая модель совместно со smart-контрактом, позволяют:

1. Проводить анализ и представлять семантический контекст описательных представлений наборами опорных понятий с последующим онтологическим инжинирингом опорных понятий, тем самым облегчая понимание и общение людей, представляющих разные роли в процессах создания, развития и использования информационных систем.

2. На основе анализа общности и изменчивости понятий описательных представлений, формировать и упорядочивать знания и применять их для разработки артефактов описания и разработки архитектуры предприятия.

3. Smart-контракт, в случае его декомпозиции, позволяет концентрироваться как на отдельных аспектах процесса разработки архитектуры предприятия, так и информационной системы в целом, не теряя ощущения общего контекста перспективы, то есть взгляда на архитектуру предприятия с точки зрения перспективы его развития.

Что касается модели Захмана, то ее применение позволяет:

- удобно применять для классификации всей информации, описывающей предприятие и информационные системы этого предприятия, выявления «белых пятен» и координации работ;

- использовать модель на метауровне — для сравнения различных реализаций создания архитектур предприятия.

- модель может являться удобным средством для использования в отдельных проектах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. About the Zachman Framework // Zachman International — FEAC Institute. URL: <http://zachman-feac.com/zachman/about-the-zachman-framework> (дата обращения 24.02.2023).

2. Данилин, А. В. Архитектура предприятия: Учебное пособие / А. В. Данилин, А. И. Слюсаренко. — 4-е изд. — Москва: НОУ ИНТУИТ: IPR Media, 2022. — 439 с.

3. Мейер, Б. Почувствуй класс: учимся программировать хорошо с объектами и контрактами = Touch of Class: Learning to Programm Well with Objects and Contracts / Б. Мейер; пер. с англ. под ред. В. А. Биллига. — Москва: НОУ ИНТУИТ: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 775 с.

4. Кубеков, Б. С. Организация и представление знаний планируемого обучения на основе онтологии: Монография. — Алматы: LP-Zhasulan, 2019. — 336 с.

# Simulation of Information Systems Based on the Zachman Model and Ontological Engineering

B. S. Kubekov  
Turan University  
Almaty, Kazakhstan  
b.kubekov@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the use of a cognitive-frame model based on the ontology of concepts, which allows representing a common conceptual platform for describing the existing environment, plans and goals of enterprise management, according to the methodology of J. Zachman. The proposed concept of a smart contract, being a tool for assessing the quality of project management artifacts, is aimed at solving the problem of a complete description of the levels and aspects of the Zachman model.

**Keywords:** cognitive frame model, ontology of concepts, Zachman model, project management, enterprise architecture, enterprise engineering.

## REFERENCES

1. About the Zachman Framework, *Zachman International* — FEAC Institute. Available at: <http://zachman-feac.com/zachman/about-the-zachman-framework> (accessed 24 Feb 2023).
2. Danilin A. V., Slyusarenko A. I. Enterprise Architecture: Study guide [Arkhitektura predpriyatiya: Uchebnoe posobie]. Moscow, INTUIT, IPR Media, 2022, 439 p.
3. Meyer B. Touch of Class: Learning to Programm Well with Objects and Contracts [Pochuvstvuy klass: uchimsya programmirovat khorosho s obektami i kontraktami]. Moscow, INTUIT, BINOM, 2011, 775 p.
4. Kubekov B. S. Organization and knowledge representation of planned learning based on ontology: Monograph [Organizatsiya i predstavlenie znaniy planiruemogo obucheniya na osnove ontologii: Monografiya]. Almaty, LP-Zhasulan, 2019, 336 p.

# Применение технологий информационного моделирования в проектировании и строительстве аэропортовой инфраструктуры

к.э.н. В. А. Попов  
Санкт-Петербургский государственный  
университет гражданской авиации  
Санкт-Петербург, Россия  
ipet43725@gmail.com

А. В. Павловец, Н. В. Павловец  
Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
alin\_pavlovec2@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается применение технологий информационного моделирования при строительстве и проектировании аэропортовой инфраструктуры. Рассмотрен опыт применения для зарубежных и отечественных аэропортов. Выделены преимущества использования BIM-технологий и перспективы их дальнейшего внедрения.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, строительство, аэропорты, аэродромы, BIM-технологии, инфраструктура, моделирование.

## ВВЕДЕНИЕ

Во все сферы проектирования и строительства, в том числе и область аэропортовой инфраструктуры, проникает технология информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM). Реконструкция и проектирование объектов аэропортовой инфраструктуры — очень ответственный и трудоемкий процесс, который требует высоких материальных вложений, времени и сил. Он включает в себя сбор и анализ большого количества информации по объемам будущих перевозок и особенностям функционирования объекта, а также дальнейшую оценку перспектив его развития в течение как минимум двадцати лет после ввода в эксплуатацию [1]. К каждому объекту инфраструктуры предъявляются повышенные требования в части обеспечения бесперебойной работы и безопасности. Кроме того, на любом объекте организована работа сложных инженерных сетей: вентиляционных, электросетей и других [2]. По этой причине далеко не все могут справиться с непростой задачей по реконструкции аэропорта, здесь необходим комплексный подход. В процессе модернизации аэропортов специалисты все чаще обращаются к технологиям информационного моделирования. С начала 2022 года необходимо использовать BIM на всех проектах с участием государства.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Функционирование современных международных аэропортов становится все более разнообразным. Если раньше главной задачей было обеспечить логистику авиаперелетов, то сегодня аэропорты приобретают черты торговых, досуговых и культурных центров с кафе, ресторанами, отелями. Некоторые аэропорты становятся символами региона, настоящими туристическими достопримечательностями.

Примерами таких аэропортов-символов являются международные аэропорты Дубая (ОАЭ), Веллингтона (Новая Зеландия), Виннипега (Канада) и Чанги (Сингапур). Создание столь сложных объектов невозможно без внедрения

особых подходов к проектированию. Возможности информационного моделирования проявляют себя именно на таких объектах. BIM-технологии позволяют спроектировать и запустить многофункциональный объект, делая это эффективно, оптимизируют денежные затраты и время строительства, а также позволяют управлять аэропортом на всех этапах его жизненного цикла, в том числе на этапах эксплуатации, строительства и реконструкции [3]. Также стоит отметить, что BIM позволяет повысить рентабельность проекта путем более точного планирования материалов из информационной модели, своевременного поиска и исправления коллизий.

Применение технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве аэропортовой инфраструктуры позволяет: снизить стоимость владения объектом; значительно сократить затраты на паспортизацию объектов эксплуатации и запуск системы управления техническим обслуживанием и ремонтом; сократить сроки ввода в эксплуатацию за счет наличия полной и качественной исполнительной документации; улучшить взаимоотношения между собственниками инфраструктуры, арендаторами, подрядчиками и субподрядчиками [4].

Рассмотрим некоторые примеры международных аэропортов, при проектировании и строительстве которых были использованы технологии BIM.

### *Международный аэропорт Денвера (США)*

В плане по расширению международного аэропорта Денвера предусматривалось строительство общественного пространства, гостиницы и транзитного центра рядом с южным терминалом. Перед проектировщиками стояла комплексная задача — объединить уже существующую аэропортовую инфраструктуру с новыми строениями. Одним из узнаваемых элементов аэропорта является крыша существующего терминала, имеющая очень необычный дизайн. Сделана она из ткани, натяжение которой контролируют стальные кабели. Кабели, в свою очередь, прикреплены к вертикальным металлическим опорам. По проекту здания требовалось объединить новую часть аэропорта и 16 опор, которые поддерживают крышу. Быстро смоделировать и рассмотреть разные вариации создания объекта, а также выбрать оптимальную вариацию крыши по ряду основных параметров и построить ее в сжатые сроки смогли специалисты при помощи BIM-технологий. Виртуальная модель (рис. 1) позволила наглядно представить проект и согласовать проектное решение.

## BIM for Airports

### Begin with End in Mind: As-Built Models, Drawings and “Data”

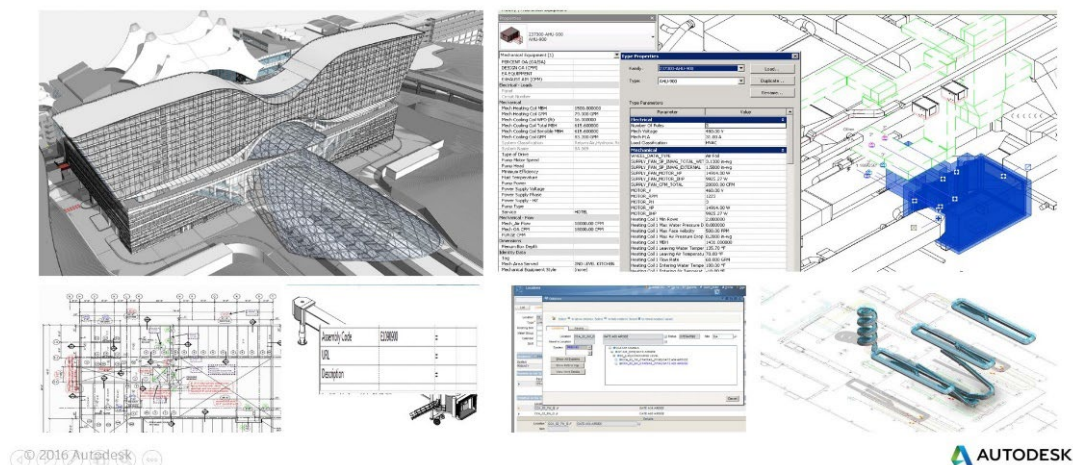


Рис. 1. BIM-модель международного аэропорта Денвера

#### Международный аэропорт Курумоч (Самара, Россия)

Для проектирования международного аэропорта Курумоч в Самаре группой компаний «Спектрум» были использованы BIM-технологии (рис. 2).

Терминал аэропорта является очень сложным объектом с точки зрения архитектуры, технологий и инженерного обеспечения. Такие проекты содержат большой объем информации для представления заказчику и экспертизе.



Рис. 2. BIM-модель международного аэропорта Курумоч

Для эффективной работы над проектом в компании была использована BIM на базе Autodesk Revit [5]. Сроки подготовки документации в целом были сокращены на пять месяцев по сравнению с работой по 2D-технологии. Достичь такой экономии по срокам удалось за счет эффективного взаимодействия с заказчиком и взаимосвязи разделов на базе BIM-модели.

#### Пассажирский терминал «Домодедово-2» (Москва, Россия)

В связи с проведением чемпионата мира по футболу в 2018 году в России встала задача реконструкции московского аэропорта Домодедово с увеличением его пропускной способности.

Решением данной задачи занялись компании «Сигни Групп» и «СибТехПроект» [6, 7]. Необходимо было спроектировать новый терминал T2, площадь которого 235 000 м<sup>2</sup>. Критически важными условиями для заказчика была своевременная реализация проекта, а также его качество. В первую очередь нужно было не допустить задержки строительства и сдвига сроков ввода объекта в эксплуатацию.

Скопление инженерных сетей в терминале составляло основную сложность для проектировщиков. В целом аэровокзалы отличаются сложностью устройства инженерных систем и их координации, а также повышенными требованиями к системам. На одном этаже на одном уровне могут располагаться помещения различного назначения. Их обслуживание будет осуществляться с помощью отдельных систем вентиляции, электроснабжения и кондиционирования. Увязать транзитные коммуникации в запотолочном пространстве этажа крайне сложно, безошибочно решить эту задачу, используя инструменты плоского проектирования и AutoCAD, невозможно.

Было принято решение применить BIM-технологию на базе Autodesk Revit (рис. 3) и Autodesk Navisworks для выполнения работ, это помогло отследить и устранить все коллизии на стадии проектирования [5].

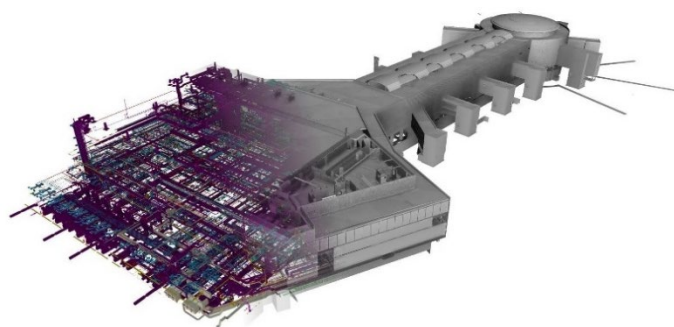


Рис. 3. Пассажирский терминал «Домодедово-2» в Autodesk Revit



Проектировщикам удалось обеспечить размещение и подключение оборудования в сжатых технических пространствах, проложить трассы инженерных сетей, при этом обеспечив доступ для их обслуживания и ремонта. Объем пространства, который занимают в терминале инженерное оборудование и сети можно сопоставить с полезным объемом помещений. Эти и другие факторы сделали BIM единственной технологией для решения задачи такого масштаба.

*Реконструкция аэродрома и строительство нового аэровокзального комплекса (Новый Уренгой, Россия)*

Перед проектировщиками была поставлена комплексная задача по строительству нового аэровокзального комплекса и реконструкции аэродрома в аэропорту Новый Уренгой с использованием информационной модели (рис. 4).

На этом примере можно увидеть, как информационное моделирование здания способствует нахождению ошибок

в проектировании и помогает избежать их негативного воздействия на строительство. В данном проекте применялась практика параллельного проектирования, то есть все принимаемые проектные решения оформлялись в рамках стандартного пакета проектной документации и одновременно создавалась информационная модель [5]. Также в информационной модели была отражена взаимосвязь уже существующей инфраструктуры аэропорта с новыми строениями, так как проект включал реконструкцию аэродрома. Технология информационного моделирования позволила обеспечить тесное взаимодействие между всеми участниками проекта. Информационная модель была построена с применением продуктов Autodesk. В модели выявили такие виды коллизий, как некорректное расположение оборудования и невозможность монтажа и эксплуатации. Учет всех технических и габаритных характеристик оборудования позволил спрогнозировать трудности эксплуатации и монтажа.

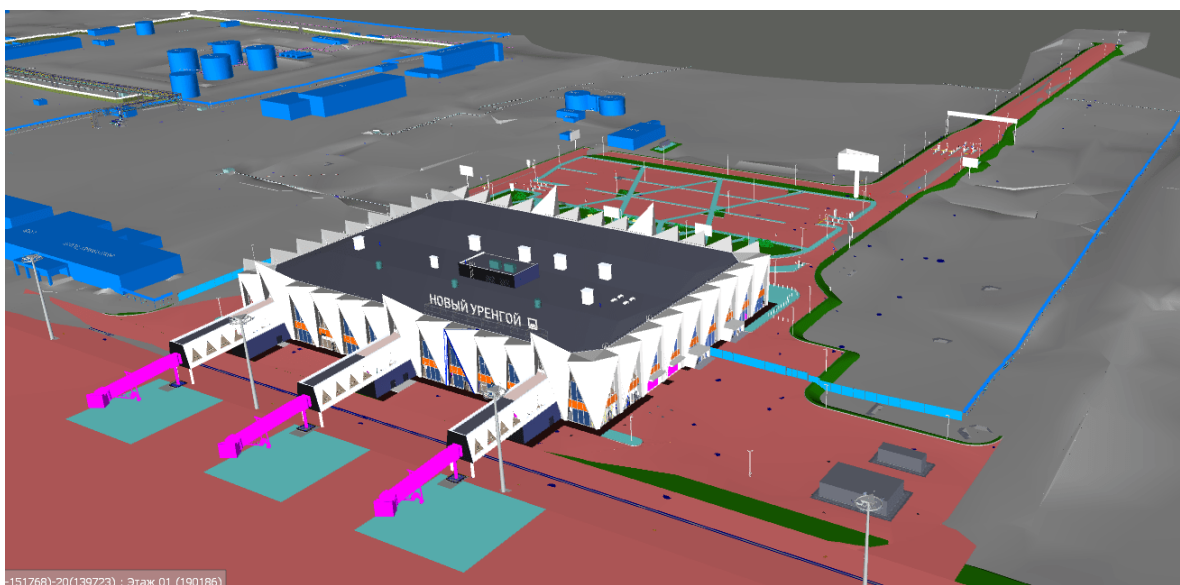


Рис. 4. BIM-модель аэропорта в Autodesk Navisworks

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Применение технологий информационного моделирования в проектировании и строительстве аэропортовой инфраструктуры позволяет решать основные проблемы и задачи при проектировании и строительстве: сокращение сроков проектных работ и согласования проектных решений, исключение коллизий, управление проектными данными, экономии ресурсов, улучшения процесса обмена информацией по проекту [8]. Также следует выделить важное преимущество, которое получает застройщик благодаря BIM-технологиям, — это улучшение репутации, в частности, за счет появления инструментов для точного прогнозирования сроков, управления строительным процессом. Информационное моделирование позволяет сдать объект точно в установленный срок. Сейчас в России уже реализовано множество проектов с использованием технологий информационного моделирования и эта тенденция имеет долгосрочную перспективу развития.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бузинов, М. Методологические основы BIM-технологии, и ее место в структуре информационных систем, сопровождающих весь жизненный цикл объекта строительства. Часть 1: инициация, ГЭО, проектирование // САПР и графика. 2014. № 12. С. 28–30.
2. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. — Москва: ДМК Пресс, 2011. — 392 с.
3. Пашинцева, Т. BIM не за горами // Archi.ru — Архитектура России и мира. — 2016. — 09 июня. URL: <http://archi.ru/russia/69222/bim-ne-za-gorami> (дата обращения 12.03.2023).
4. Решения для проектирования и строительства инфраструктурных объектов // CSD — Инфраструктурные BIM-проекты. URL: <http://infrabim.csd.ru> (дата обращения 12.03.2023).
5. Применение технологии BIM при реконструкции аэропортов // ilsvik.ru. — 2021. — 11 января. URL: <http://ilsvik.ru/?p=45620> (дата обращения 12.03.2023).

6. Аэропорт Домодедово, Терминал 2 // Сигни Групп.  
URL: <http://signy.nichost.ru/ru/projects-rus/projects-rus-airports/112-dme-projects-rus> (дата обращения 12.03.2023).

7. Аэропорт Домодедово. Терминал 2 // СибТехПроект.  
URL: <http://main.sibtehproekt.com/domodedovo> (дата обращения 12.03.2023).

8. BIM-технологии: организация, программно-техническое обеспечение, перспективы // Сервис Гео. — 2022. — 30 января. URL: <http://srvgeo.ru/articles/post/bim-tehnologii> (дата обращения 12.03.2023).

# Application of Information Modeling Technologies in the Design and Construction of Airport Infrastructure

PhD V. A. Popov

Saint Petersburg State University of Civil Aviation  
Saint Petersburg, Russia  
ipet43725@gmail.com

A. V. Pavlovets, N. V. Pavlovets  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
alin\_pavlovec2@mail.ru

**Abstract.** Discusses the application of information modeling technologies in the construction and design of airport infrastructure. The experience of using foreign and domestic airports is considered. The advantages of using BIM technologies and prospects for their further implementation are highlighted.

**Keywords:** information modeling, construction, airports, airfields, BIM technologies, infrastructure, modeling.

## REFERENCES

1. Buzinov M. Methodological Foundations of BIM Technology and Its Place in the Structure of Information Systems That Accompany the Entire Life Cycle of a Construction Project. Part 1: Initiation, Feasibility Study, Design [Metodologicheskie osnovy BIM-tehnologii, i ee mesto v strukture informatsionnykh sistem, soprovozhdayushchikh ves zhiznennyi tsikl obekta stroitelstva. Chast 1: initsiatsiya, TEO, proektirovanie], SAPR i grafika, 2014, № 12, Pp. 28–30.
2. Talapov V. V. BIM Basics: An Introduction to Building Information Modeling [Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdaniy]. Moscow, DMK Press, 2011, 392 p.
3. Pashintseva T. BIM Is Just Around the Corner [BIM ne za gorami], *Archi.ru — Russian Architecture* [*Archi.ru — Arkhitektura Rossii i mira*]. Published online at June 09, 2016. Available at: <http://archi.ru/russia/69222/bim-ne-za-gorami> (accessed 12 Mar 2023).

4. Solutions for the Design and Construction of Infrastructure Facilities [Resheniya dlya proektirovaniya i stroitelstva infrastrukturykh obektov], *CSD — Infrastructure BIM Projects* [*CSD — Infrastrukturnye BIM-proekty*]. Available at: <http://infrabim.csd.ru> (accessed 12 Mar 2023).

5. Application of BIM Technology in Airport Reconstruction [Primenenie tekhnologii BIM pri rekonstruktsii aeroportov], *ilsvik.ru*. Published online at January 11, 2021. Available at: <http://ilsvik.ru/?p=45620> (accessed 12 Mar 2023).

6. Domodedovo Airport. Terminal 2 [Aeroport Domodedovo. Terminal 2], *Signy Group* [*Signi Grup*]. Available at: <http://signy.nichost.ru/ru/projects-rus/projects-rus-airports/112-dme-projects-rus> (accessed 12 Mar 2023).

7. Domodedovo Airport. Terminal 2 [Aeroport Domodedovo. Terminal 2], *SibTehProekt* [*SibTechProekt*]. Available at: <http://main.sibtehproekt.com/domodedovo> (accessed 12 Mar 2023).

8. BIM Technologies: Organization, Software and Hardware, Prospects [BIM-tehnologii: organizatsiya, programmno-tekhnicheskoe obespechenie, perspektivy], *Servis Geo*. Published online at January 30, 2022. Available at: <http://srvgeo.ru/articles/post/bim-tehnologii> (accessed 12 Mar 2023).

# О современных технологиях разработки приложений виртуальной реальности

д.т.н. А. Д. Хомоненко, И. Д. Липанов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
khomon@mail.ru, illipanov@mail.ru

**Аннотация.** Характеризуются технологии разработки приложений виртуальной реальности с помощью игрового движка Unity и открытой графической библиотеки OpenGL. Такие интерактивные приложения позволяют пользователю погрузиться в виртуальный мир, используя специальные очки или гарнитуру VR. Для повышения эффективности разработки приложений VR с помощью этих инструментальных систем целесообразно применение математического аппарата кватернионов. Для дополнительного ускорения операций вращения объектов виртуальной реальности на основе кватернионов можно использовать алгоритм CORDIC и его улучшенную версию CORDIC-II.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, Unity, OpenGL, кватернионы, алгоритм CORDIC, алгоритм CORDIC-II.

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка приложений виртуальной реальности (Virtual Reality, VR) с помощью Unity и OpenGL — это процесс создания интерактивных приложений, которые позволяют пользователю погрузиться в виртуальный мир, используя очки или гарнитуру VR. Для разработки таких приложений целесообразно использовать Unity, который является мощным игровым движком, и OpenGL, который обеспечивает графический рендеринг в реальном времени [1].

Разработка приложений виртуальной реальности на основе математического аппарата кватернионов, позволяющего ускорить выполнение операций вращения графических

объектов, может повысить эффективность разработки приложения VR [2]. Дальнейшее повышение эффективности технологий создания приложений виртуальной реальности может быть достигнуто на основе применения алгоритма CORDIC (Coordinate Rotation Digital Computer) и его улучшенной версии CORDIC-II [3].

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ UNITY И OPENGL

Шаги, которые необходимо выполнить для разработки приложения VR с помощью Unity и OpenGL:

1. Создание проекта. В Unity создается новый проект, выбирается тип проекта (2D или 3D), платформа (Windows или Android) и настраиваются параметры проекта, такие как разрешение экрана, настройки графики и т. д.

2. Создание сцены. В Unity создается новая сцена и добавляются необходимые объекты и текстуры, которые будут использоваться в приложении. Можно использовать готовые модели и текстуры из библиотеки Unity Asset Store или создать свои собственные.

3. Настройка рендеринга. Устанавливаются настройки рендеринга, чтобы обеспечить наилучшее качество графики и производительность. Для этого выбираются настройки качества графики: освещения, тени и другие параметры, которые влияют на качество изображения (рис. 1).

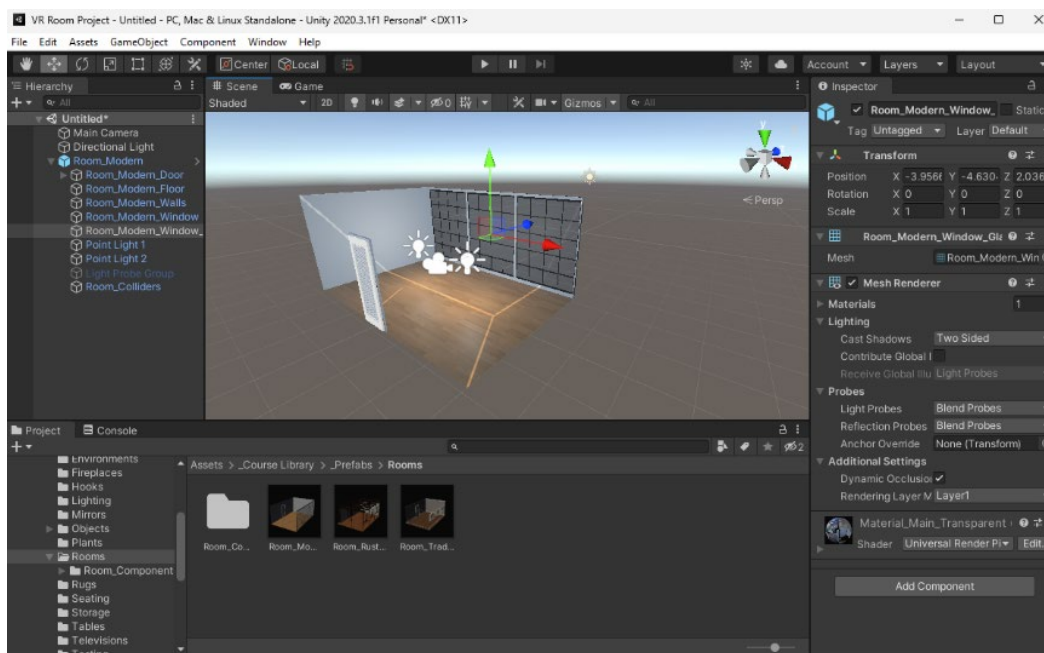


Рис. 1. Фрагмент интерфейса при настройке приложения VR

4. Подключение OpenGL. Для использования OpenGL в Unity необходимо установить плагин Unity-OpenGL. После установки плагина можно использовать функции OpenGL для создания эффектов, анимации и других графических элементов.

5. Добавление VR-содержимого в приложение. Это могут быть 3D-модели, текстуры и анимации. Для настройки VR-содержимого используют инструменты Unity, такие как настройка позиции камеры и фокуса, а также настройка глубины поля.

#### КВАТЕРНИОНЫ

Разработка приложений виртуальной реальности на основе кватернионов может повысить эффективность разработки и улучшить качество конечного продукта. Кватернионы — это математический объект, представляющий собой четырехмерный вектор, который используется для описания поворотов, масштабирования и других преобразований в трехмерном пространстве. Кватернион можно представить как вектор, каждый компонент которого является комплексным числом.

Пусть

$$\Lambda = \lambda_0 + \lambda_1 i + \lambda_2 j + \lambda_3 k = \lambda_0 + \lambda.$$

Здесь  $i, j, k$  — мнимые единицы,  $\lambda_0$  — скалярная часть,  $\lambda = \lambda_1 i + \lambda_2 j + \lambda_3 k$  — векторная часть кватерниона.

Кватернионы обладают рядом важных свойств, таких как умножение, сложение и умножение на скаляр. Эти операции позволяют эффективно выполнять преобразования объектов в трехмерном пространстве и создавать сложные анимации и эффекты.

Кватернионы используются для описания поворотов и трансформаций объектов в трехмерном пространстве. Они позволяют более точно и быстро выполнять операции с объектами, что может привести к улучшению производительности приложения и повышению его эффективности.

Например, при разработке приложения виртуальной реальности можно использовать кватернионы для быстрого и точного перемещения объектов в пространстве. Вместо того чтобы перестраивать всю сцену каждый раз, когда пользователь перемещает камеру, можно использовать кватернионы, чтобы быстро изменять положение камеры и объектов в сцене. Это может значительно ускорить работу приложения и сделать его более отзывчивым.

Кроме того, использование кватернионов позволяет более точно описывать повороты и трансформации объектов в трехмерном пространстве, что может быть особенно полезно при создании сложных анимаций и эффектов. Например, если нужно создать анимацию персонажа, который поворачивается на 90 градусов, можно использовать кватернион, чтобы точно описать поворот персонажа. Без использования кватернионов это может занять много времени и привести к ошибкам в анимации.

#### КВАТЕРНИОНЫ В OPENGL

В OpenGL кватернионы могут быть использованы для управления трансформацией объектов в трехмерной сцене. Например, кватернион может использоваться для определения поворота объекта вокруг его оси, масштаба объекта и его положения в пространстве.

Пример кода на языке C++, который использует кватернионы для трансформации объекта в OpenGL:

```
#include <GLFW/glfw3.h>
#include <glm/glm.hpp>
#include <vector>

// Функция для загрузки кватерниона из строки
glm::quat loadQuat(const std::string& quatStr) {
    std::vector<float> quatComponents = {0.0f};
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        quatComponents.push_back(stof(quatStr[i]));
    }
    glm::quat quat(quatComponents);
    return quat;
}

// Функция для преобразования объекта с использованием
кватерниона
void transformObject(glm::vec3 position, glm::vec3 scale,
glm::quat rotation,
    glm::mat4 modelMatrix, glm::mat4 viewMatrix,
    glm::mat4 projectionMatrix, GLuint objectId) {

    // Преобразование вращения объекта
    const glm::quat& rotationMatrix = rotation;
    glm::mat4 rotationMatrixInverse = glm::inverse(rotationMatrix);
    rotationMatrixInverse.m00 = rotationMatrix.w;
    rotationMatrixInverse.
```

#### КВАТЕРНИОНЫ В UNITY

В Unity кватернионы можно использовать для управления трансформацией объектов и создания сложных анимаций [1]. Несколько примеров использования кватернионов в Unity:

1. Поворот объекта. Чтобы повернуть объект вокруг своей оси, можно создать кватернион с нужным углом поворота и применить его к объекту с помощью функции *Quaternion.RotateTowards()*.

2. Анимация. Кватернионы также могут использоваться для создания анимаций. Например, можно создать кватернион для каждого кадра анимации и применить его к объектам для создания плавного движения.

3. Трансформация объектов. Кватернионы позволяют управлять трансформацией объектов, например масштабированием и перемещением. Можно создать кватернион с нужными значениями и применить его к объекту, чтобы изменить его размер или положение.

4. Оптимизация. Использование кватернионов для управления трансформацией объектов может значительно снизить нагрузку на процессор и повысить производительность приложения.

Для работы с кватернионами в Unity можно использовать класс *Quaternion* и его методы и свойства. Класс *Quaternion* в Unity представляет собой четырехмерный объект, который используется для работы с поворотами в трехмерном пространстве. Он имеет следующие методы и свойства.

Методы:

- *Quaternion.Euler(float x, float y, float z)* — создает кватернион из углов Эйлера;
- *Quaternion.FromTo(Vector3 from, Vector3 to)* — создает кватернион от точки *from* до точки *to*;

- *Quaternion.LookRotation(Vector3 direction)* — создает кватернион поворота из направления;
- *Quaternion.Inverse(Quaternion q)* — находит обратный кватернион к заданному;
- *Quaternion.Lerp(Quaternion a, Quaternion b, float t)* — линейно интерполирует между двумя кватернионами;
- *Quaternion.Slerp(Quaternion a, Quaternion b, float t, Vector3 upAxis)* — сферически интерполирует между двумя кватернионами.

Свойства:

- *Vector3 W* — компонент кватерниона, соответствующий вращению вокруг оси *X*;
- *Vector3 X* — компонент кватерниона, соответствующий вращению вокруг оси *Y*;
- *Vector3 Y* — компонент кватерниона, соответствующий вращению вокруг оси *Z*;
- *Vector3 Z* — компонент кватерниона, соответствующий масштабированию;
- *float W* — скалярный множитель кватерниона;
- *float X* — скалярный множитель кватерниона;
- *float Y* — скалярный множитель кватерниона.

Примером может служить задание значения вращения по каждой оси в градусах:

`Quaternion.Euler(float x, float y, float z);`

В целом, применение кватернионов в разработке приложений виртуальной реальности может значительно повысить эффективность работы и улучшить качество продукта. Для повышения эффективности операций вращения объектов виртуальной реальности на основе кватернионов можно использовать алгоритм Волдера CORDIC и его улучшенную версию CORDIC-II.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА АЛГОРИТМОВ CORDIC И CORDIC-II

Алгоритм CORDIC позволяет выполнять вращение объектов в трехмерном пространстве с высокой точностью и скоростью. Он основан на геометрической интерпретации кватернионов, что позволяет выполнять вращения без необходимости перестройки всей сцены каждый раз, когда меняется ориентация камеры.

При использовании алгоритма CORDIC можно значительно сократить время, необходимое для выполнения операций вращения, особенно при работе с большим количеством объектов. Кроме того, CORDIC может использоваться для создания более сложных анимаций и эффектов, так как он позволяет точно описывать повороты объектов в трехмерном пространстве.

Улучшенная версия алгоритма CORDIC — CORDIC-II — позволяет выполнять более точные и быстрые операции вращения, чем обычный CORDIC. Она использует битовую арифметику для выполнения операций с кватернионами, что позволяет значительно сократить время выполнения операций. Таким образом, использование алгоритмов CORDIC и CORDIC-II может существенно повысить эффективность разработки приложений виртуальной реальности и улучшить качество конечных продуктов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время достаточно глубокую проработку получили теоретические основы применения кватернионов для решения задач вращения, а также алгоритмов CORDIC и CORDIC-II в задачах морской и космической навигации, управлении и ряде других прикладных задач. Их применение при создании приложений виртуальной реальности представляется весьма перспективным, но требует практического решения и исследования конкретных прикладных задач в этой сфере.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фатеенков, Д. В. Применение стандарта OpenXR при разработке приложений в Unity с использованием технологий виртуальной реальности // Постулат. 2023. № 1. 9 с.
2. Петровский, Н. А. CORDIC-техника для фиксированного угла вращения в операции умножения кватернионов / Н. А. Петровский, А. В. Станкевич, А. А. Петровский // Информатика. 2015. № 4 (48). С. 85–108.
3. CORDIC II: A New Improved CORDIC Algorithm / M. Garrido, P. Källström, M. Kumm, O. Gustafsson // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2016. Vol. 63, Is. 2. Pp. 186–190. DOI: 10.1109/TCSII.2015.2483422.

# About Modern Technologies for Developing Virtual Reality Applications

Grand PhD A. D. Khomonenko, I. D. Lipanov  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
khomon@mail.ru, illipanov@mail.ru

**Abstract.** Technologies for developing virtual reality applications using the Unity game engine and the OpenGL open graphics library are characterized. Such interactive applications allow the user to immerse themselves in a virtual world using special glasses or a VR headset. To increase the efficiency of developing VR applications using these instrumental systems, it is advisable to use the mathematical apparatus of quaternions. To further speed up quaternion-based virtual reality object rotation operations, you can use the CORDIC algorithm and its improved version, CORDIC-II.

**Keywords:** virtual reality, Unity, OpenGL, quaternions, CORDIC algorithm, CORDIC-II algorithm.

## REFERENCES

1. Fateenkov D. V. Using the OpenXR Standard in Unity Application Development Using Virtual Reality Technologies [Primenenie standartov OpenXR pri razrabotke prilozheniy v Unity s ispolzovaniem tekhnologiy virtualnoy realnosti], *Postulat*, 2023, No. 1, 9 p.

2. Petrovsky N. A., Stankevich A. V., Petrovsky A. A. CORDIC Techniques for Fixed Angle of Rotation in Multiplying Operation of Quaternions [CORDIC-tehnika dlya fiksirovannogo ugla vrashcheniya v operatsii umnozheniya kvaternionov], *Informatics [Informatika]*, 2015, No. 4 (48), Pp. 85–108.

3. Garrido M., Källström P., Kumm M., Gustafsson O. CORDIC II: A New Improved CORDIC Algorithm, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2016, Vol. 63, Is. 2, Pp. 186–190.  
DOI: 10.1109/TCSII.2015.2483422.

# Моделирование сбоев в информационно-технологическом процессе управления подвижными объектами на основе модифицированных стохастических сетей Петри для использования в тренажерных системах

к.воен.н. А. Н. Кудряшов, В. Н. Воротягин  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
kudrspb@mail.ru, vorotyagin@rambler.ru

**Аннотация.** Представляется модель проявления сбоев в информационно-технологическом процессе управления подвижными объектами различного рода (поезда, надводные и подводные суда, самолеты, космические аппараты). Применительно к конкретной системе управления модель динамично формируется из набора однотипных фрагментов стохастической сети Петри с управляющими позициями, модифицированной для поставленной задачи. Разработанную модель предполагается использовать в тренажерных системах подготовки соответствующих операторов, диспетчеров, оперативных дежурных, инженеров центров управления движением (полетами), экипажей подвижных объектов.

**Ключевые слова:** подвижный объект, технологический процесс управления, технологическая операция, сбой, неопределенность, сеть Петри, матрица инцидентности, визуализация контрольной подмаркировки.

## ВВЕДЕНИЕ

Идея применения обобщающего понятия «подвижные объекты» и анализа информационно-технологических процессов управления ими (их обслуживания) далеко не нова [1]. К активным подвижным объектам (АПО) могут быть отнесены различные перемещающиеся в пространстве с функционирующим бортовым оборудованием и ведущие информационный, энергетический или вещественный обмен с физической средой или другими АПО системы: железнодорожные составы, поезда метрополитена, автотранспорт, воздушные, надводные и подводные суда, космические аппараты. В более широком понимании к классу АПО могут быть отнесены сами по себе неподвижные предприятия, но с весьма подвижным производством: сборочные конвейеры, нефтеперегонные, сталелитейные заводы и т. п.

В общем случае технология управления — совокупность процессов преобразования сведений о состоянии объекта управления и воздействиях среды в управляющее воздействие [2]. Информационно-технологический процесс управления активными подвижными объектами (ПО) — выполнение комплекса технологических операций управления ПО с определенным набором отношений между ними, определяющих порядок их выполнения, а также набором соответствующих инструкций, перечнем

соответствующего оснащения, условий и ограничений выполнения каждой из операций, обеспечивающих достижение требуемого результата (цели) с заданным качеством. Информационным процессом назван потому, что в настоящее время как операции сбора сведений о состоянии ПО, так и выдачи на него управляющих воздействий — это преимущественно операции манипулирования информацией с использованием аппаратно-программных средств. Механические приводы уходят в прошлое, штурвалы заменяются на джойстики.

В ходе реализации информационно-технологического процесса управления ПО ключевой фигурой является человек-оператор, принимающий решение о выполнении той или иной технологической операции управления. Его роль особенно возрастает при отклонениях от штатного хода процесса управления, возникновении сбоев, то есть в ситуации неспособности системы управления выполнить очередную технологическую операцию. Для повышения подготовки операторов, способных в условиях дефицита времени принимать решения по демпфированию сбоев и достижению поставленных целей, видится полезным использование тренажерных систем с включенной в состав их математического обеспечения предлагаемой моделью.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Следует различать процесс целевого функционирования управляемого подвижного объекта и информационно-технологический процесс управления им. В соответствии с методами системного анализа первичной является главная цель — выполнение ПО его целевого предназначения. Структура целевого процесса функционирования ПО в зависимости от его типа может задаваться расписаниями движения поездов, полетов самолетов, временным графиком работы бортовой аппаратуры космического аппарата и т. д. Исходя из них формируется и реализуется информационно-технологический процесс управления ПО.

Решение задачи моделирования сбоев в упомянутом выше процессе управления должно начинаться с моделирования самого процесса, только протекающего штатно. При этом должно учитываться то, что человек-оператор —



часть этого процесса, причем организующая. То есть модель процесса управления ПО должна быть интерактивной, предоставляющей оператору данные о состоянии ПО и возможность выдавать управляющие воздействия по изменению (сохранению) этого состояния.

Возникающие при управлении ПО нештатные (аварийные) ситуации (НС), то есть ситуации, угрожающие жизни и здоровью людей, экологии среды, выходом из строя технических средств, невыполнением цели функционирования ПО, как правило, явно проявляются, ясны последствия от них, природа их возникновения часто лежит на поверхности. Назначаются экспертные комиссии, определяются конкретные причины (виновные), разрабатываются планы мероприятий по устранению последствий НС. Соответственно, и для моделирования масштабных НС привлекаются методы различных научных направлений: технических, химических, биологических, метеорологических, военных и т. д.

Сбой же — это частное проявление НС, характеризующееся неспособностью отдельного функционального элемента системы выполнить свою функцию, как правило, по неизвестной причине, иногда кратковременной и самоустраняющейся. Под сбоем в информационно-технологическом процессе управления ПО будем понимать невозможность выполнения очередной технологической операции управления по неизвестной причине (от отказа клавиатуры на рабочем месте оператора до аварии на самом ПО). При этом нет времени для детального анализа причин и последствий сбоя, необходимо оперативно принимать решение: ничего не делать, ждать, когда сбой самоустранится, повторять операцию или искать обходной путь (байпас) в структуре технологического процесса управления ПО.

Это структура, представляющая собой совокупность реализуемых в процессе управления технологических операций, направленных на достижение целей, стоящих перед системой, и логико-временных взаимосвязей между ними, построенных с учетом ресурсов, необходимых для выполнения указанных операций [3]. С одной стороны, она является весьма жесткой конструкцией, определяющей дисциплину технологического процесса. С другой стороны, она может обладать явной и неявной гибкостью, допустимой из-за наличия резервных возможностей: дублирующих технических средств, каналов связи, способов выполнения отдельных функций по сокращенным технологиям, допускающим при достижении цели функционирования ПО некоторое снижение его качества и др.

С учетом указанных обстоятельств, модель процесса управления ПО со сбоями предлагается динамично формировать из набора однотипных моделей, каждая из которых отражает выполнение фрагмента процесса управления, одной или нескольких технологических операций, допустимых для выполнения в текущей ситуации с точки зрения функциональных возможностей управляемого ПО, здравого смысла и разрешенной гибкости, вариативности технологической структуры процесса управления.

Для моделирования процесса управления ПО предлагается использовать аналитико-имитационное моделирование и, в частности, так называемые сети Петри (СП), причинно-следственные модели параллельных действий, способные адекватно отразить логико-временные связи между технологическими операциями и динамику их выполнения

[3–6]. Для отражения возможного негативного влияния факторов природного и техногенного характера, человеческих ошибок, отказов технических (программных) средств, приводящих к сбоям в ходе процесса управления ПО, в модель следует ввести элементы, учитывающие неопределенность появления этих сбоев, влияющих на выполнение запланированных технологических операций управления ПО. Кроме того, коль скоро модель предназначена для использования в целях обучения, она должна предоставлять обучаемому оператору информацию о ходе процесса управления и возможность самому выполнять управляющие действия. А для преподавателя (инструктора) должны быть предусмотрены возможности по изменению исходных данных по технологии управления ПО, вводу нештатных ситуаций, а также накопления информации о действиях обучаемого для последующего их разбора.

С учетом приведенных требований была сформирована стохастическая сеть Петри с управляющими позициями, в которой переходы и позиции интерпретировались следующим образом. Переходы — это технологические операции, а наличие маркеров во входных позициях — условия для их выполнения. Она имеет следующий вид:

$$(P, T, F_1, F_2, M, S).$$

Рассмотрим компоненты модели.

$P$  — множество позиций, состоящее из трех подмножеств:

- $P_1$  — множество входных логических или стартовых позиций, маркер в каждую из которых помещает оператор; наличие маркера говорит о том, что предыдущая операция выполнена (данная позиция одновременно назначается выходной, финальной предыдущего перехода) и разрешена технологически выбранная оператором следующая операция (разрешен запуск соответствующего перехода);

- $P_2$  — множество входных «возмущаемых» позиций, отсутствие маркеров в которых говорит о невозможности выполнения соответствующих операций из-за отказа технического средства, ошибки персонала, других воздействий или эти операции осознанно исключены из технологического цикла (задается инструктором);

- $P_3$  — множество выходных «контрольных» позиций, или позиций отображения, визуализации ситуации, появление маркеров в которых говорит о выполнении очередной выбранной операции, позволяет соответственно сигнализировать об этом оператору на экране монитора, при наличии и необходимости для обучения запускать подготовленные заранее мультимедийные эффекты, вибрацию, механические приводы наклона кресла оператора и т. д., вплоть до эффектов 7D-кинотеатров.

$T$  — множество переходов  $t_i, i = 1, \dots, n$ , срабатывание каждого из которых интерпретируется как выполнение соответствующей технологической операции управления ПО.

$F_1$  и  $F_2$  — матрицы входных и выходных инцидентов, задающих связи между входными позициями и переходами и переходами и выходными позициями соответственно.

$M: P \rightarrow N, N = \{0, 1, 2, \dots\}$  — отображение, задающее маркировку (количество маркеров в позициях).

Правило срабатывания любого перехода  $t_i$  состоит в том, что из его входных позиций  $p_{1i}$  и  $p_{2i}$  должно быть изъ-

ято число маркеров, равное кратности дуг (ребер), соединяющих эту позицию с переходом (1), (2), а в его выходную позицию  $p_{3i}$  должно быть помещено, дополнительно к имеющимся, число маркеров, равное кратности дуги, соединяющей переход и данную позицию (3).

$$m^{\wedge}(p_{1i}) = m(p_{1i}) + f_1(p_{1i}, t_i), \quad (1)$$

$$m^{\wedge}(p_{2i}) = m(p_{2i}) + f_1(p_{2i}, t_i), \quad (2)$$

$$m^{p_{3i}} = m(p_{3i}) + f_2(t_i, p_{3i}). \quad (3)$$

В предлагаемой модели матрицы  $F_1$  и  $F_2$  имеют свои особенности, отличающие их от традиционных [4].

Элементы матрицы  $f_1(p_{1i}, t_i), i = 1, \dots, n$  определяются исходя из следующих соображений.

Условие запуска перехода  $t_i$  стандартное: число маркеров во входной позиции  $p_{1i}$ , как и в позиции  $p_{2i}$  должно быть больше или равно кратности входной дуги (числу  $x$ ):

$$m(p_{1i}) \geq x. \quad (4)$$

В классическом подходе, используемом в [4], при описании стохастических сетей Петри для введения неопределенности предлагается определять маркировку  $m(p_{1i})$  в левой половине неравенства (4) по вектору, компоненты которого есть вероятности появления в позиции  $p_{1i}$  одного маркера, двух маркеров, трех маркеров и т. д. В отличие от такого подхода, когда число маркеров неизвестно, да и представляется весьма сомнительной возможность обоснованного построения таких «вероятностных маркировок», в моделируемой нами ситуации число маркеров во входной позиции  $p_{1i}$  известно точно. Это число попыток обучаемого оператора запустить выполнение очередной технологической операции. Зато неизвестно, выполнится она или будет сбой. Для моделирования возможных сбоев предлагается вводить неопределенность в правую часть неравенства (4), задавая кратность дуги  $f_1(p_{1i}, t_i)$  — число  $x$  — датчиком случайных натуральных чисел в интервале  $[1, m]$ . При этом число  $m$  следует вводить, конечно, втайне от обучаемого. Такое введение своеобразной «структурной неопределенности» в матрицу входных инцидентов позволяет рассматривать предлагаемую модель как новую модификацию стохастических сетей Петри.

Используемая в модели матрица выходных инцидентов  $F_2$  усиливает структурную неопределенность, связывая переходы только с «висячими», накопительными, контрольными позициями из множества  $P_3$ , предоставляя оператору самому определять следующую за текущей технологическую операцию, допустимую в первую очередь с точки зрения разрешенной гибкости структуры информационно-технологического процесса управления ПО. Для задания применительно к каждой завершенной операции перечней, наборов разрешенных следующих за ней операций в структуру модели СП включена специальная матрица  $S$  — матрица разрешений, элементы которой

$$s(t_i, p_{1j}) = [0, 1], \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n$$

определяют для операции  $t_i$  перечень всех разрешенных к выполнению после нее операций  $t_j$ , а также возможности, в случае сбоя ее выполнения, построения обходного пути (байпаса) в структуре технологического процесса управления или повтора операции ( $i = j$ ).

Графически элементарный фрагмент СП, моделирующий выполнение технологической операции  $t_i$ , представлен на рисунке 1.

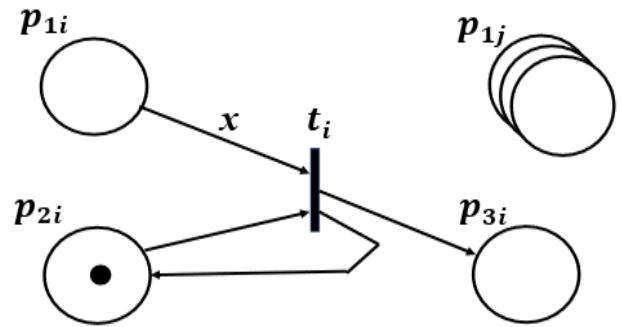


Рис. 1. Элементарный фрагмент СП

Факт выполнения или сбоя в выполнении текущей операции  $t_i$  определяется по появлению или отсутствию соответственно маркера в контрольной позиции  $p_{3i}$  с одновременным пропаданием или остающимся в наличии маркере в позиции  $p_{1i}$ . Таким образом, вектор текущей контрольной подмаркировки, часть вектора маркировки  $\mu$ , задающего количество маркеров в позициях подмножества  $P_3$ , наряду с матрицей  $S$  определяют состав предоставляемой оператору информации о состоянии процесса управления ПО, ее визуализацию (текстовые, графические, аудиосообщения, мультимедийные эффекты и т. п.). Сообщение о невыполнении операции (нет срабатывания перехода  $t_i$  после помещения маркера в позицию  $p_{1i}$ , не появился новый маркер в контрольной позиции  $p_{3i}$ ) может выдаваться с заранее заданной временной задержкой [6]. Кроме того, накапливающиеся в контрольных позициях маркеры несут информацию о действиях обучаемого (выборе, повторе, пропуске технологических операций), которая может быть использована для последующего разбора занятия.

Следует заметить, что модель, предоставляя обучаемому в случае сбоя выполнения текущей технологической операции управления набор разрешенных действий в широком диапазоне от очевидных до гипотетически возможных, может позволить найти решения, «немыслимые» с точки зрения сложившейся практики, закрепленной в инструкциях, неявно ощущаемые специалистами, годами занимающимися управлением ПО, но скованными наработанными до автоматизма рефлексамии. Следовательно, разработанная модель может использоваться не только для обучения, но и для исследований, направленных на поиск нестандартных решений по выходу из нештатных ситуаций и в целом на совершенствование технологии управления ПО.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин, В. Н. Теоретические основы управления операциями обслуживания подвижных объектов: Учебное пособие для слушателей и курсантов. — Ленинград [Санкт-Петербург]: Воен. инж. ин-т им. А. Ф. Можайского, 1976. — 95 с.
2. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: Учебник / Ю. С. Мануйлов, В. Н. Калинин, В. С. Гончаревский, [и др.]; под общ.

ред. Ю. С. Мануйлова. — Санкт-Петербург: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2010. — 609 с.

3. Кудряшов, А. Н. Анализ целевых возможностей наземного комплекса управления космическими аппаратами на основе сетей Петри и экспертного оценивания // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 2 (26). С. 71–77.

4. Резников Б. А. Системный анализ и методы системотехники. Часть 1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. — Министерство обороны СССР, 1990. — 522 с.

5. Колесник, А. В. Обоснование состава инструментария разработки программных средств моделирования космиче-

ских систем / А. В. Колесник, М. Ю. Ортиков, А. В. Чарушников // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2020. Вып. 675. С. 53–61.

6. Кудряшов А.Н. Тренажерно-обучающая модель выдачи управляющих воздействий на бортовые устройства космического аппарата на основе временных сетей Петри // Проблемы создания и применения космических аппаратов и систем средств выведения в интересах решения задач вооруженных сил Российской Федерации: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 12–13 апреля 2022 г.). — Санкт-Петербург: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2022. — С. 281–286.

# Modeling of Faults in the Information-Technological Process of Control of Moving Objects on the Basis of Modified Stochastic Petri Nets for Use in Simulation Systems

PhD A. N. Kudryashov, V. N. Vorotyagin  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
kudrspb@mail.ru, vorotyagin@rambler.ru

**Abstract.** A model of the manifestation of failures in the information-technological process of managing various types of mobile objects (trains, surface and underwater vessels, aircraft, spacecraft) is presented. As applied to a specific control system, the model is dynamically formed from a set of similar fragments of a stochastic Petri net with control positions modified for the task. The developed model is supposed to be used in simulator training systems for relevant operators, dispatchers, operational duty officers, engineers of traffic control centers (flights), crews of mobile objects.

**Keywords:** moving object, technological process of control, technological operation, failure, uncertainty, Petri net, incidence matrix, visualization of control labeling.

## REFERENCES

1. Kalinin V. N. Theoretical bases of management of operations of service of mobile objects: Study guide [Teoreticheskie osnovy upravleniya operatsiyami obsluzhivaniya podvizhnykh obektov: Uchebnoe posobie]. Leningrad [Saint Petersburg] Mozhaisky Military Engineering Institute, 1976, 95 p.
2. Manuylov Yu. S., Kalinin V. N., Goncharevsky V. S. Control of space vehicles and means of the ground complex: Textbook [Upravlenie kosmicheskimi apparatami i sredstvami nazemnogo kompleksa upravleniya: Uchebnik]. Saint Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy, 2010, 609 p.
3. Kudryashov A. N. Analysis of the Target Capabilities of the Ground-Based Spacecraft Control System Based on Petri Nets and Expert Evaluation [Analiz tselevykh vozmozhnostey nazemnogo kompleksa upravleniya kosmicheskimi apparatami na osnove setey Petri i ekspertnogo otsenivaniya], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2020, No. 2 (26), Pp.71–77.

4. Reznikov B. A. System analysis and methods of system engineering. Part 1. Methodology of system research. Modeling of complex systems [Sistemnyy analiz i metody sistemotekhniki. Chast 1. Metodologiya sistemnykh issledovaniy. Modelirovanie slozhnykh sistem]. Ministry of Defense of the USSR, 1990, 522 p.

5. Kolesnik A. V., Ortikov M. Y., Charushnikov A. V. Justification of the Composition of Tools for Developing Software for Modeling Space Systems [Obosnovanie sostava instrumentariya razrabotki programnykh sredstv modelirovaniya kosmicheskikh sistem], *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy [Trudy VoЕННО-kosmicheskoy akademii imeni A. F. Mozhayskogo]*, 2020, Is. 675, Pp. 53–61.

6. Kudryashov A. N. Simulator-Training Model for Issuing Control Actions on On-Board Devices of a Spacecraft Based on Temporary Petri Nets [Trenazherno-obuchayushchaya model vydachi upravlyayushchikh vozdeystviy na bortovye ustroystva kosmicheskogo apparata na osnove vremennykh setey Petri], *Problems of Creating and Using Spacecraft and Launch Vehicle Systems in the Interests of Solving the Problems of the Armed Forces of the Russian Federation: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference [Problemy sozdaniya i primeneniya kosmicheskikh apparatov i sistem sredstv vyvedeniya v interesakh resheniya zadach vooruzhennykh sil Rossiyskoy Federatsii: Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Saint Petersburg, Russia, April 12–13, 2022. Saint Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy, 2022, Pp. 281–286.

# Моделирование инвестиционных программ в условиях цифровизации

М. В. Добрина

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
Москва, Россия  
dobrina\_mv@mail.ru

**Аннотация.** Инвестиционная программа — это совокупность инвестиционных проектов, имеющая общую целевую направленность существования. Инвестиционная программа включает в себя наименование всех объектов инвестирования с указанием размера инвестиций конкретных временных ограничений. Цифровизация заключается в повсеместном использовании информационных технологий (электронных и цифровых), направленном на значительный рост стоимости и производительности бизнеса. В работе рассматривается специфика моделирования инвестиционных программ в условиях цифровизации, а также проанализированы основные математические методы оценки инвестиционных программ, в том числе с учетом особенностей цифровизации.

**Ключевые слова:** инвестиционная программа, моделирование, цифровизация.

Моделирование инвестиционных программ в условиях цифровизации является актуальной проблемой. Это объясняется повсеместным введением цифровизации во все сферы современной жизни и необходимостью упрощения моделирования инвестиционных программ с помощью специальных программ. Например, для оптимизации инвестиционной программы организации часто применяют подпрограмму Microsoft Excel «Поиск решения».

Следует уточнить, что цифровизация подразумевает значительный темп использования последних цифровых технологий. Понятие повсеместной цифровизации включает в себя процесс перехода первоначальных данных в знания, применяемые для достижения различных целей.

К отличительным особенностям цифровизации следует отнести:

1. Функционирование в условиях цифровой среды.
2. Виртуальность, так как данные находятся на различных носителях, представляя собой совокупность цифровых сигналов.
3. Цифровая валюта и виртуальные товары.
4. Прямое взаимодействие производителей и потребителей. Благодаря этому уменьшается длина цепочки посредников.

5. Персонафицированность. Появилась возможность удовлетворять потребности не только среднестатистического потребителя, но и каждого конкретного клиента [1].

Инвестиционная программа — это совокупность действий, направленных на извлечение прибыли от инвестиций в создание и (или) развитие бизнеса [2].

Моделирование — это исследование объектов познания на основе их моделей, формирование и анализ моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователей [3].

В целом моделирование работы организации в инвестиционной сфере базируется на анализе всех возможных вариантов капитальных инвестиций, направленных на развитие организации. При этом производится выбор такого варианта, который дает наибольшую эффективность работы организации по выбранному курсу с учетом ресурсных ограничений на инвестиции.

Представим процесс окончания формирования инвестиционной программы организации в следующем тривиальном виде при помощи статистической модели:

$$\sum_{i=1}^n ЧДД_i Z_i \rightarrow \max;$$
$$\sum_{i=1}^n K_i Z_i \leq F;$$
$$Z_i \in \{0,1\}, \quad i = \overline{1, n},$$

где ЧДД<sub>*i*</sub> — чистый дисконтируемый доход, получаемый от выполнения *i*-го инвестиционного проекта;

*K<sub>i</sub>* — размер необходимых вложений, необходимых для выполнения *i*-го инвестиционного проекта;

*Z<sub>i</sub>* — переменная, показывающая входит (полностью или частично) или не входит *i*-й проект в инвестиционную программу организации;

*F* — заданный объем финансирования;

*n* — количество анализируемых инвестиционных проектов [4].

Данная задача решается двумя методами в зависимости от того, требуется ли целочисленное решение этой задачи.

Если целочисленное решение задачи не требуется, а, значит, допускается выполнение инвестиционных проектов не в полном объеме, то инвестиционная программа может быть построена с применением метода последовательного отбора вариантов, ранжированных по степени убывания положительных индексов доходности, до полного исчерпания заданного объема финансирования. Данная задача решается симплекс-методом линейного программирования. Тогда граничные условия модели представляются следующим образом [5]:

$$0 \leq X_i \leq 1, \quad i = \overline{1, n}.$$

Под индексом доходности (ИД) подразумевается отношение чистого дохода к размеру инвестиций, увеличенное на единицу.

Если требуется целочисленное решение данной задачи, что означает невозможность дробления инвестиционных проектов, то она должна решаться методами целочислен-

ного линейного программирования. Примером такого метода служит метод ветвей и границ.

Базой метода является совокупность операций, направленных на различные варианты инвестиционной программы, дающих возможность эффективно уменьшить полный перебор данных операций.

Алгоритм выполнения метода ветвей и границ можно представить следующим образом:

1. Формируется произвольная эталонная ветвь дерева возможных вариантов инвестиционной программы.

2. Последовательно перебираются вершины дерева, при этом для каждой из вершин дерева оценивается допустимая (верхняя или нижняя) граница.

3. На основе итога оценки принимается решение о целесообразности нового ветвления определенной вершины.

4. Эталонная ветвь с самой лучшей оценкой по допустимой границе считается оптимальной.

Выполнение предложенного алгоритма на практике при построении инвестиционной программы заключается в поэтапном формировании многоуровневого дерева, каждая вершина которого на  $i$ -м уровне фиксирует факт включения (или невключения) в инвестиционную программу проекта  $i$  по итогам оценки допустимой границы.

Предположим, что помимо показателей инвестиционных издержек и ожидаемых эффектов, необходимо учесть и все другие условия.

Перейдем к описанию математического вида модели. Исходными данными являются:

1. Целевая функция эффективности (к примеру, сумма NPV всех проектов, рекомендуемых к выполнению), которую необходимо максимизировать.

Запишем это математически:

$$F = \sum_{i=1}^N a_i X_i \rightarrow \max,$$

где  $i$  — порядковый номер проекта;

$N$  — число проектов;

$X_i$  — критерий выбора  $i$ -го проекта;

$a_i$  — булева переменная.

Принятие решения об осуществлении проекта определяется следующим образом: если  $a_i = 1$ , то проект принимается; если  $a_i = 0$ , то проект не принимается.

2. Инвестиционные ресурсы ограничены («≤»).

3. Снизу наложены ограничения на инвестиционные ресурсы («≥»). Данные ресурсные ограничения могут требовать, например, поставщики, служба занятости и другие.

В итоге экономико-математическая модель построения инвестиционной программы организации будет представлена следующим образом [6]:

$$F = \sum_{i=1}^N a_i X_i \rightarrow \max$$

при

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N a_i x_{1i} \geq K_1 \\ \sum_{i=1}^N a_i x_{2i} \geq K_2 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^N a_i x_{mi} \geq K_m \\ \sum_{i=1}^N a_i I_i \leq A \\ a_i = 0 \vee 1, \quad i = 1, \dots, N, \end{cases}$$

где  $x_{ji}$  — субъективный критерий оценки инвестиционной программы, относящийся ко второстепенным:  $i = 1, \dots, N$ ;  $j = 1, \dots, m$ ;

$K_j$  — минимальное ограничение на сумму  $j$ -х критериев для выбранных для выполнения программ:  $j = 1, \dots, m$ ;

$A$  — максимальное ограничение на инвестиционную способность.

Преобразуем вышеуказанную систему. Для этого введем в каждое линейное неравенство переменную  $Z_j \geq 0$ , в котором  $j = 1, \dots, m + 1$  — количество неравенств. В итоге получим систему, в состав которой входит  $m + 1$  линейных алгебраических уравнений с  $N + m + 1$  [6]:

$$\begin{cases} -\sum_{i=1}^N a_i x_{ji} + Z_j = -K_j \\ \sum_{i=1}^N a_i I_i + Z_{m+1} = A \end{cases}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Из системы видно, что выполненное преобразование предопределяет следующее:

- количество переменных больше числа ограничений;
- введенные дополнительные переменные считаются базисными, так как содержат равные единице коэффициенты. При этом каждая из дополнительных базисных переменных входит лишь в одно уравнение системы.

Таким образом, благодаря выполненному преобразованию предложенная модель была сведена к модели, решаемой с помощью метода линейного программирования при помощи стандартного математического обеспечения.

В методе ветвей и границ  $X_i$  — булева переменная, демонстрирующая, входит или не входит  $i$ -й проект в инвестиционную программу организации.

Тогда граничные условия модели представляются следующим образом:

$$X_i = \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}.$$

При этом из-за введения дополнительных ограничений на размер финансирования инвестиционной программы для каждого момента ее выполнения ограничение принимает уже новый следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n K_{it} X_i \leq F_t,$$

где  $K_{it}$  — вложения, направленные на осуществление  $i$ -го проекта для  $t$ -го момента времени инвестиционной программы;

$F_t$  — выбранный размер финансирования инвестиционной программы на  $t$ -й момент ее выполнения.

Таким образом, необходимо рассчитать и проанализировать четыре возможных варианта оптимальной инвестиционной программы организации:

- 1) при целочисленной постановке;
- 2) при нецелочисленной постановке;
- 3) при ограничениях на размер финансирования только в стартовом (нулевом) году;
- 4) при ограничениях на размер финансирования в течение первых двух лет выполнения инвестиционной программы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козина, Е. Н. Формирование оптимальной инвестиционной программы предприятия // Сборник трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014) (Москва, Россия, 16–19 июня 2014). — Москва: ИПУ РАН, 2014. — С. 8060–8067.
2. Виленский, В. П. Об одном подходе к учету влияния неопределенности и риска на эффективность инвестиционных проектов // Экономика и математические методы. 2002. Т. 38, Вып. 4. С. 24–31.
3. Сергеева, Д. П. Методы оценки эффективности инвестиционных проектов с учетом рекомендаций Минэкономки // Инновационная наука. 2015. № 9. С. 201–203.
4. Добрина, М. В. Портфель инновационных проектов как глобальная опционная комбинация // Инновации, технологии и бизнес. 2018. № 1 (4). С. 30–35.
5. Добрина, М. В. Управление рисками инвестиционных проектов / М. В. Добрина, Л. В. Шевченко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. 2016. № 1 (8). С. 27–31.
6. Григорьев, Ю. И. Разработка рекомендаций по формированию инвестиционной программы региона // Экономика и социум. 2015. № 5(18), ч. 1. С. 348–354.

# Modeling of Investment Programs in the Conditions of Digitalization

M. V. Dobrina

Financial University under the Government of the Russian Federation

Moscow, Russia

dobrina\_mv@mail.ru

**Abstract.** An investment program is a set of investment projects that have a common purpose of existence. The investment program includes the name of all investment objects with an indication of the amount of investment of specific time limits. Digitalization consists in the widespread use of information technologies (electronic and digital technologies) aimed at a significant increase in the cost and productivity of the business. The paper considers the specifics of modeling investment programs in the conditions of digitalization, and also analyzes the main mathematical methods for evaluating investment programs, including taking into account the features of digitalization.

**Keywords:** investment program, modeling, digitalization.

## REFERENCES

1. Kozina E. N. Formation of the Optimal Investment Program of the Enterprise [Formirovanie optimalnoy investitsionnoy programmy predpriyatiya], *Proceedings of the XII All-Russian Meeting on Management Problems [Sbornik trudov XII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya] (VSPU-2014), Moscow, Russia, June 16–19, 2014.* Moscow, V. A. Trapeznikov Institute of Control Science of RAS, 2014, Pp. 8060–8067.

2. Vilensky V. P. On One Approach to Accounting for the Impact of Uncertainty and Risk on the Effectiveness of Investment Projects [Ob odnom podkhode k uchetu vliyaniya neopredelennosti i riska na effektivnost investitsionnykh proektov], *Economics and Mathematical Methods [Ekonomika i matematicheskie metody]*, 2002, Vol. 38, Is. 4, Pp. 24–31.

3. Sergeeva D. P. Methods of Evaluating the Effectiveness of Investment Projects Taking into Account the Recommendations of the Ministry of Economy [Metody otsenki effektivnosti investitsionnykh proektov s uchetom rekomendatsiy Minekonomiki], *Innovacionnâ Nauka [Innovatsionnaya nauka]*, 2015, No. 9, Pp. 201–203.

4. Dobrina M. V. The Portfolio of Innovative Projects as the Global Optional Combination [Portfel innovatsionnykh proektov kak globalnaya opsionnaya kombinatsiya], *Innovacii, tehnologii i biznes [Innovatsii, tekhnologii i biznes]*, 2018, No. 1 (4), Pp. 30–35.

5. Dobrina M. V., Shevchenko L. V. Risk Evaluation of Investment Projects [Upravlenie riskami investitsionnykh proektov], *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. Construction Management [Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Upravlenie stroitel'stvom]*, 2016. No. 1 (8). Pp. 27–31.

6. Grigoriev Yu. I. Development of Recommendations on the Formation of the Investment Program in the Region [Razrabotka rekomendatsiy po formirovaniyu investitsionnoy programmy regiona], *Ėkonomika i Socium [Ekonomika i sotsium]*, 2015, No. 5 (18), ch. 1, Pp. 348–354.