

*Intellectual Technologies  
on Transport  
No 1*



*Интеллектуальные технологии  
на транспорте  
№ 1*

*Санкт-Петербург  
St. Petersburg  
2023*

**Интеллектуальные технологии на транспорте  
(сетевой электронный научный журнал)**

**№ 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**

Панычев А. Ю., ректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Чаркин Е. И., зам. ген. директора по ИТ ОАО «РЖД», Москва, РФ

---

**Редакционный совет**

Ададулов С. Е., проф., Москва, РФ

Дудин А. Н., д.т.н., проф., БГУ, Минск, Беларусь

Корниенко А. А., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Ковалец П., проф., Техн. ун-т, Варшава, Польша

Меркурьев Ю. А., проф., РТУ, Рига, Латвия

Нестеров В. М., проф., СПбГУ, С.-Петербург, РФ

Пустарнаков В. Ф., зам. ген. дир. «Газинформсервис»,  
С.-Петербург, РФ

Титова Т. С., проф., проректор ПГУПС,

С.-Петербург, РФ

Федоров А. Р., ген. дир. «Digital Design», С.-Петербург, РФ

Юсупов Р. М., проф., чл.-корр. РАН, С.-Петербург, РФ

---

**Редакционная коллегия**

Бубнов В. П., проф., С.-Петербург, РФ –

заместитель главного редактора

Александрова Е. Б., проф., С.-Петербург, РФ

Атилла Элчи, проф., ун-т Аксарай, Турция

Басыров А. Г., проф., С.-Петербург, РФ

Безродный Б. Ф., проф., Москва, РФ

Благовещенская Е. А., проф., С.-Петербург, РФ

Булавский П. Е., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ

Василенко М. Н., проф., С.-Петербург, РФ

Глухов А. П., д.т.н., Москва, РФ

Гуда А. Н., проф., Ростов-на-Дону, РФ

Железняк В. К., проф., Новополоцк, Беларусь

Заборовский В. С., проф., С.-Петербург, РФ

Канаев А. К., проф., С.-Петербург, РФ

Котенко А. Г., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ

Куренков П. В., проф., Москва, РФ

Лецкий Э. К., проф., Москва, РФ

Макаренко С. И., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ

Мирзоев Т. А., асс. проф., Джорджия, США

Наседкин О. А., к.т.н., доц., С.-Петербург, РФ

Никитин А. Б., проф., С.-Петербург, РФ

Новиков Е. А., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ

Охтилев М. Ю., проф., С.-Петербург, РФ

Привалов А. А., проф., С.-Петербург, РФ

Соколов Б. В., проф., С.-Петербург, РФ

Таранцев А. А., проф., С.-Петербург, РФ

Утепбергенов И. Т., проф., Алматы, Казахстан

Филипченко С. А., к.т.н., доц., Москва, РФ

Фозилов Ш. Х., проф., Ташкент, Узбекистан

Хабаров В. И., проф., Новосибирск, РФ

Ходаковский В. А., проф., С.-Петербург, РФ

Ху Фу-Ниан, проф., Сяйчжоу, Китай

Чехонин К. А., проф., Хабаровск, РФ

Ялышев Ю. И., проф., Екатеринбург, 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.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2023

# Intellectual Technologies on Transport

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

---

### Editor-in-Chief

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

### Co-chairs of the Editorial Council

Panychev A. Y., rector of PSTU, St. Petersburg, Russia  
Charkin E. I., CIO of JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

---

### Editorial Council Members

Adadurov S. E., Prof., Moscow, Russia  
Dudin A. N., Prof., BSU, Minsk, Belarus  
Kornienko A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia  
Kovalets P., Prof., Tech. University, Warsaw, Poland  
Merkuryev Y. A., Prof., RTU, Academician  
of the Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia  
Nesterov V. M., Prof., SPbSU, St. Petersburg, Russia

Pustarnakov V. F., Deputy CEO at «Gazinformservice» Ltd.,  
St. Petersburg, Russia  
Titova T. S., Prof., Vice-Rector, PSTU, St. Petersburg, Russia  
Fedorov A. R., CEO at «Digital Design» Ltd.,  
St. Petersburg, Russia  
Yusupov R. M., Prof., Corr. Member of RAS,  
St. Petersburg, Russia

---

### Editorial Board Members

Bubnov V. P., Prof., St. Petersburg, Russia –  
Deputy Editor-in-Chief  
Aleksandrova E. B., Prof., St. Petersburg, Russia  
Atilla Elci, Prof., Aksaray University, Turkey  
Basyrov A. G., Prof., St. Petersburg, Russia  
Bezrodny B. F., Prof., Moscow, Russia  
Blagoveshchenskaya E. A., Prof., St. Petersburg, Russia  
Bulavsky P. E., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia  
Vasilenko M. N., Prof., St. Petersburg, Russia  
Glukhov A. P., Dr. Sc., St. Petersburg, Russia  
Guda A. N., Prof., Rostov-on-Don, Russia  
Zheleznyak V. K., Prof., Novopolotsk, Belarus  
Zaborovsky V. S., Prof., St. Petersburg, Russia  
Kanaev A. K., Prof., St. Petersburg, Russia  
Kotenko A. G., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia  
Kurenkov P. V., Prof., Moscow, Russia  
Letsky E. K., Prof., Moscow, Russia

Makarenko S. I., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia  
Mirzoev T. A., As. Prof., Georgia, USA  
Nasedkin O. A., As. Prof., St. Petersburg, Russia  
Nikitin A. B., Prof., St. Petersburg, Russia  
Novikov E. A., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia  
Okhtilev M. Y., Prof., St. Petersburg, Russia  
Privalov A. A., Prof., St. Petersburg, Russia  
Sokolov B. V., Prof., St. Petersburg, Russia  
Tarantsev A. A., Prof., St. Petersburg, Russia  
Utepbergenov I. T., Prof., Almaty, Kazakhstan  
Filipchenko S. A., As. Prof., Moscow, Russia  
Fozilov Sh. Kh., Prof., Tashkent, Uzbekistan  
Khabarov V. I., Prof., Novosibirsk, Russia  
Khodakovskiy V. A., Prof., St. Petersburg, Russia  
Hu Fu-Nian, Prof., Xuzhou, China  
Chekhonin K. A., Prof., Khabarovsk, Russia  
Yalyshev Y. I., Prof., Ekaterinburg, 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.

## Содержание

*Ермаков С. Г., Баталов Д. И., Мельников И. С.*

Использование платформы Robin RPA в процессе цифровой трансформации транспортных компаний ..... 5

*Заручевский Я. А., Терехов В. Г., Гончаренко В. А.*

Система дистанционного контроля резервного электропитания объектов информационной инфраструктуры железных дорог ..... 15

*Пугачев С. В., Хомоненко А. Д., Ярмолинский Ф. А.*

О разработке информационной системы грузоперевозок ОАО «РЖД» на основе безопасной интеграции приложений ..... 21

*Язынин В. С., Барановский А. М., Забродин А. В.*

Модель системы дистанционного контроля состояния электроподвижного состава с применением искусственных нейронных сетей ..... 27

*Божко Л. М.*

Использование метода Монте-Карло в имитационном моделировании экономических систем ..... 38

*Егоров В. В., Лобов С. А., Ходаковский В. А.*

Сжатие спектра речевого потока путем передискретизации звуковых файлов ..... 43

*Герасименко П. В., Вертешев С. М.*

Очная и смешанная очно-дистанционная формы подготовки бакалавров направления ИВТ в ПсковГУ: результаты и сравнения ..... 50

*Бестужева А. Н., Гончаренко В. А.*

Математическое моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в замкнутой акватории ..... 57

Памяти коллеги ..... 61

# Contents

*Ermakov S. G., Batalov D. I., Melnikov I. S.*  
Using the Robin RPA Platform in the Process of Digital Transformation of Transport Companies ..... 5

*Zaruchevskiy Ya. A., Terekhov V. G., Goncharenko V. A.*  
Remote Control System for Backup Power Supply of Railway Information Infrastructure Facilities ..... 15

*Pugachev S. V., Khomonenko A. D., Yarmolinsky F. A.*  
On the Development of an Information System for Cargo Transportation  
of JSC Russian Railways Based on Secure Application Integration ..... 21

*Yazynin V. S., Baranovsky A. M., Zabrodin A. V.*  
The Model of Remote Monitoring System for Electric Rolling Stock Condition  
Using Artificial Neural Networks ..... 27

*Bozhko L. M.*  
Using the Monte Carlo Method in Simulated Modeling of Economic Systems ..... 38

*Egorov V. V., Lobov S. A., Khodakovskiy V. A.*  
Compression of the Speech Stream Spectrum by Resampling Sound Files ..... 43

*Gerasimenko P. V., Verteshev S. M.*  
Full-Time and Mixed Full-Time and Distance Forms of Bachelor's Degree Training  
in the IVT Direction in Pskov State University: Results and Comparisons ..... 50

*Bestuzheva A. N., Goncharenko V. A.*  
Mathematical Modeling of the Spread of Pollutants in a Closed Water Area ..... 57

In Memory of Colleague ..... 61

# Использование платформы Robin RPA в процессе цифровой трансформации транспортных компаний

д.т.н. С. Г. Ермаков, к.т.н. Д. И. Баталов  
Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
ermakov@pgups.ru, d.i.batalov@yandex.ru

И. С. Мельников  
Директор по развитию продуктов  
ООО «Робин»  
Москва, Россия  
IMelnikov@rpa-robin.ru

**Аннотация.** Дается обзор использования отечественной платформы Robin RPA в процессе цифровой трансформации российских государственных транспортных компаний. Автоматизация выполнения рутинных операций является средством цифровизации многих бизнес-процессов в компаниях. Рассматриваются примеры использования платформы Robin RPA для разработки и внедрения программных роботов на транспорте.

**Ключевые слова:** RPA, программные роботы, роботизированная автоматизация процессов, цифровая трансформация, отечественное программное обеспечение, платформа Robin RPA.

## ВВЕДЕНИЕ

Российская транспортная отрасль демонстрирует высокие темпы цифровой трансформации. Запущены реальные проекты по беспилотному транспорту. Происходит бурный рост использования голосовых помощников и интеллектуальных чат-ботов. Осуществляется переход от простых моделей искусственного интеллекта (ИИ) к более сложным, комплексным решениям и сетям интеллектуальных объектов.

В отрасли «Транспорт и логистика» 55 % компаний либо воплощают пилотные проекты, либо уже широко реализуют стратегию цифровой трансформации. Наиболее высокие темпы и потенциал цифровизации демонстрируют компании сектора «Железнодорожные перевозки» и «Почта и курьерская доставка», наименьшие — компании водных грузоперевозок и пассажирских авиаперевозок [1].

ОАО «РЖД», являясь крупнейшей государственной компанией, во многих отношениях стала лидером цифровой трансформации. Стратегия цифровой трансформации РЖД была разработана в 2019 году. Спектр цифровых технологий, которые уже внедрены или рассматриваются к возможному внедрению подробно расписан и очень широк:

- аналитика на базе машинного обучения;
- «интернет вещей»;
- распределенные реестры;
- управление пользовательским опытом;
- виртуальная и дополненная реальность;
- автоматическая идентификация и отслеживание объектов;
- новые интерфейсы взаимодействия с пользователем;
- речевые сервисы;
- цифровые двойники и моделирование;
- электронные площадки;

- автоматизация рутинных операций (Robotic Process Automation, RPA);
- носимые устройства;
- «большие данные»;
- цифровое моделирование (Building Information Model, BIM);
- автономная техника;
- предсказательная диагностика;
- процессное управление организацией (Business Process Management, BPM) [2].

Важное место в программе цифровой трансформации АО «Почта России» занимает автоматизация и роботизация бизнес-процессов. Предусмотрено создание собственных центров технологических компетенций в области роботизации бизнес-процессов. Роботизация процессов по RPA-принципу рассматривается как средство повышения операционной эффективности и производительности [3].

Стратегия цифровой трансформации ПАО «Аэрофлот» до 2024 г. и на долгосрочный период до 2030 г. предусматривает внедрение отечественного программного обеспечения (ПО) управления производственными процессами и взаимодействия с клиентами [4].

В литературе приводится несколько определений для термина RPA. Считается, что впервые он был использован в 2012 году в маркетинговой компании британской многонациональной корпорации Blue Prism, специализирующейся на разработке программного обеспечения [5].

В то же время Европейское патентное ведомство признает авторами RPA двух французских изобретателей (Cyrille Bataller, Adrien Jacquot) [6]. Они определили RPA как «технология, которая позволяет автоматизировать выполнение повторяющихся и трудоемких действий вручную».

Сегодня Gartner, американская исследовательская и консалтинговая компания, специализирующаяся на рынках информационных технологий, предлагает другое определение: «Роботизированная автоматизация процессов (RPA) — это инструмент повышения производительности, который позволяет пользователю настраивать один или несколько скриптов (которые отдельные разработчики называют «роботами») для автоматической активации определенных нажатий клавиш. Результатом является то, что роботы могут использоваться для имитации выбранных задач (шагов транзакции) в рамках общего бизнес-процесса или ИТ-процесса. Они могут включать в себя манипулирование

данными, передачу данных в различные приложения и из них, запуск ответов или выполнение транзакций. RPA использует комбинацию взаимодействия с пользовательским интерфейсом и технологий дескрипторов. Сценарии могут накладываться на одно или несколько программных приложений» [7].

Уже первые исследования анализа эффективности использования новой технологии автоматизации показали, что внедрение RPA снижает затраты на FTE (англ. *Full-Time Equivalent* — Эквивалент полной занятости) на 50 процентов, в то время как количество звонков клиентов из-за сбоя в работе бэк-офиса также сокращается на 50 процентов.

Кроме того, с точки зрения затрат RPA дешевле, чем внедрение BPMS (англ. *Business Process Management System* — Программное обеспечение для управления бизнес-процессами), так как RPA требует меньших затрат ресурсов и времени [8].

В России отправной точкой по распространению технологий RPA стал 2017 год. Участники рынка постепенно начали узнавать о возможностях RPA-систем. Такому росту способствовало то, что иностранные компании-поставщики RPA-решений оптимизировали ценовую политику, конкурируя с появившимися на рынке отечественными RPA-платформами. В результате срок окупаемости внедрения сократился до одного года.

В 2018 году некоторые крупные компании перешли от пилотных внедрений к полномасштабным проектам, призванным перевести рутинные операции в ведение программных роботов. Также над внедрением начали задумываться крупный бизнес, финансовый сектор и госструктуры [9].

Дальнейший активный спрос на технологию RPA во многом был обусловлен короткими сроками внедрения, очень быстрой окупаемостью и возвратом инвестиций в проект. Рынок, уставший от больших, сложных и ресурсоемких ИТ-проектов положительно воспринял технологию, где средний срок создания робота на один процесс составляет максимум 1,5 месяца, а за счет высвобождения ресурсов проект окупается в среднем за 5-8 месяцев [10].

Инфекция COVID-19 привела к кардинальному переосмотру принципов организации труда. Трудности этого периода заставили компании оперативно сместить приоритеты в сторону автоматизации. Многие отрасли, а также государственный сектор, обратились к роботизации бизнес-процессов, чтобы стать более гибкими и эффективными перед лицом быстро меняющейся среды в разгар пандемии. В результате на рынке не только возрос спрос на решения RPA, но и появились новые сценарии применения данной технологии [11].

В 2022 году в условиях беспрецедентного санкционного давления Запада на экономику России стало необходимым сконцентрироваться в поисках и реализации эффективных методов и способов развития отечественных RPA-технологий [12].

В «Методических рекомендациях по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием», утвержденных Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации 31 августа 2022 года, для мониторинга реализации стратегии цифровой транс-

формации среди ключевых показателей эффективности (КПЭ) указана «доля цифровизированных бизнес-процессов в поддерживающих функциях» с соответствующей формулой расчета [13]:

$$\text{КПЭ} = \frac{S1}{S2} \times 100\%,$$

где S1 — число цифровизированных бизнес-процессов в поддерживающих функциях;  
S2 — общее число бизнес-процессов в поддерживающих функциях.

**Поддерживающие функции:** управление персоналом, управление финансами и бухгалтерский учет, управление закупками (не включая управление цепочками поставок), юридическая служба и административно-хозяйственное обеспечение.

**Критерий цифровизации бизнес-процесса** — применение хотя бы одного из цифровых решений из списка: 1) роботизация бизнес-процесса (решения RPA); 2) применение решения на основе искусственного интеллекта (например, для поддержки принятия решений или автоматического принятия решений, роботы для проведения интервью при найме персонала, распознавание документов).

**Типовой перечень бизнес-процессов** в «Методических рекомендациях» разбит на шесть групп:

1. Финансы и бухгалтерский учет.
2. Управление персоналом.
3. Управление закупками.
4. Юридическая служба.
5. Управление офисами.
6. Поддержка внутренних и внешних пользователей.

В «Методических рекомендациях» даны целевые показатели эффективности и соответствующие им индикаторы эффективности перехода государственной компании на использование отечественного программного обеспечения на период 2022–2024 гг. Так, например, для раздела/класса 05.09 «Прикладное программное обеспечение/Средства управления диалоговыми роботами (чат-боты и голосовые роботы)» классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных предписано использование только отечественного ПО.

В настоящее время в России используются более 18 RPA-платформ и только 7 из них иностранные. Кроме этого, свои собственные платформы разрабатывают крупные российские корпорации (Сбер, Росатом). Составляются их ежегодные рейтинги [14].

Но понятие RPA до сих пор еще не появилось в Едином реестре российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Поэтому отечественные RPA-платформы, вынужденно располагаются в самых различных классах реестра (рис. 1) [15].

С инициативой о создании в реестре класса «Системы RPA» в Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации уже обратилась Российская Ассоциация электронных коммуникаций (РАЭК). Этот процесс инициирован в рамках кластера РАЭК/RPA, который занимается развитием российского рынка RPA путем объединения усилий производителей программного обеспечения, системных интеграторов, отраслевых экспертов, аналитических и консалтинговых агентств.

Наименование программного обеспечения	Код класса	Класс программного обеспечения
ROBIN Orchestrator	02.08 05.02	Средства мониторинга и управления Дополнительные программные модули (плагины)
ROBIN Robot	02.08 05.02	Средства мониторинга и управления Дополнительные программные модули (плагины)
ROBIN Studio	04.04	Среды разработки, тестирования и отладки
Sherpa RPA	09.01	Средства управления бизнес-процессами (BPM)
PIX Robot + PIX Studio	07.01	Парсеры и семантические анализаторы
	07.03	Средства распознавания символов
PIX Robot + PIX Studio	04.11	Системы управления процессами организации
Primo RPA (Примо RPA)	04.08	Интегрированные платформы для создания приложений

Рис. 1. Пример записей в реестре ПО по ключу «RPA»

Цели кластера: решение актуальных проблем, популяризация направления RPA; создание исследований и проведение обучающих инициатив; развитие и согласование стандартов индустрии на законодательном уровне [16].

### Программные роботы особенно эффективны

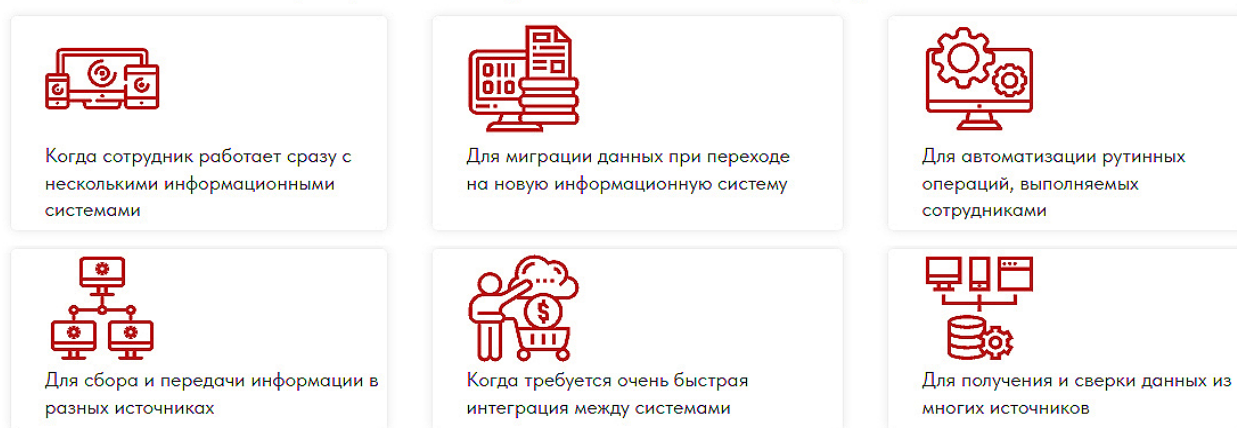


Рис. 2. Случаи высокой эффективности RPA

В РЖД работает около 500 информационных систем и 240 тыс. пользователей. Технической поддержкой занимаются 4,5 тыс. ИТ-специалистов ГВЦ, расположенных в 16 ИВЦ от Хабаровска до Калининграда. Анализ обращений пользователей за последние несколько лет показал, что более 70 % запросов — повторяющиеся и однотипные. Также сотрудникам информационно-вычислительных центров приходится вводить в электронные документы огромные объемы информации как о работе РЖД, так и о пользователях [18].

В 2016 году служба корпоративной информатизации Горьковской железной дороги начала проработку возможности применения технологии программных роботов на полигоне дороги. В 2018 году группа компаний «Аплана», один из партнеров компании «Робин» — вендора платформы ROBIN RPA, предоставила дороге для тестирования платформу ROBIN. Это позволило начать полноценное самостоятельное производство программных роботов по нескольким направлениям. В первую очередь были определены процессы, где более всего необходима автоматизация. Для Центра управления содержанием инфраструктуры было создано три робота, которые доказали свою эффективность и ежедневную экономию рабочего времени сотрудников. Также был создан робот для дирекции

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ROBIN RPA В ОАО «РЖД»

ОАО «Российские железные дороги» входит в тройку лидеров среди компаний, обеспечивающих железнодорожные перевозки. У холдинга есть большое количество процессов, выполнение которых можно оптимизировать при помощи RPA: сократить время формирования и заполнения внутренних документов, оптимизировать документооборот с контрагентами и запросы пользователей инфраструктуры РЖД, снизить долю рутинных и однотипных операций, обрабатываемых человеком.

Накопленный специалистами опыт внедрения RPA-технологий, показал, что использование программных роботов особенно эффективно в случаях, указанных на рисунке 2 [17].

управления движением, ежедневно формирующий справку о количестве отправленных вагонов.

Для полноценного массового использования программных роботов специалистами Главного вычислительного центра ОАО «РЖД» и «РЖД-Технологий» был разработан комплект документов по информационной безопасности и подготовлен временный регламент разработки и использования роботов [19].

Решение о более широком внедрении программных роботов было принято по итогам пилотного проекта, проведенного в 2019 году в информационно-вычислительных центрах Москвы, Самары, Санкт-Петербурга и Челябинска. Роботизации подверглись две операции. Первая — ввод нормативно-справочной информации, предполагающий корректировку тарифной таблицы стоимостей АСУ «Экспресс» в пригородном сообщении. Вторая — администрирование пользователей интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом.

Конкурс на поставку отечественной RPA-платформы выиграла группа компаний «Аплана», предложившая платформу ROBIN RPA. Платформа позволяет создавать роботизированные сценарии любой сложности без программирования, в том числе и покрывающие специфичные задачи, решаемые информационными системами РЖД. Обычно



RPA-платформы ограничивают пользователей по сроку действия и количеству установок, однако ОАО «РЖД» приобрело право пользования платформой ROBIN без ограничений.

В общей сложности по итогам только первого квартала 2020 года было внедрено 128 роботов, выполняющих рутинные операции. Время выполнения ряда из них сократилось более чем на 70 %. Например, робот, разработанный для ввода информации в тарифную таблицу стоимости АСУ «Экспресс» в пригородном сообщении, справляется с операцией в течение 75 минут, в то время как у человека на эти действия уходило в среднем 268 минут. Среднее время, уходящее на создание новой учетной записи пользователя, заполнение личной карточки, редактирование существующей учетной записи и несколько других функций, сократилось с 15 до 4 минут. Время обработки входящей заявки в службе поддержки с переключением на профильного специалиста сократилось с 5 минут до 5 секунд [20].

В работе программных роботов, как правило, используются два типа сценариев. Пользовательский — робот работает вместе с человеком, по его заданию, физически располагаясь на компьютере пользователя. Автономный сценарий — робот действует самостоятельно, круглосуточно выполняя рутинные операции.

Но любые обновления АСУ, проходящие почти ежедневно, могут привести к тому, что робот перестанет

распознавать систему. Ему также потребуется обновление для продолжения работы.

В ГВЦ была создана система по управлению работой растущего парка роботов и программ искусственного интеллекта. Ее задача — тестировать роботов на работоспособность, определять требуемые исправления и информировать об этом программистов, а также контролировать, чтобы все роботы прошли сертификацию в ГВЦ.

Для управления группами роботов в платформе ROBIN используется компонент ROBIN Orchestrator (RO). Дополнительно к нему был создан специальный модуль диспетчеризации, в котором собирается вся информация о работе роботов и об АСУ, с которыми они взаимодействуют. Если где-то случились ошибки, администратор модуля видит их и выбирает средства решения. Если робот выполнил задачи и простаивает, RO подскажет, как его задействовать для выполнения других задач.

RO позволяет при обновлении одной АСУ провести тестирование всех работающих с ним роботов на тестовом стенде. Если какие-то роботы не смогли выполнить свои задачи с обновленной системой, модуль сообщит о возникших проблемах и позволит сотрудникам увидеть, какие сценарии требуют изменений перед эксплуатацией на новых версиях АСУ (рис. 3).

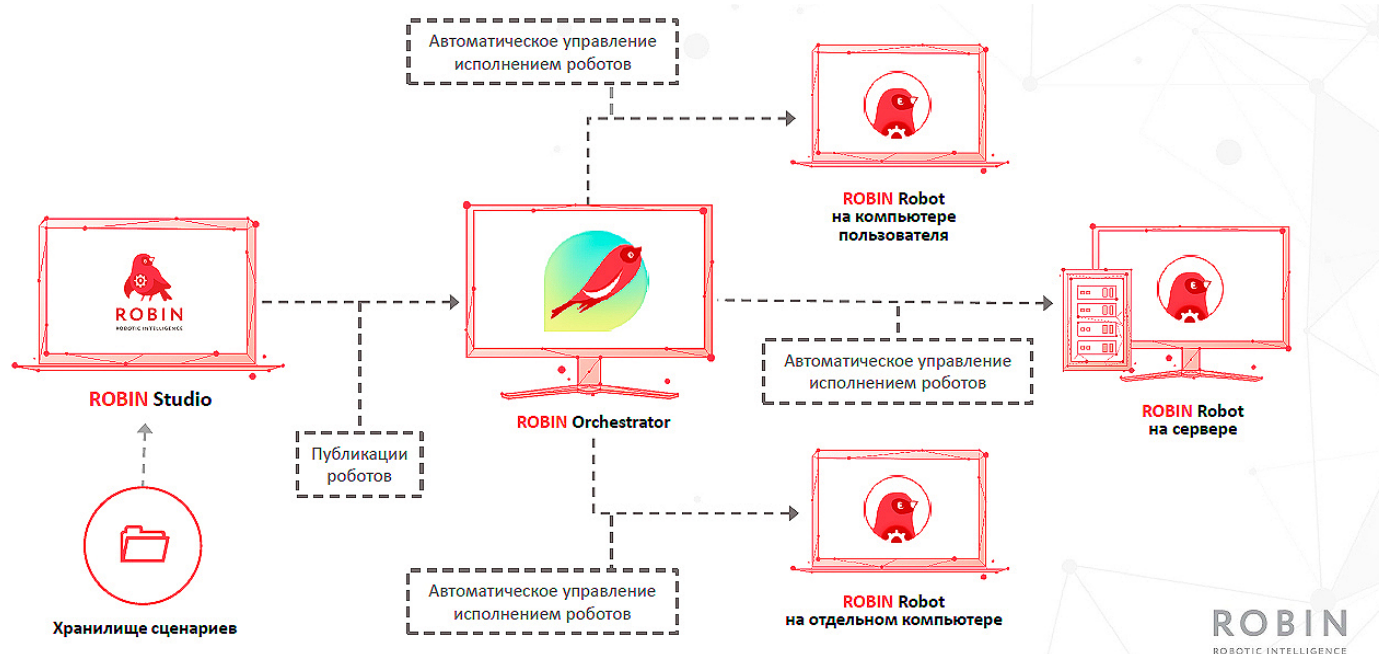


Рис. 3. Архитектура ROBIN RPA

Этапы внедрения роботов в РЖД включают в себя также процедуры верификации сценария, проверку созданного робота на наличие вредоносных инъекций и закладок в программный код. Концепция платформы ROBIN «безопасный low-code» помогает наиболее эффективно выстроить этот процесс. Программный код в ROBIN не является неотъемлемой частью сценария робота и имеет свой жизненный цикл, что позволяет проверять только изменившиеся части сценария. Также исполняемые пакеты подписываются, что защищает их от возможной подмены [21].

Применение RPA в работе с внутренними информационными ресурсами обеспечивает непрерывность производства. К примеру, стандартный процесс предоставления или продления доступа сотрудника к внутреннему ресурсу компании требует активного участия по меньшей мере двух сотрудников и определенных временных затрат (отправка заявки, проверка данных, работа администратора на платформе, уведомление о выполнении работы), однако робот способен выполнить весь цикл предоставления описанной услуги без привлечения сотрудников и в более короткие сроки.

Возможности платформы ROBIN позволяют анализировать обращения сотрудников, имеющиеся в системе данные, изменять их при необходимости. Кроме того, модуль работы с почтой полностью автоматизирует отправку уведомлений (с возможностью предварительной подготовки текста письма, включающего данные, изменяемые в зависимости от сценария), прием вопросов. Благодаря успешно внедренным в ежедневную рутину роботам оптимизирована работа системных администраторов, а сотрудники, работающие на производствах, могут не беспокоиться по поводу актуальности доступа к необходимым им системам.

Технология RPA помогает компании вывести сотрудничество с внешними клиентами (пассажирами, корпоративными заказчиками) на качественно новый уровень.

Так, на данный момент в Московском информационно-вычислительном центре действует робот, который в круглосуточном режиме тестирует ряд сайтов ОАО «РЖД», находящихся в открытом доступе. Как результат, информация о сбоях в работе моментально поступает ответственным сотрудникам, которые оперативно устраняют неполадки. Такое использование RPA не только оптимизирует и улучшает процесс тестирования сайта, но и повышает привлекательность компании для потенциальных клиентов: регулярная проверка и постоянное совершенствование качества предоставляемых информационных услуг делают ресурсы компании интересными для потенциальных клиентов, формируют позитивный опыт использования, повышают востребованность услуг.

Важно отметить, как процесс создания роботов регламентирован в ОАО «РЖД». Каждый сотрудник может подать заявку на создание «цифрового помощника», для чего необходимо заполнить документы установленного

образца, направить обращение. Специалисты определяют, станет ли разработка проекта экономической выгодной: для этого заявляющий сотрудник должен указать, сколько времени у него уходит на процесс, а разработчик — оценить планируемое время реализации робота.

Экономическая эффективность внедрения конкретного проекта RPA рассчитывается с использованием ряда показателей: стоимость лицензии, затраты на выполнение роботизируемого процесса вручную, заработная плата разработчика и др. Для расчета экономического эффекта специалисты ОАО «РЖД» подготовили методические указания и специальные формулы, на основе которых делается вывод о целесообразности начала разработки робота. Таким образом, процесс использования RPA не только становится этапом цифровой трансформации, но и способствует экономическому развитию холдинга [18].

По итогам 2020 года в ОАО «РЖД» были подведены промежуточные итоги проекта роботизации [22]:

- 200 специалистов ОАО «РЖД» сфокусировались на работе с искусственным интеллектом и выполнении интеллектуальных задач благодаря реализации проекта роботизации в 2020 году;
- более 1 100 программных роботов внедрено;
- более 1 000 рутинных операций роботизировано;
- в 3-5 раз увеличилась скорость выполнения рутинных операций с повышением качества и исключением ошибок;
- порядка 600 000 запросов пользователей ИС ОАО «РЖД» обработали роботы;
- время обработки входящей заявки пользователя ИС в службе поддержки сократилось с 15 до 4 минут.

Пример экрана ROBIN Studio — приложения, в котором выполняется разработка роботов, приведен на рисунке 4.

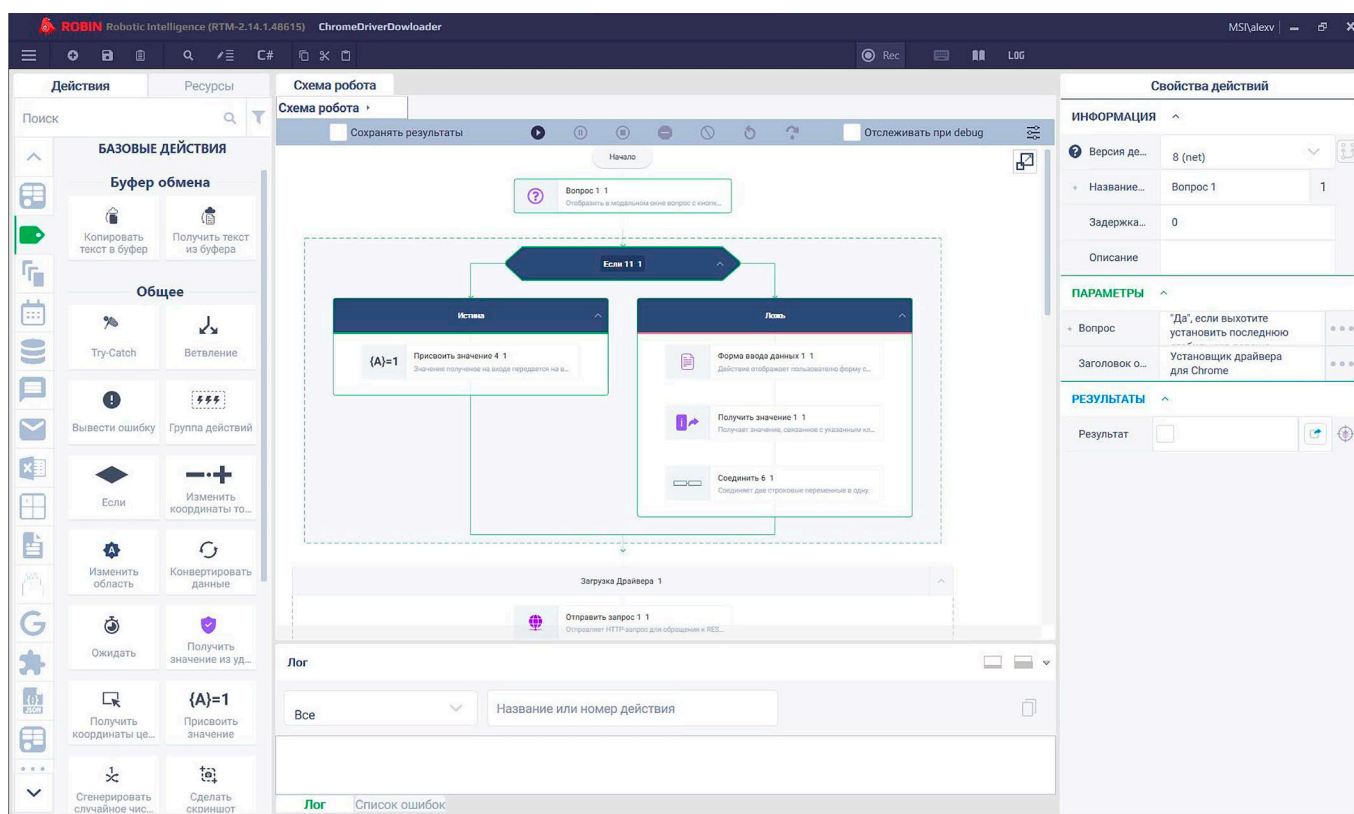


Рис. 4. Интерфейс ROBIN Studio

Наиболее наглядный эффект продемонстрировали следующие роботы:

1. Робот АСУ ВОП-3 «Администрирование внутренних пользователей: создание, продление и блокировка учетных записей». Эффект:

– 23 899 обращений выполнено роботом (88 % всего количества обращений);

– время выполнения обращений сокращено с 48 до 8 часов;

– 4 сотрудника привлечены к участию в новых проектах.

2. Робот «Заполнение данных в схеме железных дорог и междорожных стыковых пунктов приема грузеных вагонов данными из ИС СИС. Эффект:

– заполнение данных полностью без участия человека, время заполнения сокращено с 3 часов до 7 минут;

– на 100 % исключено количество ошибочных данных;

– на 90 % повышена частота обновления данных.

Таким образом, сотрудничество холдинга и компании «Робин» — вендора платформы ROBIN RPA — позволяет двигаться к достижению цели — повышению операционной эффективности ОАО «РЖД» за счет увеличения скорости работы и снижения затрат бэк-офиса в связи с роботизацией рутинных операций. При этом решаются поставленные задачи: сокращение времени формирования и заполнения внутренних документов, оптимизация документооборота с контрагентами и запросами пользователей инфраструктуры ОАО «РЖД», создание собственной «фабрики роботов» и разработка системы оценки экономической эффективности роботизации, снижение доли рутинных и однотипных операций, обрабатываемых человеком за счет внедрения искусственного интеллекта в операционные процессы компании.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ROBIN RPA В АО «ПОЧТА РОССИИ»

«Почта России» начала использовать более 200 программных роботов для сверки отправок в 2017 году [23]. Затем в 2018 году с использованием платформы ROBIN был автоматизирован процесс сверки данных, когда программный робот «Автосверка» на ежедневной основе стал проводить сверку данных в целевой системе 1С центрального аппарата с базами данных 1С региональных отделений.

До роботизации бизнес-процесс имел следующие характеристики:

1. Более 8 500 сотрудников в регионах занимались проведением ручной сверки данных.

2. Количество ошибок после ручных сверок доходило до 52 %.

3. Отсутствие контроля. Поскольку сверки проводятся в «ручном» режиме, невозможно было собрать данные для сравнения и построения сводных отчетов.

4. Непрозрачная деятельность сотрудников. Невозможность назначить какие-либо КПЭ.

5. Сговоры и воровство на местах. По данным внутреннего расследования объем хищений достигал 6 млрд рублей в год.

Ежедневно робот «Автосверка» получает данные по суммам всех операций в отделениях почтовой связи из внутренней 1С и финансовые данные из десяти внешних систем-источников по разным каналам (веб-формы, электронная почта, FTP, базы данных, API).

Данные приводятся к единому виду и проходят автоматическую сверку. По результатам сверки формируются отчеты о расхождении денежных сумм, которые выгружаются в систему BPMS для последующей обработки согласно настроенному процессу.

В результате выполнения проекта эффект от роботизации процесса составил 1,314 млрд руб. в год за счет:

1. Сокращения штата для ручной сверки данных. Теперь этим занимаются менее 2 000 сотрудников и работают с уже найденными расхождениями.

2. Переориентирования части сотрудников на интеллектуальную деятельность.

3. Появления возможности собирать и анализировать данные по расхождениям и, как следствие, контролировать их.

В настоящее время несколько десятков роботов параллельно работают по различным алгоритмам во всех регионах России с учетом часовых поясов.

Ежедневно к началу рабочего дня проводится более 1 000 000 сверок.

По результатам работы программных роботов проводится оптимизация бизнес-процессов «Почты России».

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ROBIN RPA В ПАО «АЭРОФЛОТ»

У компании «Аэрофлот — Российские авиалинии» уже был опыт роботизации бизнес-процессов. В качестве тестового инструмента была выбрана западная платформа, которая в какой-то момент перестала устраивать пользователей. На замену искали продукт с простым графическим интерфейсом и высоким уровнем функциональных и архитектурных требований. Платформа должна была устраивать и бизнес-пользователей, и ИТ-специалистов, и службу информационной безопасности «Аэрофлота» [24].

Главными критериями при выборе RPA-платформы были надежность, простота освоения, потенциал с точки зрения масштабирования и полное соответствие стратегии цифровой трансформации компании и требованиям импортозамещения.

Платформа ROBIN была выбрана, так как это отечественный качественный и надежный инструмент для роботизации рутинных процессов, которые отнимали много времени у сотрудников. Это решение совмещает в себе подходы No-code и Low-code. No-code-режим позволяет быстрее создавать роботов без использования программирования и не дает возможность включить в сценарий робота зловредный и неоптимальный код. Low-Code-режим предоставляет возможности расширения возможностей платформы и подключения сторонних библиотек для продвинутых пользователей. Гибкая ролевая модель, функциональность и стабильность дают возможность масштабирования опробованных пилотных проектов.

В данный момент в «Аэрофлоте» с помощью программных роботов ROBIN уже роботизирован процесс формирования интеграционной отчетности. Роботизация позволяет сотрудникам выполнять дополнительные задачи и не расширять штат.

В компании стояла задача консолидации данных без применения сложных интеграций. Для создания удаленного свода данных нужно было выполнять извлечение данных по полетам из системы «Synchro» с помощью робота.

На выходе выполняется формирование Excel-файла со структурированными данными по рейсам.

В результате реализации проекта пользователи были избавлены от ручной работы по скачиванию и сведению разрозненных данных из различных систем.

Переход крупнейшей авиакомпании страны с западного ПО на российскую платформу ROBIN показывает уверенность крупных компаний в том, что отечественные решения готовы полностью заместить ранее используемое иностранное программное обеспечение.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последние достижения в области машинного интеллекта меняют мир бизнес-процессов. За последнее десятилетие наблюдается устойчивый прогресс в направлении автоматизации бизнес-процессов с использованием RPA.

В настоящее время происходит переломный момент в эволюции этой технологии, поскольку появляется новая парадигма под названием IPA (англ. *Intelligent Process Automation* — Интеллектуальная автоматизация процессов), использующая технологии машинного обучения и искусственного интеллекта для улучшения бизнес-процессов [25].

Российские государственные транспортные компании, проводящие цифровую трансформацию своих бизнес-процессов, в том числе с применением RPA-технологий, формируют для себя возможность перехода на новый уровень использования технологий интеллектуальной автоматизации процессов с привлечением отечественного программного обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая трансформация в России: итоги 2020 года и перспективы развития // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. — 2020. — 16 декабря. URL: <http://ac.gov.ru/news/page/cifrova-a-transforma-ciav-rossii-itogi-2020-goda-i-perspektivy-razvitiya-26801> (дата обращения 11.03.2023).

2. Суконников, Г. В. О цифровой трансформации ОАО «РЖД» // Экономика железных дорог. 2022. № 8. С. 30–38.

3. Миссия и стратегия развития // Почта России. URL: <http://www.pochta.ru/company/mission-and-strategy> (дата обращения 11.03.2023).

4. Стратегия // Аэрофлот. URL: <http://ir.aeroflot.ru/ru/company-overview/strategy> (дата обращения 11.03.2023).

5. Osman, C.-C. Robotic Process Automation: Lessons Learned from Case Studies // Informatica Economică. 2019. Vol. 23, No. 4. Pp. 66–75. DOI: 10.12948/issn14531305/23.4.2019.06.

6. Patent No. US 9555544 B2 from 31 January 2017. Robotic Process Automation: Appl. No. 15/064963: filed 08 April 2016: publ. 05 January 2017 / Bataller C., Jacquot A., Torres S. R.; Applicant Accenture Global Solution Ltd (Dublin, IE). — 15 p.

7. Robotic Process Automation (RPA) — IT Glossary // Gartner. URL: <http://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/robotic-process-automation-rpa> (дата обращения 11.03.2023).

8. Willcocks, L. P. The IT Function and Robotic Process Automation / L. P. Willcocks, M. Lacity, A. Craig // The Outsourcing Unit Working Research Paper Series. 2015. No. 15/05. 39 p. URL: <http://eprints.lse.ac.uk/64519> (дата обращения 11.03.2023).

9. Почему RPA становится технологией года? // TAdviser — Государство. Бизнес. Технологии. — 2016. — 10 июня. URL: <http://www.tadviser.ru/a/460508> (дата обращения 11.03.2023).

10. Вотяков, С. «RPA Connect: Перегрузка» — Все идет по плану! / С. Вотяков, Д. Баталов // Сетевое издание «Промышленность-Сегодня.РФ». — 2022. — 10 августа. URL: <http://промышленность-сегодня.рф/articles/rpa-connect-perezagruzka-vse-idet-po-planu> (дата обращения 11.03.2023).

11. Анисимова, С. Антикризисная роботизация: RPA vs COVID-19 // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 66–69.

12. Можаяев, О. А. Роль стандарта ГОСТ РВ 0015-002-2020 в цифровой трансформации предприятий и организаций – исполнителей ГОЗ в условиях санкционного давления Запада на экономику России / О. А. Можаяев, В. А. Богомоллов, С. П. Еременко // Право, экономика и управление: теория и практика: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Чебоксары, Россия, 23 июня 2022 г.) / гл. ред. Э. В. Фомин. — Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2022. — С. 101–111. DOI: 10.31483/r-102842.

13. Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием. — Москва: Минцифры России, 2022. — 216 с. URL: [http://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913\\_TZmtVQB.pdf](http://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913_TZmtVQB.pdf) (дата обращения 11.03.2023).

14. RPA-платформы // Портал про RPA 2.0. URL: [http://rpa2.ru/rpa\\_platformy](http://rpa2.ru/rpa_platformy) (дата обращения 11.03.2023).

15. Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных // Реестр российского программного обеспечения — Минцифры России. URL: <http://reestr.digital.gov.ru/reestr> (дата обращения 11.03.2023).

16. Кластер «РАЭК / RPA» // Российская ассоциация электронных коммуникаций (РАЭК). URL: <http://raec.ru/clusters/rpa/> (дата обращения 11.03.2023).

17. ROBIN RPA — платформа для роботизации бизнеса // ROBIN. Robotic Intelligence. URL: <http://www.rpa-robin.ru/programmnye-roboty> (дата обращения 11.03.2023).

18. Каргина, Л. А. Роль технологий RPA в цифровой трансформации ОАО «РЖД» / Л. А. Каргина, Т. В. Ионова, С. Л. Лебедева // Экономика железных дорог. 2022. № 8. С. 62–69.

19. Камышев, Д. Роботы трудятся, дорога экономит // Волжская магистраль. — 2020. — № 1. — 10 января.

20. Желобанов, Д. Как РЖД роботизирует свои бизнес-процессы // РБК Тренды. — обновлено 07.05.2020. URL: <http://trends.rbc.ru/trends/industry/5eb2cfd49a79478bcb1f4c62> (дата обращения 11.03.2023).

21. Зубов, А. РЖД внедряют RPA // Гудок. — 2020. — № 26 (26875). — 14 февраля.

22. Роботизация бизнес-процессов для цифровой трансформации: Материалы онлайн-конференции Форума All-over-IP (17 августа 2021 г.). URL: <http://www.all-over-ip.ru/2021/gra> (дата обращения 11.03.2023).

23. «Почта России» подключила более 200 роботов к сверке отправок // Единый портал Электронной подписи. — 2017. — 02 марта. URL: <http://iecp.ru/news/>

item/408531-roboty-dlya-sverki-otpravlenij (дата обращения 11.03.2023).

24. Компания «Аэрофлот» перешла на отечественную RPA-платформу ROBIN // ROBIN. Robotic Intelligence. URL: <http://www.rpa-robin.ru/novosti/kompaniya-aeroflot-pereshla-na-otechestvennyu-platformu-robin> (дата обращения 11.03.2023).

25. From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation / T. Chakraborti, V. Isahagian, R. Khalaf, [et al.] //

Business Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum (BPM 2020): Proceedings of the International Conference on Business Process Management (Seville, Spain, 13–18 September 2020). — Cham: Springer Nature, 2020. — Pp. 215–228. — (Lecture Notes in Business Information Processing, Vol. 393).

DOI: 10.1007/978-3-030-58779-6\_15.

# Using the Robin RPA Platform in the Process of Digital Transformation of Transport Companies

Grand PhD S. G. Ermakov, PhD D. I. Batalov  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
ermakov@pgups.ru, d.i.batalov@yandex.ru

I. S. Melnikov  
Chief Technology Officer  
Robin LLC  
Moscow, Russia  
IMelnikov@rpa-robin.ru

**Abstract.** An overview of the use of the domestic Robin RPA platform in the process of digital transformation of Russian state transport companies is given. Automation of routine operations is a means of digitalization of many business processes in companies. Examples of using the Robin RPA platform for the development and implementation of software robots in transport are considered.

**Keywords:** RPA, software robots, robotic process automation, digital transformation, domestic software, Robin RPA platform.

## REFERENCES

1. Digital Transformation in Russia: 2020 Results and Development Prospects [Tsifroya transformatsiya v Rossii: itogi 2020 goda i perspektivy razvitiya], *Analytical Center under the Government of the Russian Federation [Analiticheskiy tsentr pri Pravitelstve Rossiyskoy Federatsii]*. Published online at December 16, 2020. Available at: <http://ac.gov.ru/news/page/cifrova-a-transforma-ciav-rossii-itogi-2020-goda-i-perspektivy-razvitiya-26801> (accessed 11 Mar 2023).
2. Sukonnikov G. V. About the Digital Transformation of JSC «Russian Railways» [O tsifrovoy transformatsii OAO «RZhD»], *Railway Economics [Ekonomika zheleznikh dorog]*, 2022, No. 8, Pp. 30–38.
3. Development Strategy [Missiya i strategiya razvitiya], *Russian Post PLC [Pochta Rossii]*. Available at: <http://www.pochta.ru/company/mission-and-strategy> (accessed 11 Mar 2023).
4. Strategy [Strategiya], *PJSC Aeroflot [Aeroflot]*. Available at: <http://ir.aeroflot.ru/ru/company-overview/strategy> (accessed 11 Mar 2023).
5. Osman C.-C. Robotic Process Automation: Lessons Learned from Case Studies, *Informatica Economică*, 2019, Vol. 23, No. 4, Pp. 66–75. DOI: 10.12948/issn14531305/23.4.2019.06.
6. Bataller C., Jacquot A., Torres S. R. Robotic Process Automation. Patent No. US 955544 B2 from January 31, 2017, 15 p.
7. Robotic Process Automation (RPA) — IT Glossary, *Gartner*. Available at: <http://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/robotic-process-automation-rpa> (accessed 11 Mar 2023).
8. Willcocks L. P., Lacity M., Craig A. The IT Function and Robotic Process Automation, *The Outsourcing Unit Working Research Paper Series*, 2015, No. 15/05, 39 p. URL: <http://eprints.lse.ac.uk/64519> (accessed 11 Mar 2023).
9. Why RPA Becomes Technology of Year? [Pochemu RPA stanovitsya tekhnologiyey goda?], *TAdviser — Government. Business. IT [TAdviser — Gosudarstvo. Biznes. Tekhnologii]*. Published online at June 10, 2016. Available at: <http://www.tadviser.ru/a/460508> (accessed 11 Mar 2023).
10. Votyakov S., Batalov D. «RPA Connect: Reboot» — Everything Is Going According to Plan! [«RPA Connect: Perezagruzka» — Vse idet po planu!], Network Publication «Industry-Today.RF» [Setevoe izdanie «Promyshlennost-Segodnya.RF»]. Published online at August 10, 2022. Available at: <http://промышленность-сегодня.рф/articles/rpa-connect-perezagruzka-vse-idet-po-planu> (accessed 11 Mar 2023).
11. Anisimova S. Anti-crisis robotics: RPA vs COVID-19 [Antikrizisnaya robotizatsiya: RPA vs COVID-19], *Instrumentation and Automation: Maintenance and Repair [KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont]*, 2021, No. 2, Pp. 66–69.
12. Mozhaev O. A., Bogomolov V. A., Eremenko S. P. The Role of the Standard GOST RV 0015-002-2020 in the Digital Transformation of Enterprises and Organizations of the State House in the Conditions of the Sanctions Pressure of the West to the Russian Economy [Rol standarta GOST RV 0015-002-2020 v tsifrovoy transformatsii predpriyatii i organizatsiy – ispolniteley GOZ v usloviyakh sanktsionnogo davleniya Zapada na ekonomiku Rossii]. In: *Fomin E. V. (ed.) Law, Economics and Management: Theory and Practice: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Pravo, ekonomika i upravlenie: teoriya i praktika: Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*, Cheboksary, Russia, June 23, 2022. Cheboksary, Sreda Publishing House, 2022, Pp. 101–111. DOI: 10.31483/r-102842.
13. Methodological Recommendations on the Digital Transformation of State Corporations and Companies with State Participation [Metodicheskie rekomendatsii po tsifrovoy transformatsii gosudarstvennykh korporatsiy i kompaniy s gosudarstvennym uchastiem]. Moscow, Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation, 2022, 216 p. Available at: [http://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913\\_TZmtVQB.pdf](http://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913_TZmtVQB.pdf) (accessed 11 Mar 2023).
14. RPA platforms [RPA-platfomy], *Portal about RPA 2.0 [Portal pro RPA 2.0]*. Available at: [http://rpa2.ru/rpa\\_platfomy](http://rpa2.ru/rpa_platfomy) (accessed 11 Mar 2023).

15. Unified Register of Russian programs for Electronic Computers and Databases [Edinyy reestr rossiyskikh programm dlya elektronnykh vychislitelnykh mashin i baz dannykh], *Register of Russian Software — Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation [Reestr rossiyskogo programmnoogo obespecheniya — Mintsifry Rossii]*. Available at: <http://reestr.digital.gov.ru/reestr> (accessed 11 Mar 2023).

16. RAEC / RPA Cluster [Klaster «RAEK / RPA»], *Russian Association of Electronic Communications (RAEC) [Rossiyskaya assotsiatsiya elektronnykh kommunikatsiy (RAEK)]*. Available at: <http://raec.ru/clusters/rpa/> (accessed 11 Mar 2023).

17. ROBIN RPA — A Platform for Business Robotics [ROBIN RPA — platforma dlya robotizatsii biznesa], *ROBIN. Robotic Intelligence*. Available at: <http://www.rpa-robin.ru/programmnye-roboty> (accessed 11 Mar 2023).

18. Kargina L. A., Ionova T. V., Lebedeva S. L. The Role of RPA Technologies in the Digital Transformation of Russian Railways [Rol tekhnologiy RPA v tsifrovoy transformatsii OAO «RZhD»], *Railway Economics [Ekonomika zheleznykh dorog]*, 2022, No. 8, Pp. 62–69.

19. Kamyshev D. Robots Work, the Road Saves [Roboty trudyatsya, doroga ekonomit], *Volzhskaya Magistral*, January 10, 2020, No. 1.

20. Zhelobanov D. How Russian Railways Robotizes Its Business Processes [Kak RZhD robotiziruet svoi biznes-protsessy], *RBC Trends [RBK Trendy]*. Last updated at May 07, 2020. Available at: <http://trends.rbc.ru/trends/industry/5eb2cfd49a79478bcb1f4c62> (accessed 11 Mar 2023).

21. Zubov A. Russian Railways implement RPA [], *Gudok*, February 14, 2020, No. 26 (26875).

22. Robotization of Business Processes for Digital Transformation: Proceedings of the Online Conference of the All-over-IP Forum [Robotizatsiya biznes-protsessov dlya tsifrovoy transformatsii: Materialy onlayn-konferentsii Foruma All-over-IP], August 17, 2021. Available at: <http://www.all-over-ip.ru/2021/rpa> (accessed 11 Mar 2023).

23. «Russian Post» Connected More Than 200 Robots to Reconcile Shipments [«Pochta Rossii» podklyuchila bolee 200 robotov k sverke otpravleniy], *Unified Electronic Signature Portal [Edinyy portal Elektronnoy podpisi]*. Available at: <http://iecp.ru/news/item/408531-roboty-dlya-sverki-otpravlenij> (accessed 11 Mar 2023).

24. Aeroflot Switched to Domestic RPA-platform ROBIN [Kompaniya «Aeroflot» pereshla na otechestvennyuyu RPA-platformu ROBIN], *ROBIN. Robotic Intelligence*. Available at: <http://www.rpa-robin.ru/novosti/kompaniya-aeroflot-pereshlana-otechestvennyuyu-platformy-robin> (accessed 11 Mar 2023).

25. Chakraborti T., Isahagian V., Khalaf R., et al. From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation, *Business Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum (BPM 2020): Proceedings of the International Conference on Business Process Management, Seville, Spain, September 13–18, 2020. Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol. 393. Cham, Springer Nature, 2020, Pp. 215–228. DOI: 10.1007/978-3-030-58779-6\_15.

# Система дистанционного контроля резервного электропитания объектов информационной инфраструктуры железных дорог

Я. А. Заручевский, к.воен.н. В. Г. Терехов  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
zaruchevskiy@stm32f0.ru, vter2@rambler.ru

к.т.н. В. А. Гончаренко  
Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I,  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
vlango@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены решения, применяемые в ходе проектирования системы дистанционного контроля электропитания. Описан алгоритм определения текущего состояния энергообеспеченности, общая структура системы, состав ее модулей. Целью функционирования предлагаемой системы является повышение эффективности контроля за состоянием бесперебойных источников питания, входящих в систему электропитания значимых объектов ИТ-инфраструктуры ОАО «Российские железные дороги». Система дистанционного контроля проста во внедрении, не требует глобальной модернизации имеющейся информационно-телекоммуникационной сети, способна отслеживать состояние любых источников бесперебойного питания.

**Ключевые слова:** мониторинг, дистанционный контроль, электропитание, ИБП, резервирование, микропроцессор, Python.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире построению ИТ-архитектуры уделяется особенное внимание. Практически у каждого предприятия, каждой организации имеются задачи, для решения которых требуются средства и сервисы информационной инфраструктуры — веб-сервис, в офисе установлены компьютеры и имеется корпоративная компьютерная сеть. И если раньше онлайн-сервисы были лишь дополнением к основной деятельности большинства компаний, то в наше время баланс смещается в другую сторону. Следовательно, от надежности сетевой инфраструктуры зависит достаточно большое количество аспектов деятельности предприятия или организации, особенно если направление их деятельности связано с обслуживанием людей и сохранением их жизни и здоровья. К таким организациям относятся ОАО «Российские железные дороги».

Стандартным методом повышения надежности объектов сетевой информационной инфраструктуры считается обеспечение их резервным питанием. Одним из вариантов реализации резервного питания критически важных объектов зачастую является использование источников бесперебойного питания (ИБП). ИБП, как правило, имеют на корпусе индикацию своего состояния, что позволяет ответственному лицу осуществлять мониторинг вручную, путем обхода всего оборудования, оснащенного ИБП. Однако для ручного контроля большого количества устройств, расположенных на значительном расстоянии в распределенной информационной инфраструктуре потребуется значитель-

ное количество времени, что может привести к потере работоспособности некоторых объектов ИТ-инфраструктуры, а значит, и к нарушению сервисов ОАО «РЖД». Выходом из подобной ситуации могут быть решения в области дистанционного контроля электропитания сетевой информационной структуры критически важных объектов железных дорог.

Для реализации дистанционного контроля за резервным питанием объектов информационной инфраструктуры предлагается использовать систему дистанционного контроля (СДК) основного и резервного электропитания. Целью функционирования СДК является повышение эффективности контроля работоспособности ИБП. Для достижения данной цели в статье представлено решение задачи разработки СДК основного и резервного электропитания, которая должна отвечать требованиям, установленным законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений и о техническом регулировании [1], иметь удобный интерфейс и быть совместимой с различными операционными системами.

В статье рассмотрены назначение, структура и основные функции СДК, описан алгоритм ее функционирования.

Аналогичные вопросы рассмотрены в статье [2], однако предложенное авторами решение построено на базе протоколов, не получивших широкого распространения в информационных системах, и не может быть универсальным.

## НАЗНАЧЕНИЕ, ЗАДАЧИ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Основным назначением разрабатываемой СДК является повышение эффективности сбора данных о состоянии напряжения основной и резервной линий электропитания в режиме реального времени, что в свою очередь открывает возможность для более оперативного устранения возможных неполадок.

Задачи, которые должна решать СДК:

- сокращение времени, затрачиваемого на анализ напряжения в различных сегментах сети электропитания;
- выдача четкого целеуказания на ремонт или замену конкретного ИБП;
- совместимость с любыми типами ИБП;
- выдача заметных сигналов тревоги.

В состав аппаратно-программного комплекса входят:

1. Модуль снятия показаний (МСП).

1.1. Подсистема резервного питания.



- 1.2. Подсистема обработки датчиков.
- 1.3. Подсистема связи с сервером [3].
- 2. Серверная часть.
  - 2.1. Сервер базы данных.
  - 2.2. Интерпретатор языка Python [4].

- 2.3. Веб-сервер Apache2.
  - 2.4. Веб-приложение с интерфейсом пользователя и администратора.
- Структурная схема СДК представлена на рисунке 1.

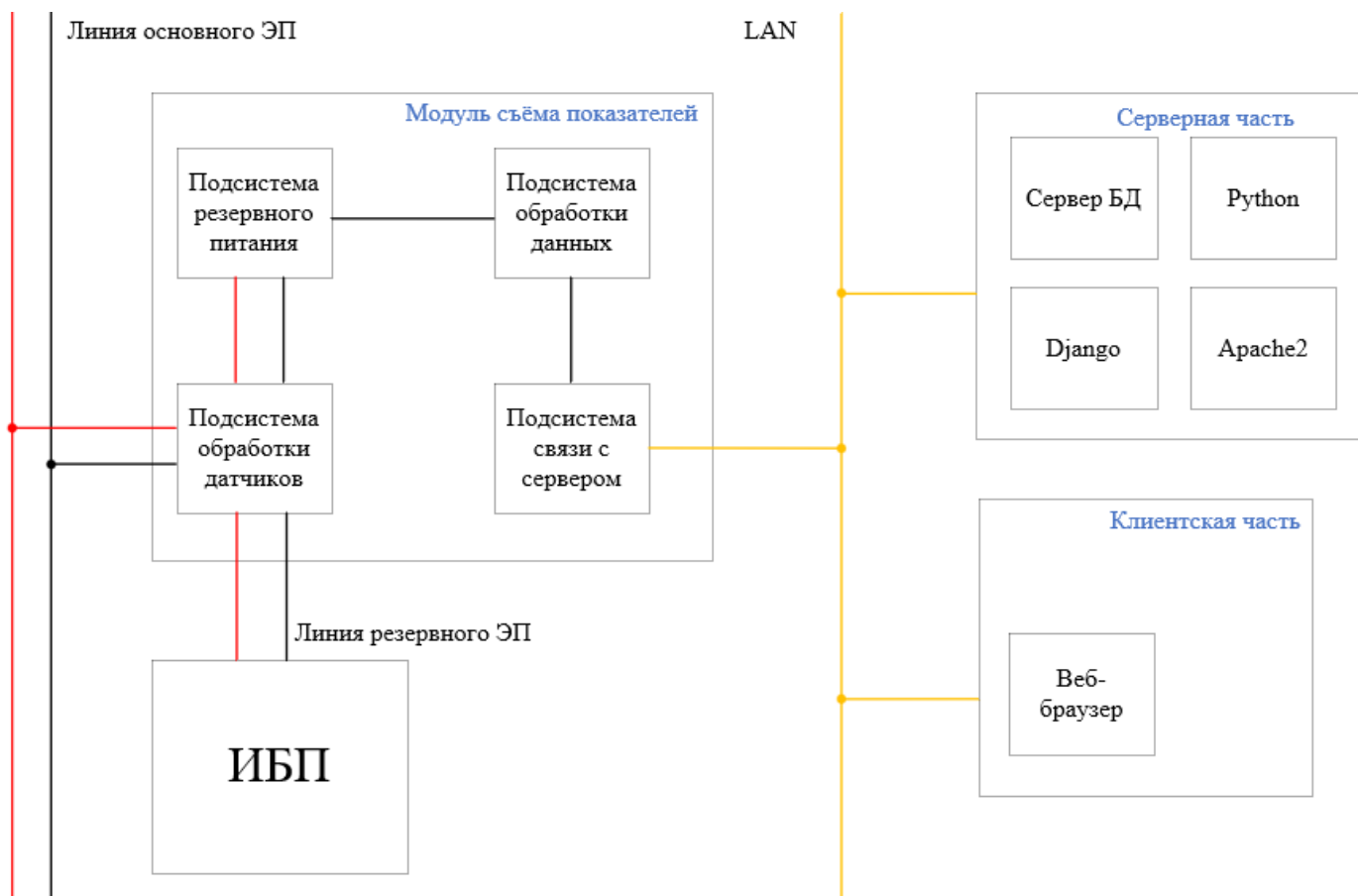


Рис. 1. Структурная схема СДК

Модуль снятия показаний построен на базе микроконтроллера RP2040 [5], на котором установлен интерпретатор MicroPython [6] — фреймворк, позволяющий производить разработку для микроконтроллеров на языке Python [4]. В качестве датчиков используются измерительные трансформаторы ZMPT101B. Связь с сервером осуществляется посредством проводной компьютерной сети при помощи интегрированного Ethernet-контроллера W5500.

Принципиальная схема МСП приведена на рисунке 2.

Вариаций аппаратного оснащения серверной части может быть множество, поэтому приведены лишь минимальные характеристики:

- частота CPU: от 1 ГГц;
- объем ОЗУ: от 512 Мб;
- объем НЖМД: 1 Гб;
- операционная система: Windows 7 и выше, Linux (ядро новее 5.10).

Выбранные программные компоненты позволяют запускать приложение практически на любой аппаратной конфигурации.

Клиентам СДК для работы требуется автоматизированное рабочее место на базе персонального компьютера или иное средство вычислительной техники с установленным

браузером, подключенным к информационной структуре ОАО «РЖД», ограничений по выбору браузера нет.

Модуль снятия показаний осуществляет выборку данных с датчиков с заданной частотой. Измерения производятся при помощи трансформаторов напряжения ZMPT101B, сигнал с которых приводится в наиболее удобную для аналогово-цифрового преобразования форму при помощи каскада из операционных усилителей (ОУ). Первый ОУ устанавливает границы выходного сигнала в  $\pm 1,65$  В, второй «поднимает» уровень так, что переменное напряжение становится постоянным со средним значением в 1,65 В. Принципиальная схема каскада показана на рисунке 3.

Проведя математические преобразования по формуле

$$V = \frac{3,3}{4\ 096} \times V_{\text{read}},$$

микроконтроллер отправляет вычисленные значения вместе с присвоенным модулю уникальным номером на сервер.

Со стороны сервера приемником данных является веб-приложение, написанное с применением фреймворка Django [7], имеющее REST-совместимый API [8]. Приложение разбирает полученный пакет и помещает полученные данные в базу данных.

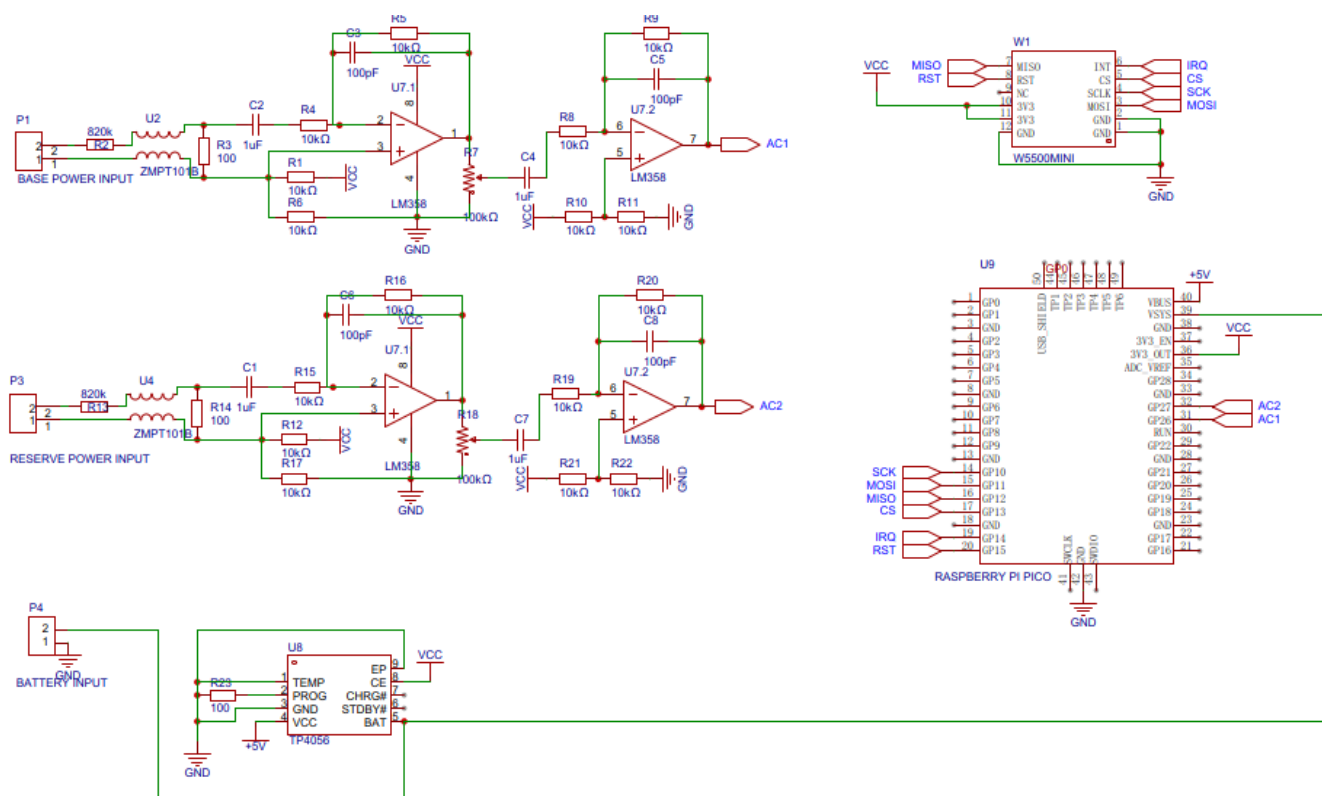


Рис. 2. Принципиальная схема МСП

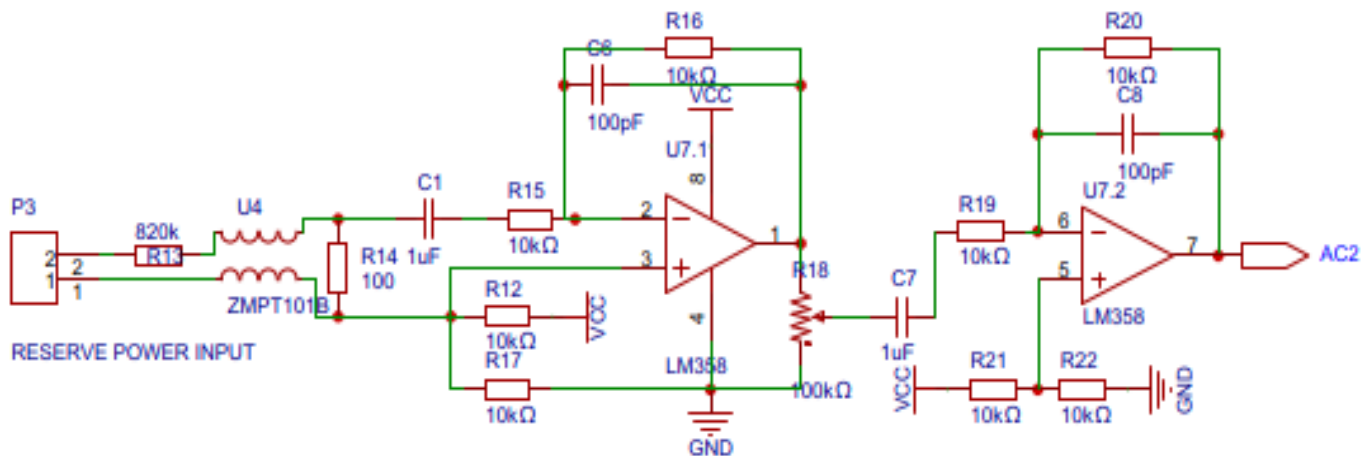


Рис. 3. Принципиальная схема каскада ОУ

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Формальный алгоритм обработки данных напряжения показан на рисунке 4.

Если имеется напряжение со стороны основной линии электропитания (ЭП), и оно находится в допустимых пределах [9], данные просто учитываются в графике напряжений за определенный период времени.

Если напряжение со стороны основной линии ЭП выходит за допустимые пределы, но напряжение со стороны резервной линии появилось в течение заданного интервала и находится в допустимых пределах, то интерфейс приложе-

ния отображает уведомление о неполадках на основной линии. Это уведомление вместе с отметкой времени помещается в Журнал нештатных событий.

Если же напряжение со стороны основной линии ЭП выходит за допустимые пределы [10], а напряжение со стороны резервной линии не появилось в течение заданного интервала или находится вне допустимых пределов, то интерфейс приложения отображает уведомление о критической потере ЭП. Это уведомление вместе с отметкой времени помещается в Журнал нештатных событий. Также при этом на соответствующий модуль снятия показаний отправляется команда перехода в спящий режим до появления одного из внешних напряжений.

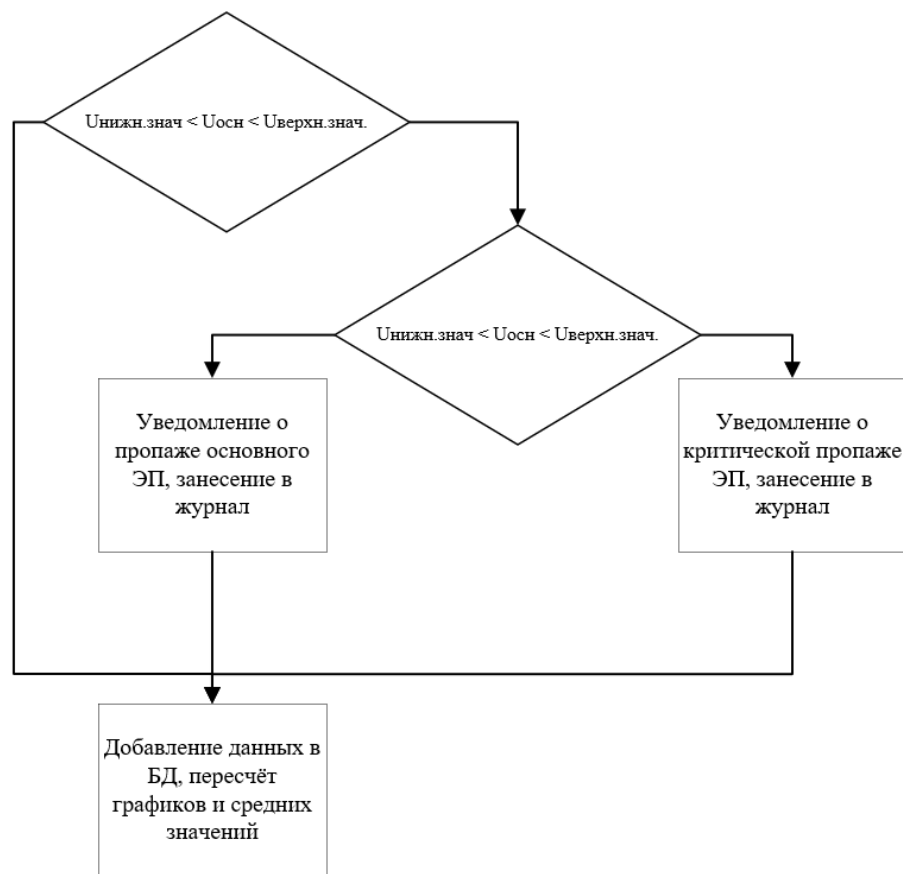


Рис. 4. Формальный алгоритм обработки данных

Во время переходных процессов, например переключения питания с основной линии на резервную, модуль питается при помощи встроенной подсистемы резервного питания, построенной на базе LiPO-аккумулятора, модуля подзарядки и преобразования напряжения.

Веб-приложение поддерживает несколько ролей пользователей. В роли «Администратор» пользователю доступно:

- добавление новых модулей снятия показаний;
- удаление ненужных модулей;
- редактирование описания модулей;
- установка порогов напряжений;
- создание новых пользователей с различными ролями;
- все действия, доступные обычному пользователю.

Обычному пользователю доступно:

- просмотр Журнала нештатных событий;
- просмотр текущего состояния каждого датчика;
- просмотр графиков напряжений и отказов ЭП за заданный период.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанная система дистанционного контроля за резервным питанием объектов сетевой информационной структуры реализует функции, позволяющие более оперативно реагировать на неисправности ИБП и принимать меры к их устранению. По графику напряжения с резервной линии питания возможно планировать мероприятия по корректному отключению или переводу на дру-

гие рабочие мощности на время, оставшееся до полного отключения, косвенно оценивать состояние аккумулятора в ИБП. Благодаря универсальности, СДК можно интегрировать практически в любые существующие сетевые информационные структуры подразделений ОАО «Российские железные дороги».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.000-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения = State system for ensuring the uniformity of measurements. Basic principles: национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2015 г. № 1207-ст: дата введения 2016-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 15 с.
2. Система дистанционного мониторинга состояний источников бесперебойного питания / Р. А. Бандурко, Н. Д. Наракидзе, И. А. Антоник, Л. Г. Тарасова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 7-1 (18-1). С. 126–129. DOI: 10.12737/14818.
3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание // В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — [6-е изд.]. — Санкт-Петербург: Питер, 2020. — 1008 с. — (Учебник для вузов).
4. Язык программирования Python: [Пер. с англ.] / Г. Россум, Ф. Л. Дрейк, Д. С. Откидач, [и др.]. — 2001. — 454 с. URL: [http://codernet.ru/books/python/yazyk\\_programirovaniya\\_python\\_g\\_rossum](http://codernet.ru/books/python/yazyk_programirovaniya_python_g_rossum) (дата обращения 25.03.2023).

5. RP2040 Datasheet. Build version ae3b121-clean, build date 02.03.2023 // Raspberry Pi Datasheets. — 639 p. URL: <http://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf> (дата обращения 25.03.2023).

6. Tollervey, N. H. Programming with MicroPython: Embedded Programming with Microcontrollers and Python. — Sebastopol (CA): O'Reilly Media, 2017. — 214 p.

7. Ravindran, A. Django Design Patterns and Best Practices: Industry-standard web development techniques and solutions using Python. Second Revised Edition. — Birmingham: Packt Publishing, 2018. — 282 p.

8. Vincent, W. S. Django 3.0 for APIs: Build web APIs with Python and Django. — Lean Publishing, 2018. — 190 p.

9. ГОСТ 29322-2014. Напряжения стандартные = Standard voltages: межгосударственный стандарт: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2014 г. № 70-П; с изм. № 1, протокол от 26 февраля 2021 г. № 137-П): введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2014 г. № 1745-ст: дата введения 2015-10-01 (изм. № 1 — дата введения 2021-06-01; поправка к изменению — дата введения 2022-04-20). — Москва: Стандартинформ, 2015. — 15 с.

10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения = Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems: межгосударственный стандарт: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 марта 2013 г. № 55-П): введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст: дата введения 2014-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 19 с.

# Remote Control System for Backup Power Supply of Railway Information Infrastructure Facilities

Ya. A. Zaruchevskiy, PhD V. G. Terekhov  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
zaruchevskiy@stm32f0.ru, vter2@rambler.ru

PhD V. A. Goncharenko  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University,  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
vlango@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the solutions used during the design of the remote control system of power supply. The algorithm for determining the current state of energy supply, the general structure of the system, and the composition of its modules are described. The purpose of the proposed system is to increase the efficiency of monitoring the state of uninterruptible power supplies included in the power supply system of significant IT infrastructure facilities of JSC Russian Railways. The remote control system is easy to implement, does not require global modernization of the existing information and telecommunications network, is able to monitor the status of any uninterruptible power supplies.

**Keywords:** monitoring, remote control, power supply, UPS, redundancy, microprocessor, Python.

## REFERENCES

1. GOST R 8.000-2015. State system for ensuring the uniformity of measurements. Basic principles [GOST R 8.000-2015. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Osnovnye polozeniya]. Effective from July 01, 2016. Moscow, StandartInform Publishing House, 2015, 15 p.
2. Bandurko R. A., Narakidze N. D., Antonik I. A., Tarasova L. G. System of Remote Monitoring of the State of Uninterruptible Power Supplies [Sistema distantsionnogo monitoringa sostoyaniy istochnikov bescpereboynogo pitaniya], *Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice [Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika]*, 2015, Vol. 3, No. 7-1 (18-1), Pp. 126–129. DOI: 10.12737/14818.
3. Olifer V. G., Olifer N. A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Anniversary edition [Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: Yubileynoe izdanie]. Saint Petersburg, Piter Publishing House, 2020, 1008 p.
4. Van Rossum G., Jr. Drake F. L., Otkidach D. S., et al. Python programming language. 2001, 454 p. Available at: [http://codernet.ru/books/python/yazyk\\_programmirovaniya\\_python\\_g\\_rossum](http://codernet.ru/books/python/yazyk_programmirovaniya_python_g_rossum) (accessed 25 Mar 2023).
5. RP2040 Datasheet. Build version ae3b121-clean, build date 02.03.2023, *Raspberry Pi Datasheets*, 639 p. Available at: <http://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf> (accessed 25 Mar 2023).
6. Tollervey N. H. Programming with MicroPython: Embedded Programming with Microcontrollers and Python. Sebastopol (CA), O'Reilly Media, 2017, 214 p.
7. Ravindran A. Django Design Patterns and Best Practices: Industry-standard web development techniques and solutions using Python. Second Revised Edition. Birmingham, Packt Publishing, 2018, 282 p.
8. Vincent W. S. Django 3.0 for APIs: Build web APIs with Python and Django. Lean Publishing, 2018, 190 p.
9. GOST 29322-2014. Standard voltages [GOST 29322-2014. Napryazheniya standartnye]. Effective from October 01, 2015. Moscow, StandartInform Publishing House, 2015, 15 p.
10. GOST 32144-2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems [GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya]. Effective from July 01, 2014. Moscow, StandartInform Publishing House, 2014, 19 p.

# О разработке информационной системы грузоперевозок ОАО «РЖД» на основе безопасной интеграции приложений

к.т.н. С. В. Пугачев, д.т.н. А. Д. Хомоненко, Ф. А. Ярмолинский

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

nki-pugachev@ya.ru, khomon@mail.ru, feodor1999@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время разработка информационных систем в интересах ОАО «РЖД», как правило, опирается на безопасную интеграцию современных инструментальных систем, таких как системы управления базами данных, системы программирования, системы бизнес-аналитики и т. п. При выборе инструментальных средств учитывается их доступность, а также соглашения с ведущими разработчиками в ИТ-отрасли. В статье обоснован выбор инструментальных средств для разработки информационной системы грузоперевозок ОАО «РЖД» на основе безопасной интеграции системы управления базами данных Postgres Pro и системы бизнес-аналитики Loginom с учетом следующих факторов: импортозамещение, скорость выполнения приложений, возможность работы с большими данными, наличие договорных отношений между компаниями, наличие данных тестирования используемых приложений. Дается обоснование структурной схемы информационной системы, а также ее архитектура с описанием интеграции компонентов.

**Ключевые слова:** импортозамещение, Postgres Pro, Loginom, интеграция приложений, СУБД, бизнес-аналитика, информационная система.

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке информационных систем прикладную составляющую целесообразно готовить с помощью систем управления базами данных (СУБД), объединяя ее с возможностями организации диалога и обеспечения информационной безопасности с помощью программ на языках высокого уровня. При этом необходимо учитывать не только характеристики современных СУБД, систем программирования, систем анализа и обработки данных, но и проводимую в настоящее время в ОАО «РЖД» и в государстве политику импортозамещения, а также стратегические планы ОАО «РЖД» и оформленные ею долгосрочные соглашения с ведущими разработчиками в ИТ-отрасли.

В частности, ОАО «РЖД» подписало трехлетнее соглашение [1], предоставляющее возможность неограниченного использования лицензий СУБД Postgres Pro. Это позволит компании активно развивать цифровые сервисы, в основе которых лежат постоянно растущие объемы данных, продолжить реализацию политики импортозамещения, направленную на достижение технологической независимости.

В ОАО «РЖД» проведено комплексное функциональное и нагрузочное тестирование различных СУБД и выбор был остановлен на решении Postgres Pro компании Postgres Professional [2]. Тестирование показало способность этого программного обеспечения поддерживать задачи любой

сложности с нужной производительностью и в полном объеме. Переход на эту СУБД соответствует плану мероприятий ОАО «РЖД», направленных на преимущественное использование отечественного программного обеспечения по всем используемым в компании классам. По мнению руководства компании Postgres Professional, соглашение поможет ОАО «РЖД» решить задачи по надежной и безопасной работе с данными.

В числе СУБД отечественного производства подобного класса можно назвать также Greenplum [3]. Это open-source продукт, массивно-параллельная реляционная СУБД для хранилищ данных с гибкой горизонтальной масштабируемостью и столбцовым хранением данных на основе PostgreSQL. Благодаря своим архитектурным особенностям и мощному оптимизатору запросов, Greenplum отличается особой надежностью и высокой скоростью обработки SQL-запросов над большими объемами данных, поэтому эта MPP-СУБД широко применяется для аналитики Big Data в промышленных масштабах.

При разработке современных информационных систем и систем поддержки принятия решений важную роль играет использование современных решений в области аналитической обработки данных. В этой связи следует отметить то обстоятельство, что компания Postgres Professional, разработчик отечественных СУБД, и Loginom Company, российский разработчик решений в области аналитики данных заключили соглашение о технологическом партнерстве. Сотрудничество направлено на обеспечение совместимости продуктов и позволит предлагать комплексное решение по хранению, обработке и анализу данных, включающее функционал флагманских продуктов компаний — СУБД Postgres Pro и аналитической Low-code платформы Loginom [4].

Low-code development — концепция, предполагающая возможность модифицировать, адаптировать и развивать систему непосредственно в ходе «боевой» эксплуатации с минимумом кодирования и максимумом визуальной разработки. Low-code решает главную проблему цифровизации — ускорение цикла от бизнес-потребности до работающего бизнес-процесса.

Линейка СУБД Postgres Pro входит в Единый реестр российского программного обеспечения (ПО), подходит для целей импортозамещения. Промышленная СУБД Postgres Pro Enterprise разработана для высоконагруженных систем, позволяет работать с базами данных большого объема и повышенными требованиями к производительности и надежности, сертифицирована по требованиям ФСТЭК России.

Аналитическая Low-code платформа Loginom позволяет настроить все процессы анализа больших объемов данных: интеграцию, подготовку, моделирование и визуализацию. Готовые интеграционные адаптеры к более чем двадцати источникам данных дают возможность решению легко встраиваться в IT-ландшафт любой сложности. Кроме того, Loginom реализует все аналитические процессы и методы: от простейших формул до машинного обучения.

В статьях [5–7] проведен сравнительный анализ ряда отечественных решений в области аналитической обработки данных и сделан общий положительный вывод в пользу продукта компании Loginom. В частности, в [5] отмечается: «...При детальном сравнении Loginom выигрывает у Deductor. Так как у Loginom несколько больше список функций, что является плюсом. Deductor в некоторых функциях, таких как визуализация, позволяет сделать больше, но в некоторых функциях, как администрирование, он усложнен лишними действиями. Большим плюсом для Loginom является возможность проектирования сценариев снизу вверх, что сильно расширяет его возможности. Deductor поддерживается на операционной системе Windows, Loginom представляет из себя веб-приложение, что позволяет ему не зависеть от операционной системы».

Безопасность информационной системы, создаваемой путем интеграции средств СУБД и бизнес аналитики, определяется безопасностью СУБД. Следует отметить, что СУБД Postgres Pro Enterprise имеет сертификат ФСТЭК, входит в Единый реестр Минкомсвязи, совместима со средством криптографической защиты информации (СКЗИ) «Крипто БД 2.0», включает поддержку расширенного управления доступом, в том числе на уровне отдельных записей. Хранение контрольных сумм в файлах и блоках, а также контроль файлов базы данных снижают риск искажения информации. Использование SHA2 (семейство хеш-функций) повышает надежность хранения хешей паролей. Сжатие данных затрудняет несанкционированный доступ к информации на диске. Контроль времени активности сессий снижает риск использования соединений для несанкционированного доступа.

По сравнению со средствами защиты информации, встроенными в СУБД, система «Крипто БД» имеет следующие преимущества:

- возможность выборочного шифрования отдельных столбцов в таблицах СУБД, что позволяет не снижать производительность всей базы данных;
- возможность реализации усиленной аутентификации пользователей для доступа к защищенным данным с использованием USB-токенов или смарт-карт;
- возможность ведения аудита и мониторинга событий доступа к зашифрованным данным;
- наличие средств гибкого централизованного управления ключами шифрования, исключающих возможные несанкционированные действия администраторов БД;
- простота внедрения в существующие информационные системы без необходимости внесения изменений в программный код.

#### АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

На сегодняшний день трудно представить управление процессом грузоперевозки между заказчиком и отправителем без единой информационной системы слежения. Важным требованием со стороны клиентов является автоматизация процесса сбора и анализа информации для реализации повышения качества управления процессом перевозки грузов.

Одним из ключевых требований к структуре грузоперевозок является создание необходимых условий для согласования бизнес-процессов производства и потребления по всей железной дороге страны. Для этого необходима конкретизация информации с целью повышения качества обслуживания. Автоматизация поиска и обработки информации позволяет реагировать должным образом на требования клиентов. Единая информационная система отслеживания процесса грузоперевозок позволяет получать необходимую информацию с предоставлением данных для контроля, слежения и регулирования доставки грузов по всей стране и за ее пределами. Система должна хранить в таблицах базы данных информацию о грузоперевозках, вагонах, картотеке и ремонтах.

Идея создания информационной системы для пользователей услуг железнодорожного транспорта в сфере грузоперевозок не новая. Еще в 80-е годы в СССР развивалось программное обеспечение информационных систем на железнодорожном транспорте. Была разработана автоматизированная система организации (оперативного) управления перевозочным процессом (АСОУП), входящая в состав автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ), схожая с нынешними системами информирования пользователей услуг железнодорожного транспорта [8].

Современные автоматизированные информационные системы (АИС) сочетают в себе комплекс технического (аппаратного) и программного обеспечения, а также персонал. В состав АИС входят средства:

- сбора информации, регистрации и подготовки;
- обработки информации;
- выдачи и отображения [9, 10].

Возможности, предоставляемые АИС, способствуют сокращению времени, потраченного на работу с информацией, и осуществлению оперативного реагирования на просьбы и пожелания клиентов. Поэтому необходимо оптимизировать цену и качество обрабатываемой информации разрабатываемой системы.

Система отслеживания процесса грузоперевозок разрабатывается для географической области, включающей все железнодорожные пути на территории России, по заказу ООО «ИЦС-УК».

Система предназначена для клиентов железнодорожного транспорта в сфере грузоперевозок:

- грузоотправителей, грузополучателей, плательщиков;
- операторов вагонного парка: собственников, арендаторов, операторов по доверенности.

Информационными объектами являются:

- сеть РЖД со станциями, участками и подъездные пути предприятий, и сами предприятия;
- поезда, вагоны и грузы;
- клиенты (пользователи услуг).

Информационные источники представлены:

- железнодорожной системой АСОУП (автоматизированная система оперативного управления перевозками) содержащей:

- 1) поездную модель (ключ — индекс поезда), которая определяет: оперативное состояние, дислокацию, назначения следования и состав поездов, а также историю их продвижения;

- 2) вагонную модель (ключ — номер вагона), которая охватывает: оперативное состояние, дислокацию, назначения следования, груз, паспортные и эксплуатационные данные, детали и узлы, сведения о ремонтах и историю деятельности вагона;

- железнодорожной системой «Этран» (электронная транспортная накладная), содержащей:

- 1) отправочную модель (ключ — номер накладной (отправки)), охватывающую за длительный период все сведения о грузе, средствах и сроках доставки, грузоотправителе, грузополучателе, плательщике, хронологию ее зарождения, продвижения и завершения существования на полигоне РЖД;

- 2) заявки на грузоперевозки (ключ — номер заявки), определяющих на период (до месяца) планируемые грузоперевозки;

- 3) нормативно-справочные данные;

- 4) справочники станций, грузов, операций, предприятий;

- 5) роды, типы и модели вагонов;

- 6) план формирования, нормы продвижения, погрузки/выгрузки, доставки, ремонтов;

- 7) персонализации клиентов, содержащие списки вагонов, решающих станций, предприятий и лицевого счетов.

Грузоперевозка характеризуется номером накладной заключения контракта, временем и датой отправления груза, средством доставки (вагоны/контейнеры), наименованием перевозимого груза, количеством вагонов, грузоотправителем, грузополучателем, станцией назначения, станцией отправления, дорогой, по которой осуществляется доставка, индексом поезда, номером поезда, расстоянием (километражем), номерами вагонов, их моделью и весом, а также операцией с вагонами, станцией операции, датой и временем операции, ОКПО собственника, ОКПО арендатора [10].

#### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ранее упоминалось про взаимодействие с другими системами и получением внешних данных от них, поэтому принято решение построить структурную схему системы отслеживания грузоперевозок. Эта структурная схема представлена на рисунке 1 и отражает интенсивный обмен данными между разрабатываемой информационной системой и сторонними подсистемами.

Разрабатываемая АИС будет располагаться на сервере ООО «ИЦС-УК», который по шлюзу сети будет обмениваться информацией между другими серверами предприятия с установленными на них СУБД PostgreSQL Pro. Данные в систему будут передаваться в виде файла структуры таблиц базы данных.

Для контроля и выдачи информации об осуществленных ремонтах, станциях, предназначенных для ремонта и эксплуатации вагонов, предназначена АСУ «Депо», расположенная на сервере Санкт-Петербургского ИВЦ, взаимодействие с которой осуществляется путем передачи информации между серверами.



Рис. 1. Структурная схема АИС

Для согласования отправок, заключения договоров, передачи информации о подходе состава к станциям или предприятиям предназначено АРМ оператора железной дороги, взаимодействие с которым осуществляется путем передачи сообщений через средства гарантированной доставки MQSeries.

Кроме непростой организации взаимодействия со сторонними системами, необходимо информировать всех пользователей, поэтому задача интеграции различных приложений становится основной при реализации конечной системы.

#### АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

##### С ОПИСАНИЕМ ИНТЕГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ

С учетом современных тенденций принято решение, что разрабатываемая система будет представлять собой многоуровневую архитектуру. Отметим, в частности, что, как показано в статье [11], в целях соблюдения постановлений Правительства, согласно плану перехода на российское ПО, установленные зарубежные СУБД Microsoft SQL Server 2016 можно заменить на отечественные PostgreSQL Pro Enterprise. Такой переход повысит уровень независимости информационных ресурсов и, как следствие, укрепит информационную безопасность государства.



С учетом отмеченного, в рамках статьи спроектирован прототип системы на базе платформы СУБД Postgre Pro, которая включает в себя все компоненты многоуровневой архитектуры. Это предоставляет возможность относительно легко строить интеграции между компонентами, написанными на разных языках, запускаемыми на разных операционных системах и платформах. Помимо этого, за счет интегрированных во многие IDE средств и компонентов, достигается простота и скорость разработки приложения с минимумом кода.

В процессе разработки структуры базы данных проведено инфологическое и даталогическое моделирование.

#### ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Первый этап процесса проектирования базы данных определяется как этап концептуального или инфологического проектирования. Он заключается в создании концептуальной инфологической модели данных анализируемой предметной области.

На основании анализа предметной области можно выделить следующие сущности:

- заявки;
- отправки;
- вагонная модель (включая дислокацию);
- картотека (включая паспортные, технические и эксплуатационные данные);
- ремонты вагонов.

По заявке, полученной из автоматизированной системы «Этран», формируются отправки, из которых берутся сведения по оперативному состоянию вагонов. Вагоны могут иметь более одного состояния, меняющееся пройденное расстояние, информацию о которых необходимо хранить в системе. Из оперативного состояния вагона берутся паспортные и технические данные, хранящиеся в картотеке.

По каждому вагону хранится информация о произведенных ремонтах.

Для построения инфологической модели использовалась концепция ER-модели («сущность — связь»). Инфологическая модель, построенная на основе описания предметной области информационной системы, представлена на рисунке 2.

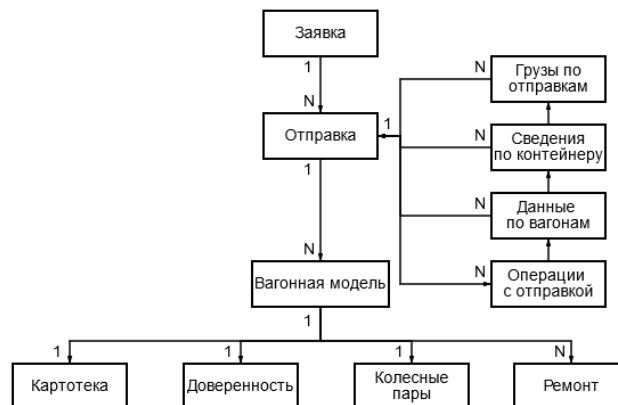


Рис. 2. Инфологическая модель информационной системы

По инфологической модели строится описание, отражающее логические связи между элементами данных, учитывая особенности выбранной модели организации данных СУБД, называемое даталогическим моделированием.

#### ДАТАЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Следующим этапом разработки БД стало построение даталогической модели ИС, представленной на рисунке 3.

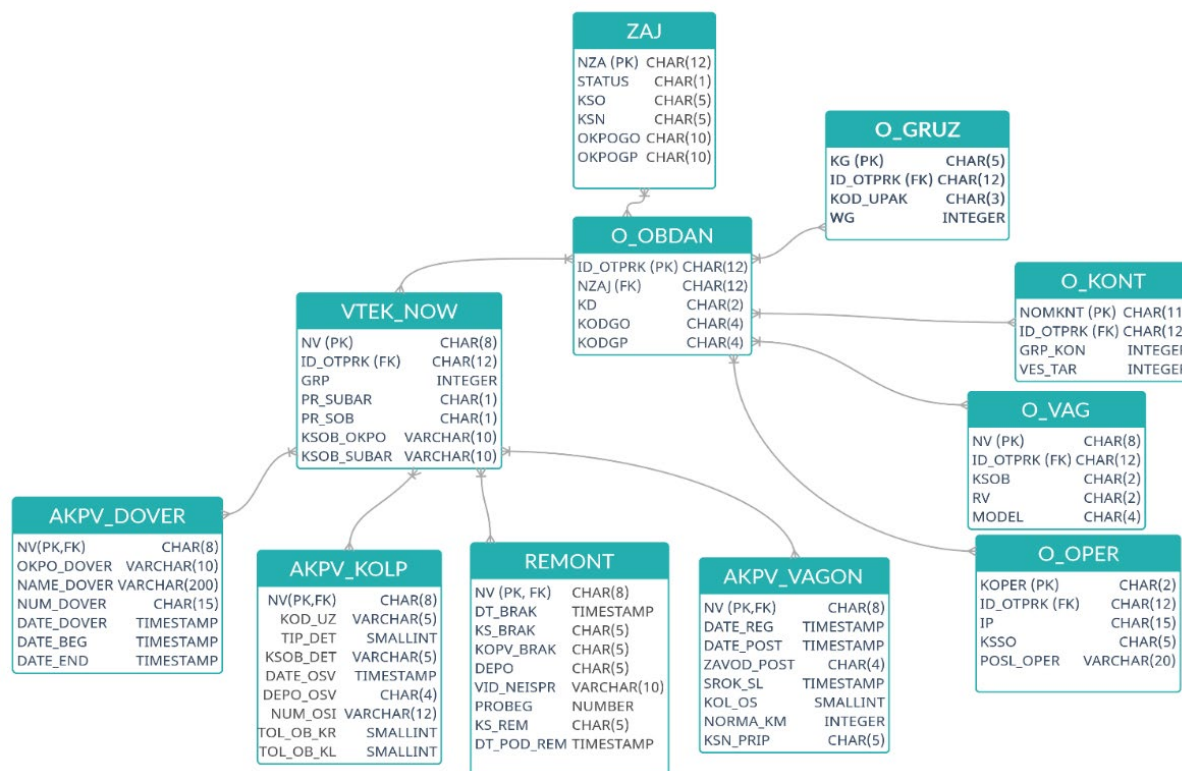


Рис. 3. Даталогическая модель БД

Таблица «Заявка» содержит данные о полученных заявках. Таблица «Отправка» содержит данные о сформированных отправлениях. Таблица «Вагонная модель» содержит данные о вагонной модели. Таблица «Картотека» содержит карточечные данные. Таблица «Доверенность» содержит данные о доверенности. Таблица «Колесные пары» содержит данные о колесных парах. Таблица «Ремонт» содержит данные о ремонте. Таблица «Грузы по отправлениям» содержит данные об отправленных грузах. Таблица «Сведения по контейнеру» содержит данные о вагонах-контейнерах. Таблица «Данные по вагонам» содержит данные по вагонам. Таблица «Операции с отправкой» содержит данные об операциях с отправлениями.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выбора инструментальных средств, инфологического и даталогического моделирования являются основой для разработки прототипа базы данных и приложения автоматизированной информационной системы отслеживания процесса грузоперевозок на основе безопасной интеграции системы управления базами данных Postgres Pro и системы бизнес-аналитики Loginom с учетом указанных выше факторов.

Тем самым может быть достигнута цель повышения качества процесса грузоперевозок. Автоматизация поиска информации (средствами СУБД) и обработки информации (с помощью средств системы бизнес-аналитики Loginom) позволят реагировать должным образом на требования клиентов. Дальнейшие исследования, на наш взгляд, целесообразно продолжить в направлениях отработки технологий практического применения указанных инструментальных платформ, свободно распространяемых средств [12, 13], а также других конкурентных платформ российского производства, например, СУБД Greenplum [14] при решении задач аналитической обработки больших объемов данных, в частности классификации изображений с помощью глубокого обучения, и, кроме того, в направлениях решения различных научно-практических задач на железнодорожном транспорте [15].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. РЖД перейдет на СУБД Postgres Pro // Ежедневный онлайн-журнал Content Review. — 2022. — 03 апреля. URL: <http://www.content-review.com/articles/55153> (дата обращения 10.03.2023).
2. Postgres Professional. О компании // Postgres Pro. URL: <http://postgrespro.ru/about> (дата обращения 10.03.2023).
3. Massively Parallel Postgres for Analytics // Greenplum Database. URL: <http://greenplum.org> (дата обращения 10.03.2023).
4. Аналитическая платформа Loginom // Loginom. URL: <http://loginom.ru> (дата обращения 10.03.2023).
5. Ткаченко, А. Л. Применение программных продуктов в сфере бизнес аналитики / А. Л. Ткаченко, В. И. Кузнецова, Г. В. Заплатин // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2021. № 3 (16). С. 26–32.
6. Ткаченко, А. Л. Анализ системы поддержки принятия решений на базе платформы Loginom / А. Л. Ткаченко,

В. Г. Егоров // Калужский экономический вестник. 2021. № 4. С. 50–53.

7. Paklin, N. B. Using Loginom Low-Code Platform for the Modeling of LTV Site Subscriber / N. B. Paklin, I. A. Katsko, E. V. Kremyanskaya // System Analysis in Engineering and Control (SAEC 2021): Proceedings of the International Conference (St. Petersburg, Russia, 13–14 October 2021). — Cham: Springer Nature, 2022. — Pp. 461–472. — (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 442). DOI: 10.1007/978-3-030-98832-6\_41.

8. Из истории информатизации железнодорожного транспорта в России // СЦБИСТ — железнодорожный форум. — Обновлено 28.10.2014. URL: <http://scbist.com/wiki/38267-iz-istorii-informatizacii-zheleznodorozhnogo-transporta-rossii.html> (дата обращения 06.12.2020).

9. Денега, А. О. Автоматизированные системы управления // Справочник. — 2017. — 02 июня. URL: [http://spravochnik.ru/informacionnye\\_tehnologii/setevye\\_informacionnye\\_sistemy/avtomatizirovannye\\_sistemy\\_upravleniya](http://spravochnik.ru/informacionnye_tehnologii/setevye_informacionnye_sistemy/avtomatizirovannye_sistemy_upravleniya) (дата обращения 06.12.2020).

10. РЖД: структура, грузоперевозки и их виды // Транспортная компания «Вера-1». URL: [http://www.vera-1.ru/articles/rjd\\_gruzoperevozki](http://www.vera-1.ru/articles/rjd_gruzoperevozki) (дата обращения 06.12.2020).

11. Бажанова, С. В. Независимость информационных ресурсов как элемент информационной безопасности государства / С. В. Бажанова, Н. А. Сырямина // Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева. 2019. № 3 (44), Т. 2. С. 5–12.

12. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification / N. E. Kosykh, A. D. Khomonenko, A. P. Bochkov, A. V. Kikot // Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019), (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 52–58. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-52-58.

13. Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных: Монография / И. Ю. Парамонов, В. А. Смагин, Н. Е. Косых, А. Д. Хомоненко; под ред. В. А. Смагина, А. Д. Хомоненко. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 236 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

14. Image Classification in Greenplum Database Using Deep Learning // O. R. Albertini, D. Bhargov, A. Denissov, [et al.]. — 4 p. URL: <http://s3.amazonaws.com/greenplum.org/wp-content/uploads/2020/05/12170349/Image-Classification-in-Greenplum.pdf> (дата обращения 10.03.2023).

15. Vasilenko, M. N. Synthesis of Safety Functions for Railway Automation and Telemechanics Systems / M. N. Vasilenko, P. A. Vasilenko, V. A. Hodakovskij // Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the basis of the departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020) (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2803. Pp. 160–165. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-160-165.

# On the Development of an Information System for Cargo Transportation of JSC Russian Railways Based on Secure Application Integration

PhD S. V. Pugachev, Grand PhD A. D. Khomonenko, F. A. Yarmolinsky  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
nki-pugachev@ya.ru, khomon@mail.ru, feodor1999@mail.ru

**Abstract.** Currently, the development of information systems in the interests of Russian Railways, as a rule, relies on the secure integration of modern tool systems, such as database management systems, programming systems, business intelligence systems, etc. When choosing tools, their availability is taken into account, as well as agreements with leading developers in the IT industry. The article substantiates the choice of tools for the development of the cargo transportation information system of JSC Russian Railways based on the secure integration of the Postgres Pro database management system and the Loginom business intelligence system, taking into account the following factors: import substitution, application execution speed, the ability to work with big data, the existence of contractual relations between companies, the availability of testing data used applications. The substantiation of the structural scheme of the information system is given, as well as its architecture with a description of the integration of components.

**Keywords:** import substitution, Postgres Pro, Loginom, application integration, DBMS, business analytics, information system.

## REFERENCES

1. Russian Railways will switch to Postgres Pro DBMS [RZhD pereydet na SUBD Postgres Pro], *Content Review Daily Online Magazine [Ezhednevnyy onlayn-zhurnal Content Review]*. Published online at April 03, 2022. Available at: <http://www.content-review.com/articles/55153> (accessed 10 Mar 2023).
2. Postgres Professional. About company [Postgres Professional. O kompanii], *Postgres Pro*. Available at: <http://postgrespro.ru/about> (accessed 10 Mar 2023).
3. Massively Parallel Postgres for Analytics, *Greenplum Database*. Available at: <http://greenplum.org> (accessed 10 Mar 2023).
4. Loginom Analytical Platform [Analiticheskaya platforma Loginom], *Loginom*. Available at: <http://loginom.ru> (accessed 10 Mar 2023).
5. Tkachenko A. L., Kuznetsova V. I., Zaplatin G. V. Application of Software Products in the Field of Business Analytics [Primenenie programmnykh produktov v sfere biznes analitiki], *Information Technology [Informatsionnye tekhnologii. Problemy i resheniya]*, 2021, No. 3 (16), Pp. 26–32.
6. Tkachenko A. L., Egorov V. G. Analysis of the Decision Support System Based on the Loginom Platform [Analiz sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na baze platformy Loginom], *Kaluga Economic Bulletin [Kaluzhskiy ekonomicheskii vestnik]*, 2021, No. 4, Pp. 50–53.
7. Paklin N. B., Katsko I. A., Kremlyanskaya E. V. Using Loginom Low-Code Platform for the Modeling of LTV Site Subscriber, *System Analysis in Engineering and Control (SAEC 2021): Proceedings of the International Conference, St. Petersburg, Russia, 13–14 October 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 442. Cham, Springer Nature, 2022, Pp. 461–472. DOI: 10.1007/978-3-030-98832-6\_41.
8. From the history of informatization of railway transport in Russia [Iz istorii informatizatsii zheleznodorozhnogo transporta v Rossii], *SCBIST — Railway Forum [STsBIST — zheleznodorozhnyy forum]*. Last update at October 28, 2014. Available at: <http://scbist.com/wiki/38267-iz-istorii-informatizatsii-zheleznodorozhnogo-transporta-rossii.html> (accessed 06 Dec 2020).
9. Denega A. O. Automated control systems [Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya], *Spravochnik*. Published online at June 02, 2017. Available at: [http://spravochnik.ru/informacionnye\\_tehnologii/setevye\\_informacionnye\\_sistemy/avtomatizirovannyye\\_sistemy\\_upravleniya](http://spravochnik.ru/informacionnye_tehnologii/setevye_informacionnye_sistemy/avtomatizirovannyye_sistemy_upravleniya) (accessed 06 Dec 2020).
10. Russian Railways: structure, cargo transportation and their types [RZhD: struktura, gruzoperevozki i ikh vidy], *Vera-1 Transport Company [Transportnaya kompaniya «Vera-1»]*. Available at: [http://www.vera-1.ru/articles/rjd\\_gruzoperevozki](http://www.vera-1.ru/articles/rjd_gruzoperevozki) (accessed 06 Dec 2020).
11. Bazhanova S. V., Syryamina N. A. Independence of Information Resources as an Element of Information Security of the State [Nezavisimost informatsionnykh resursov kak element informatsionnoy bezopasnosti gosudarstva], *Vestnik of Volzhsky University Named After V. N. Tatishchev [Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V. N. Tatishcheva]*, 2019, No. 3 (44), Vol. 2, Pp. 5–12.
12. Kosykh N. E., Khomonenko A. D., Bochkov A. P., Kikot A. V. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification, *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019), St. Petersburg, Russia, December 04–05, 2019. CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 52–58. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-52-58.
13. Paramonov I. Yu., Smagin V. A., Kosykh N. E., Khomonenko A. D. Methods and models for the study of complex systems and Big Data processing: Monograph [Metody i modeli issledovaniya slozhnykh sistem i obrabotki bol'shikh dannykh: Monografiya]. St. Petersburg, LAN Publishing House, 2020, 236 p.
14. Albertini O. R., Bhargov D., Denisov A., et al. Image Classification in Greenplum Database Using Deep Learning, 4 p. Available at: <http://s3.amazonaws.com/greenplum.org/wp-content/uploads/2020/05/12170349/Image-Classification-in-Greenplum.pdf> (accessed 10 Mar 2023).
15. Vasilenko M. N., Vasilenko P. A., Hodakovskij V. A. Synthesis of Safety Functions for Railway Automation and Telemechanics Systems, *Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the basis of the departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020), St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020. CEUR Workshop Proceedings*, 2021, Vol. 2803, Pp. 160–165. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-160-165.

# Модель системы дистанционного контроля состояния электроподвижного состава с применением искусственных нейронных сетей

В. С. Язынин, к.т.н. А. М. Барановский, к.и.н. А. В. Забродин

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

vladimir.yazynin@inbox.ru, bamvka@mail.ru, zabrodin@pgups.ru

**Аннотация.** Проведен анализ инструментов автоматизированного контроля состояния подвижного состава, установлены требования и разработана модель информационной система для контроля характеристик подвижного состава. Проанализирован ряд архитектур искусственных нейронных сетей, а также предложен алгоритм работы сверточной нейронной сети для определения процента износа токоприемника подвижного состава на основе фотографий. Составленный алгоритм включает предобработку изображений, создание модели сверточной нейронной сети, ее обучение и использование для классификации новых изображений.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, нейросетевые технологии, информационные технологии, железнодорожный транспорт, дистанционный контроль.

## ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является важной частью инфраструктуры многих стран и играет важную роль в мировой экономике. Например, на долю ОАО «РЖД» приходится свыше 27 % пассажирооборота и 45 % грузооборота всей транспортной системы Российской Федерации. В связи с этим обеспечение безопасности и надежности работы железнодорожных систем является критически важной задачей. Информационные системы (ИС) контроля состояния поездов являются ключевым элементом обеспечения безопасности и эффективности работы железнодорожных систем. Но на сегодняшний день большая часть мероприятий по обеспечению контроля состояния железнодорожного транспорта осуществляется людьми в ручном режиме, что часто приводит к ошибочным решениям. Поэтому в рамках цифровой трансформации необходимо создавать автоматизированные и автоматические системы контроля, минимизирующие влияние человеческого фактора на качество контроля.

Искусственные нейронные сети (ИНС) могут быть использованы для автоматизации решения различных задач, таких как управление движением поездов, диагностика и прогнозирование отказов оборудования, оптимизация планирования ресурсов и улучшение качества обслуживания клиентов. Одним из главных преимуществ использования ИНС является способность адаптироваться к изменяющимся условиям и обучаться на основе опыта. Это делает ИНС более эффективными в решении сложных задач, которые трудно решить с помощью традиционных методов. На данный момент ОАО «РЖД» уже имеет позитивный опыт использования ИНС в некоторых сферах своей деятельности.

Целью исследования является разработка модели информационной системы дистанционного контроля состояния электроподвижного состава с использованием искусственных нейронных сетей. Разрабатываемая информационная система должна определять состояние поезда на основе анализа фотографий с помощью ИНС и данных, получаемых с различных датчиков.

Данное исследование может быть полезным для железнодорожной индустрии, поскольку позволит улучшить безопасность и эффективность применения железнодорожных систем. Использование искусственных нейронных сетей в информационных системах контроля состояния поездов может существенно сократить затраты на техническое обслуживание и устранение неисправностей, что в свою очередь приведет к сокращению времени простоя поездов, и улучшить общую эффективность работы железнодорожной инфраструктуры.

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗНОС ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Несмотря на множество преимуществ, электрификация железных дорог имеет ряд проблем, которые могут возникнуть в процессе ее реализации и эксплуатации, одним из видов таких проблем являются проблемы эксплуатационного характера. Наиболее распространенной проблемой этого типа можно назвать высокую уязвимость токоприемников, являющихся одним из наиболее ответственных узлов электроподвижного состава (ЭПС). Зачастую повреждения токоприемников приводят к нарушению токосъема и повреждению контактной сети, что в свою очередь может существенно повлиять на безопасность движения и, как следствие, снижает экономическую эффективность. Согласно анализу технических данных более четверти всех случаев брака, непланового ремонта и повреждений оборудования моторвагонного подвижного состава (МВПС) на различных железных дорогах России связаны с токоприемниками [1]. Поэтому обеспечение качественного технического осмотра и ремонта в депо является актуальной задачей.

Основные факторы, вызывающие повреждение и износ контактов токосъемных элементов, включают климатические условия, покрытие контактов льдом и изморозью, нарушение электрического контакта при взаимодействии материала контактов с окружающей атмосферой. Из-за органических веществ вследствие электрохимических ре-

акций на поверхностях контактов образуется пленка, которая ухудшает проводимость электрического тока.

Сила контактного нажатия  $P_{кт}$ , как основной критерий, отражающий качество токосъема, образуется следующими составляющими [1]:

$$P_{кт} = P_{стат} + P_{аэро} - P_{дин} ,$$

где  $P_{кт}$  — контактное нажатие полоза токоприемника на контактный провод;

$P_{стат}$  — сила, создаваемая токоприемником во время стоянки электроподвижного состава;

$P_{аэро}$  — увеличение силы контактного нажатия в результате аэродинамических воздействий на токоприемник;

$P_{дин}$  — составляющая силы контактного нажатия, возникающая в результате динамического взаимодействия токоприемника с подвеской контактной сети.

Кроме того, сила прижатия полоза к контактному проводу и электрический ток также оказывают значительное воздействие на износ провода и контактов. Скользящий контакт вызывает эффект трения и дуговой разряд из-за разрыва между токосъемником и контактными проводами, что существенно влияет на повышение температуры и микроструктуру контакта.

Как следствие, токосъемник токоприемника начинает интенсивно изнашиваться при попадании влаги в контакт. Из-за возникновения электрических разрядов наблюдается значительное снижение пробега в зимний период времени. Под воздействием электрической дуги вследствие выкрашивания материала на их поверхности появляются раковины, а также термические трещины (рис. 1).

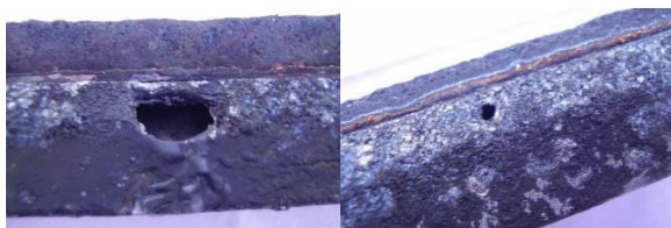


Рис. 1. Прожог в несущей конструкции вследствие воздействия электрической дуги

По причине прохождения больших токов в токосъемных элементах могут наблюдаться зоны расплавления (места, где виден поток материалов) и места сильного пригорания (рис. 2).

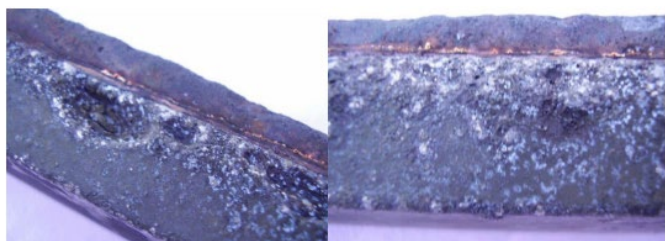


Рис. 2. Зоны расплавления и места сильного пригорания

Из вышесказанного можно сделать вывод, что данная тема является актуальной на сегодняшний день, и необходимо повысить уровень контроля характеристик токоприемников подвижного состава за счет внедрения новых технологий распознавания дефектов. Наиболее удачным и эф-

фективным решением представляется создание информационной системы с применением искусственных нейронных сетей для диагностики состояния токоприемников.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ И ОПИСАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

##### КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Формирование требований и описание информационной системы контроля состояния электроподвижного состава является важной задачей для обеспечения безопасности движения поездов и улучшения качества обслуживания пассажиров [1].

Информационная система контроля состояния электроподвижного состава должна позволять осуществлять мониторинг технического состояния поезда и автоматически определять возможные проблемы, которые могут привести к авариям или задержкам в движении поездов [2]. Для этого система должна осуществлять сбор, обработку и анализ большого объема данных с различных датчиков, установленных на электроподвижном составе и объектах инфраструктуры железной дороги.

Требования к информационной системе контроля состояния электроподвижного состава должны включать в себя следующие пункты:

1. Высокая точность и скорость обработки данных. Система должна обеспечивать быструю обработку большого объема данных и высокую точность результатов.

2. Доступность и надежность. Система должна быть доступна в любое время и стабильно работать на протяжении всего срока эксплуатации.

3. Использование современных технологий и методов. Для достижения высокой эффективности и точности система должна использовать современные технологии и методы, такие как искусственные нейронные сети и машинное обучение.

4. Простота в использовании. Система должна быть интуитивно понятной и простой в использовании.

5. Расширяемость. Система должна быть легко расширяема и поддерживать интеграцию с другими системами, такими как система управления движением поездов.

Описание информационной системы контроля состояния электроподвижного состава должно включать в себя архитектуру системы, используемые (применяемые) аппаратные и программные компоненты, а также основные этапы ее функционирования. Архитектура системы должна быть построена на основе модульного подхода, который позволит легко добавлять в нее новые функциональные компоненты. Ключевыми компонентами системы должны быть датчики, сборщики данных, видеоизмерительный комплекс, база данных, модули анализа данных и визуализации результатов [3].

Датчики, размещенные на каждом вагоне, должны собирать данные о техническом состоянии оборудования, такие как давление, температура, вибрация и другие параметры, которые могут указывать на возможные неисправности. Собранные данные передаются в сборщики данных на серверах, которые управляют процессом сбора информации.

Видеоизмерительный комплекс представляет собой совокупность видеокамер, позволяющих сделать фото и видеоматериалы анализируемого объекта с разных ракур-

сов, что дает возможность провести наиболее полный анализ внешних компонентов поезда [4].

База данных является основным хранилищем всех собранных данных. Данные хранятся в структурированном виде и могут быть быстро извлечены для анализа. Модули анализа данных обрабатывают собранные данные с помощью ИНС, которая выявляет возможные неисправности, а также рассчитывает процент износа комплектующих.

Визуализация результатов позволяет оперативно отслеживать состояние электроподвижного состава и принимать необходимые меры в случае выявления неисправностей. Результаты анализа данных представляются в удобной форме: графики, диаграммы и т. д.

Для обеспечения надежной работы информационной системы контроля состояния электроподвижного состава необходимо выбрать надежное аппаратное и программное обеспечение, которое обеспечит стабильную работу системы в любых условиях эксплуатации. Также необходимо учитывать требования к безопасности и защите данных, чтобы исключить возможность несанкционированного доступа к конфиденциальной информации [5].

#### ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОЕЗДА

На сегодняшний день существует довольно много инструментов автоматизированного контроля состояния поезда, которые можно объединить в единую информационную систему для повышения качества диагностики. Это позволит вывести обеспечение безопасности и надежности железнодорожного транспорта на новый уровень [6]. Некоторые из этих инструментов включают в себя:

1. Датчики контроля состояния поезда. Это устройства, которые монтируются на поезде и позволяют собирать данные о различных параметрах, таких как скорость, температура, вибрация и т. д. Эти данные затем анализируются, чтобы определить состояние поезда и выявить любые потенциальные проблемы.

2. Видеоизмерительные системы. Специальные комплексы из камер и другого оборудования могут быть установлены на входах или выходах в депо и вокруг железнодорожных путей для мониторинга состояния и поведения поезда. Это может включать в себя определение состояния различных компонентов, таких как токоприемники или пневматические тормоза.

3. Системы автоматического управления поездом позволяют автономно управлять поездом на основе собранных данных и заданных параметров, таких как скорость и направление движения. Это может помочь предотвратить некоторые потенциальные аварии и улучшить безопасность на железнодорожных путях.

4. Программное обеспечение для анализа данных. Используется для обработки и анализа данных, собранных с различных инструментов контроля. Может включать в себя такие алгоритмы машинного обучения и распознавания, которые на основе собранных данных позволяют автоматически определять состояние поезда.

Все эти инструменты вместе помогают обеспечить безопасность и надежность железнодорожного транспорта. Использование их в сочетании с искусственными нейронными сетями может улучшить эффективность и достоверность системы контроля состояния поезда, повы-

сить уровень безопасности для пассажиров и персонала железнодорожного транспорта. Применение искусственных нейронных сетей в таких системах может значительно улучшить точность анализа данных и повысить эффективность контроля за состоянием поезда. Кроме того, это может позволить оперативно выявлять и предотвращать возможные проблемы, которые могут привести к авариям или задержкам в движении поездов.

#### АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭПС

Наиболее интересной отечественной работой в этой сфере является [7], в которой описана перспективная система диагностики токоприемников электроподвижного состава, основанная на применении компьютерного зрения. Дистанционный способ диагностики позволяет осуществлять контроль непосредственно в режиме эксплуатации без необходимости остановки подвижного состава и без участия обслуживающего персонала.

Дальнейшая часть исследовательской работы будет посвящена модернизации описанной концепции и проектированию данной ИС.

Конструкция стационарного комплекса для контроля технического состояния токоприемников проходящего ЭПС состоит из следующих компонентов (рис. 3):

1. Видеокамера с вертикальным направлением оптической оси.
2. Вертикальная видеокамера с фронтальным направлением оптической оси.
3. Источник инфракрасного освещения.
4. Фронтальная видеокамера с горизонтальным расположением оптической оси.
5. Датчик прохода ЭПС.
6. Блок контроля и управления.
7. Локальный сервер.
8. База данных.

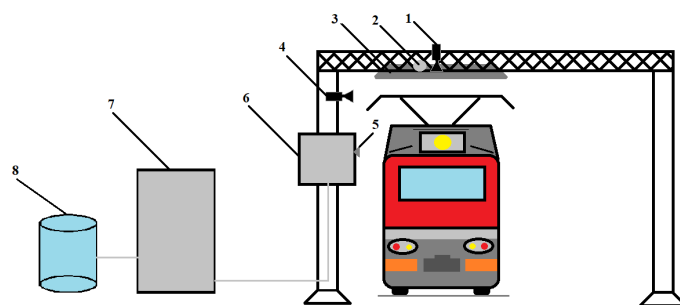


Рис. 3. Схема расположения оборудования видеоизмерительного комплекса

При проходе ЭПС через контрольный пункт датчик прохода отправляет сигнал в блок управления, после чего начинается процесс записи видеоинформации с разных ракурсов. Данные с видеокамер поступают на локальный сервер, где производится анализ технического состояния токоприемника. Процесс анализа осуществляется с помощью ИНС, в основе которой заложен многошаговый алгоритм, после обработки данные будут сохранены в базу данных. В случае обнаружения отклонений параметров токоприемника от нормативных оператору станции подается предупреждающий сигнал и изображение токопри-

емника с указанием причины срабатывания системы. Для работы в темное время суток пункт необходимо оснастить источником инфракрасного освещения.

Предлагаемая автоматизированная система оценки состояния токоприемников позволяет выполнять непрерывный контроль технического состояния токоприемников, проходящих через контрольный пункт. В автоматическом режиме выполняются регистрация времени и скорости прохода ЭПС, распознавание номера локомотива, сохранение данных видеосъемки, определение типа токоприемника и оценка технического состояния. Измерение геометрических параметров и определение технического состояния контактных пластин токоприемников выполняется при помощи специализированных алгоритмов распознавания образов. При наличии точного аналитического описания дефектов для принятия решения на основе измерений может быть использована модель нейросети Хопфилда, обученная на решение алгебраических уравнений [8, 9].

Горизонтальная камера оценивает величину отжатия контактного провода в момент прохода токоприемника, что позволяет вычислить величину силы контактного нажатия токоприемника при известной жесткости подвески.

Вертикальная камера позволяет оценить состояние износа токосъемных пластин на ползках токоприемника по форме и структуре изображения контактной поверхности. Система позволяет определить наличие подгаров и сколов на контактных элементах, их количество и размер по отношению к общей площади контактной поверхности.

С помощью фронтальной камеры определяются геометрическое положение и форма токоприемника. Профиль токоприемника должен вписываться в допустимые габариты. Путем сравнения профиля токоприемника с шаблонными изображениями выявляются механические повреждения ползца и системы подвижных рам.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Основной задачей проектируемой информационной системы является помощь оператору станции по осуществлению автоматического контроля состояния износа токоприемников ЭПС за счет использования обработки полученных фото и видеоматериалов с помощью ИНС, а также предоставление удобного интерфейса для быстрого формирования отчета и сохранения отчета в БД [7, 10–12]. В качестве инструмента проектирования и моделирования разрабатываемой системы предлагается использовать язык UML (англ. *Unified Modeling Language* — унифицированный язык моделирования). Этот язык графического описания является мировым стандартом и подходит для проектирования ИС, программного обеспечения (ПО), бизнес-процессов и т. д.

На рисунке 4 представлены основные варианты использования ИС оператором: получение видео или фотоматериалов с видеоизмерительного комплекса, обработка полученных материалов с помощью ИНС, создание нового отчета или работа с уже существующими, а также работа с базой данных.

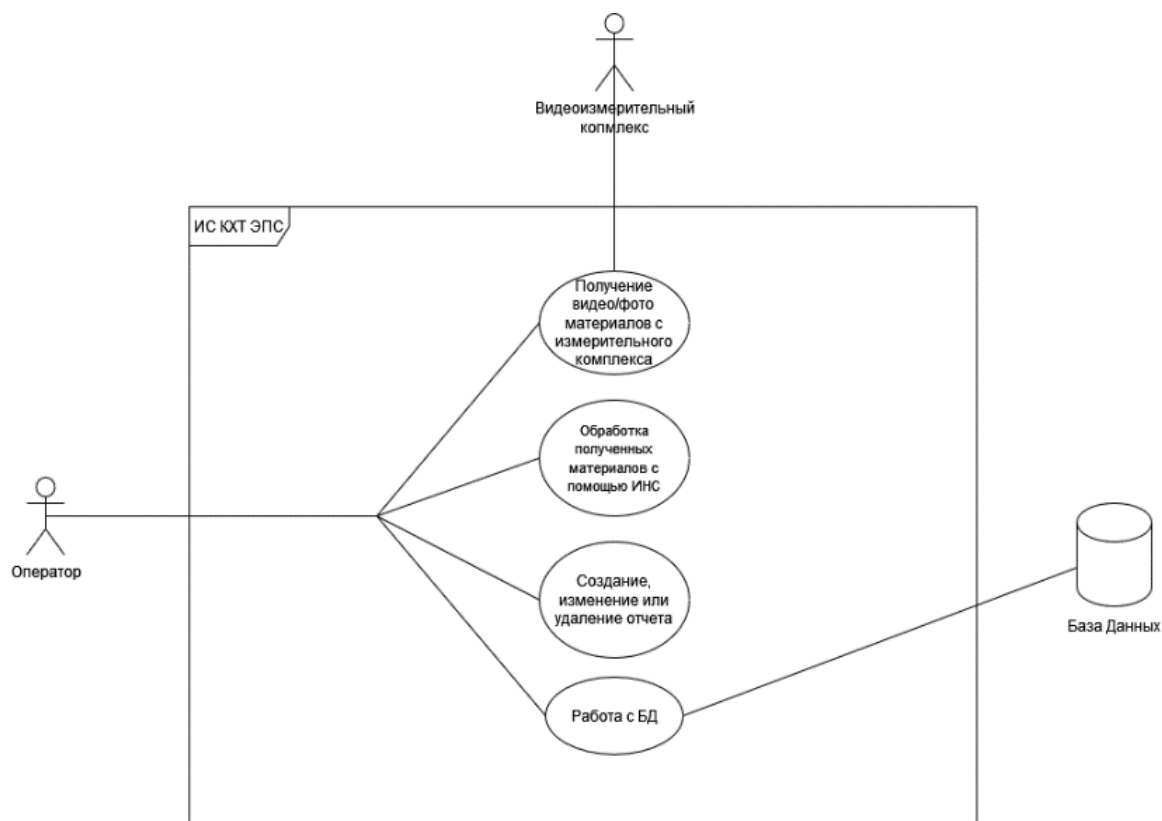


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования ИС

Для раскрытия сущности вариантов использования предлагается использовать диаграмму деятельности, которая используется для описания поведения на основе указанных потоков управления и потоков данных. На рисунке 5 представлен типичный сценарий использования оператором ИС для более детального представления технических и бизнес-процессов, протекающих в проектируемой системе. На диаграмме показано, что полный функционал, включая получение и обработку фотографий с помощью ИНС, работу с отчетами и базой данных, досту-

пен только после прохождения авторизации, в противном случае оператор может лишь выйти из системы.

На рисунке 5 при отображении процесса авторизации пользователя задействуются понятия токена сессии и кеша. Под токеном сессии понимается уникальный ключ доступа к ресурсам приложения, а под кешем понимается кеш браузера или приложения — это папка, в которой хранятся данные, которые появились в момент работы пользователя.

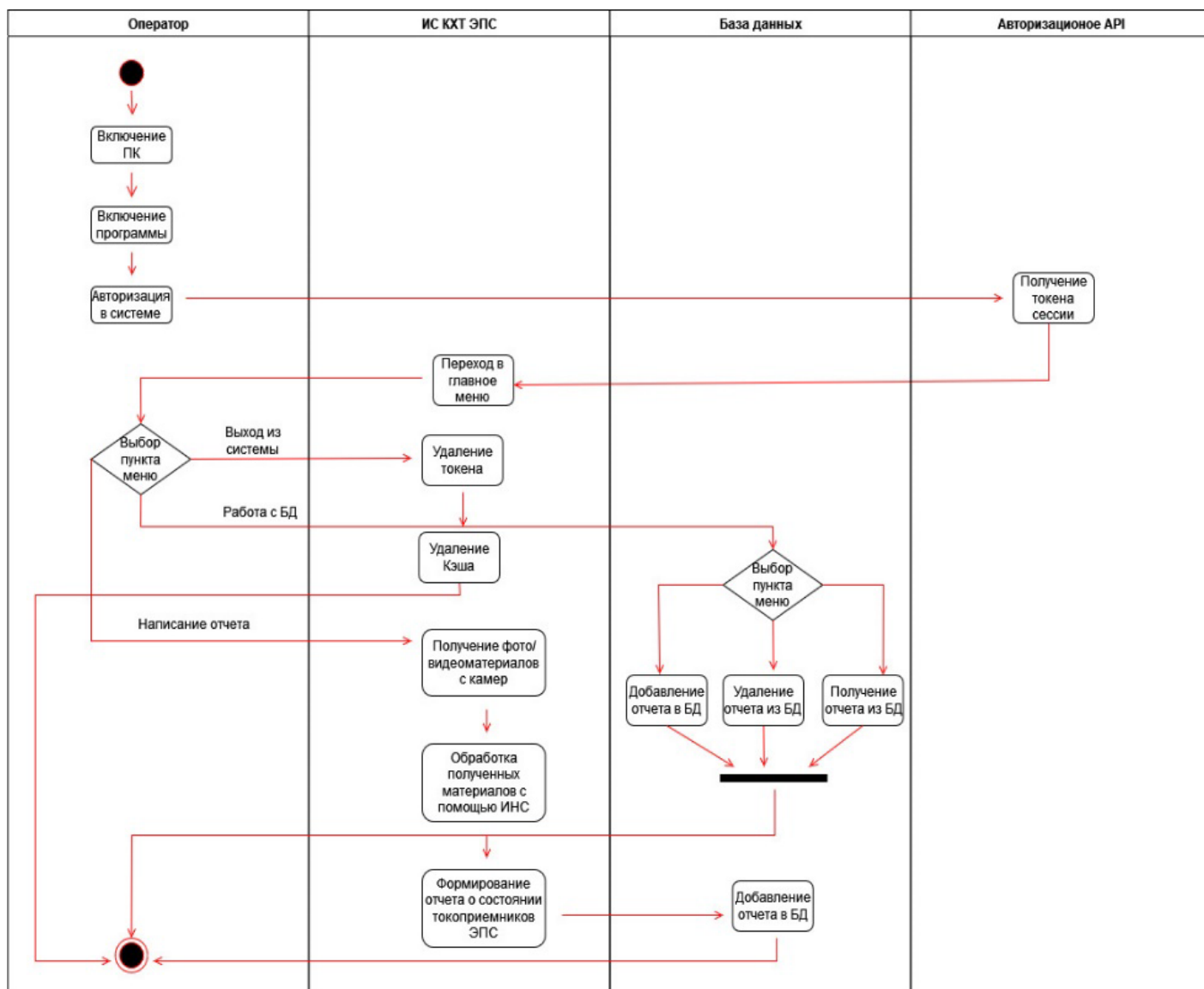


Рис. 5. Диаграмма деятельности

Диаграмма состояний, приведенная на рисунке 6, — один из способов детального описания поведения в UML на основе явного выделения состояний и описания переходов между ними. На рисунке представлены возможности программного комплекса во включенном и выключенном состоянии.

С помощью диаграммы классов, представленной на рисунке 7, демонстрируется основной графический способ

описания структуры проектируемой системы в UML, то есть изображение набора статических, декларативных элементов модели. Оператор аккаунта, успешно пройдя авторизацию через интерфейс оператора, получает доступ к классам управления, таким как получение фотографий, связанным с видеоизмерительным комплексом, управление отчетом, обработка фотографий, связанным с ИНС, управление базой данных, связанным с БД.



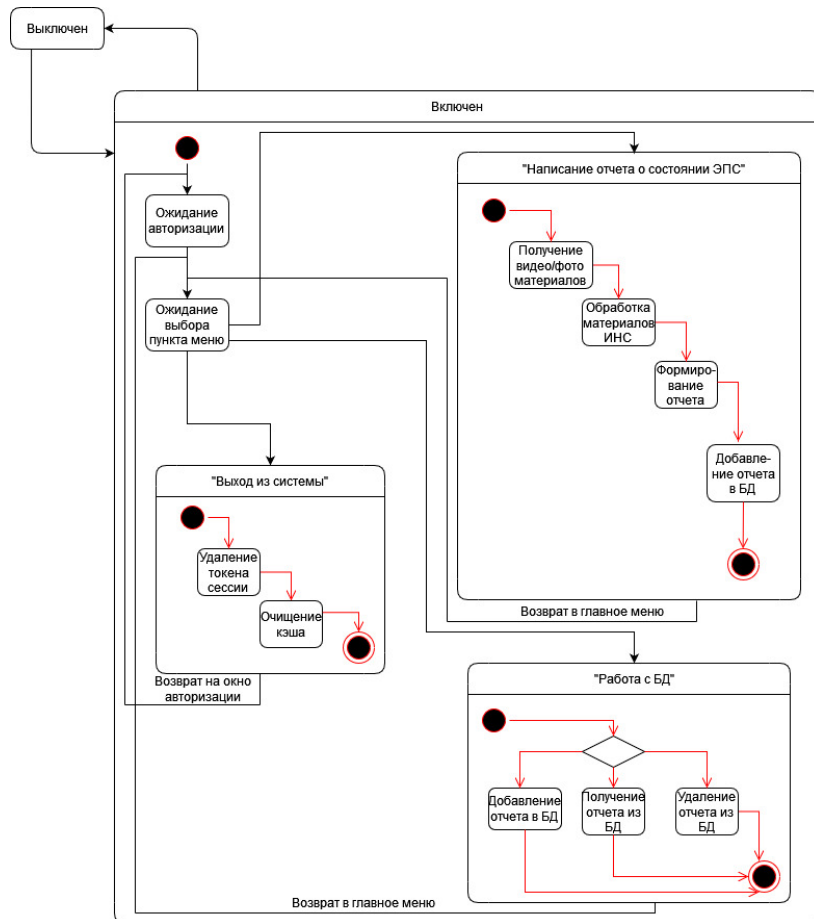


Рис. 6. Диаграмма состояний

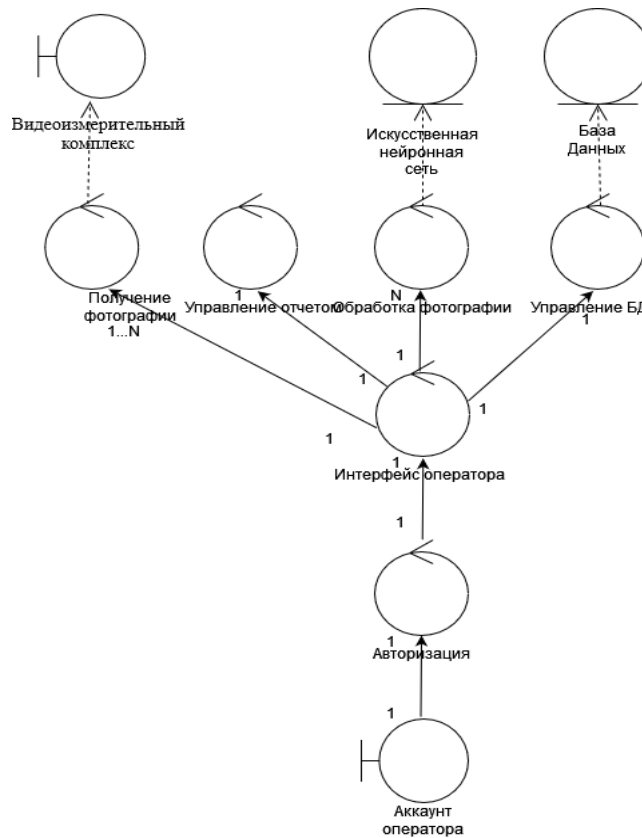


Рис. 7. Диаграмма основных классов

Для визуализации взаимосвязи между модулями (как физическими, так и логическими) была спроектирована диаграмма компонентов, так как это позволит наглядно отобразить взаимосвязи между модулями (рис. 8). Наиболее важным компонентом ИС будет являться клиентское приложение, с помощью которого оператор станции сможет взаимодействовать с другими компонентами, такими как локальный сервер, на котором собираются и обрабатываются полученные видеоматериалы, и база данных, которая используется для хранения полученных исходных и обработанных сервером данных и отчетов.

Теперь, когда описаны варианты использования ИС, смоделирована диаграмма деятельности на основе поведения, составлена диаграмма состояний и описана диаграмма компонентов, иллюстрирующая модули, используемые в системе, остается спроектировать диаграмму развертывания ИС для отображения узлов выполнения программных компонентов реального времени, а также процессов и объектов.

Для повышения надежности и отказоустойчивости разрабатываемой системы ее необходимо разделить на модули, показанные на диаграмме развертывания (рис. 9).

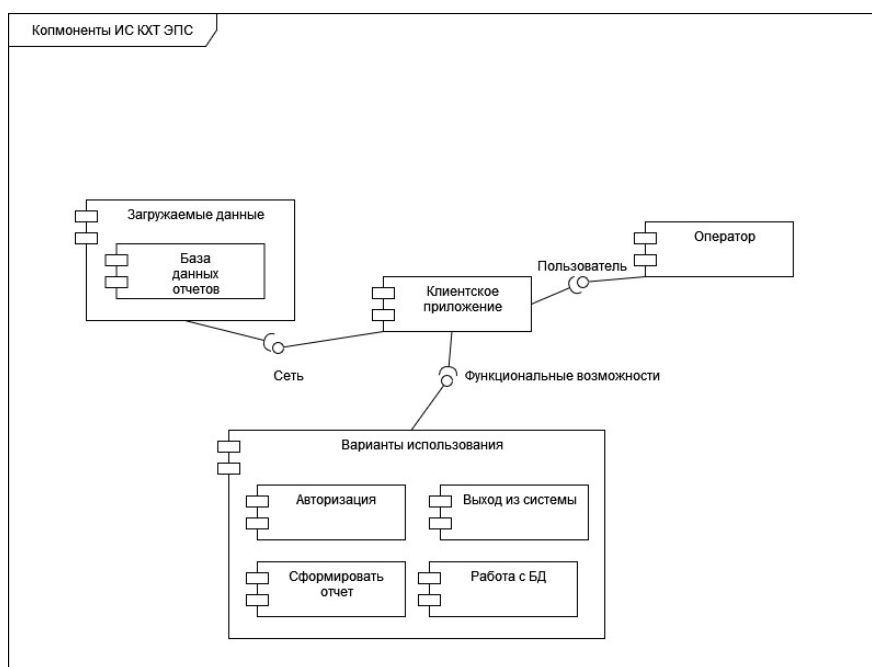


Рис. 8. Диаграмма компонентов

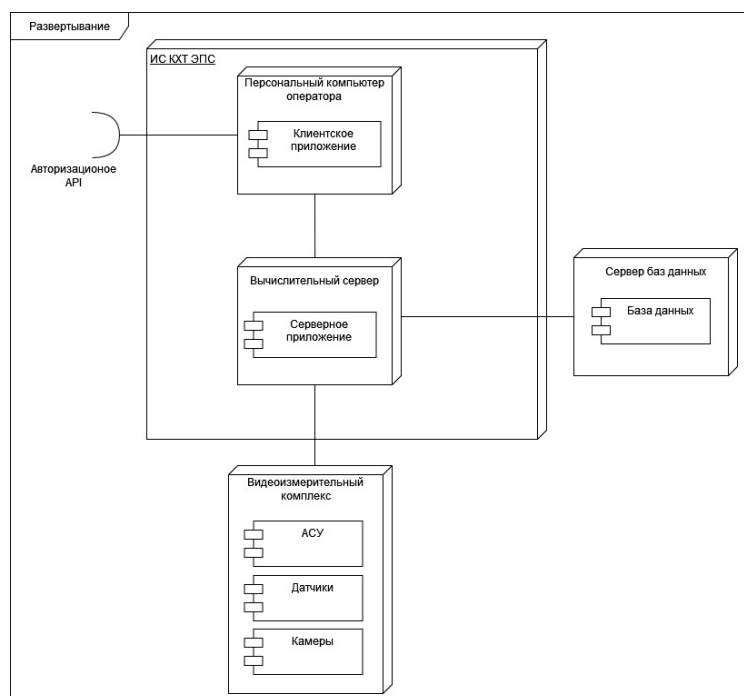


Рис. 9. Диаграмма развертывания ИС

Предполагается, что на территории станции будет расположен вычислительный сервер и один или несколько компьютеров с клиентским приложением, через которое пользователь будет проходить авторизацию через стороннее API, а также получать доступ к работе с сервером. Сервер, в свою очередь, будет получать фото- и видеоматериалы с видеоизмерительного комплекса, который находится при въезде на станцию, а также сохранять полученные данные в базу данных, находящуюся удаленно.

С использованием основных UML-диаграмм была спроектирована модель информационной системы контроля характеристик состояния поезда, позволяющая автоматизировать процесс диагностики и увеличить безопасность и надежность железнодорожной инфраструктуры. Дальнейшее исследование в рамках статьи будет посвящено анализу архитектуры и разработке алгоритма искусственной нейронной сети для решения задачи оценки износа токопроводящей детали токоприемника ЭПС.

#### ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНОСА ТОКОСЪЕМНИКА

Существует большое количество архитектур нейронных сетей, список их постоянно пополняется. Некоторые из наиболее известных и широко используемых архитектур ИНС:

- многослойные перцептроны (Multilayer perceptrons);
- сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks);
- рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks);
- автоэнкодеры (Autoencoders);
- генеративно-состязательные сети (Generative Adversarial Networks);
- сети долгой краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory Networks);
- трансформеры (Transformers);
- инвертированные нейронные сети (Inverted Neural Networks).

Каждая архитектура имеет свои уникальные особенности и подходит для решения различных задач в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

Для решения поставленной задачи необходимо применить методы искусственного интеллекта, в частности, технологии машинного обучения, которые позволяют на основе анализа данных определить вероятность возникновения неисправностей и разработать предиктивные модели обслуживания. В этом контексте выбор подходящей архитектуры нейронной сети является критически важным, поскольку именно от него зависит точность и эффективность модели. Далее будут рассмотрены некоторые архитектуры нейронных сетей, которые могут быть использованы для оценки износа токопроводящей детали и выбрана самая эффективная. Для оценки износа токопроводящей детали подвижного состава по фотографии подходят следующие архитектуры ИНС [13]:

1. Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN). Эта архитектура хорошо подходит для распознавания образов и может быть использована для анализа изображений токоприемников и определения их

состояния. CNN может обрабатывать большой объем данных и выдавать точный результат.

2. Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN). Этот тип ИНС хорошо подходит для анализа временных рядов данных. RNN может быть использована для анализа и прогнозирования изменений в состоянии токоприемников на основе фотографий. Однако данная архитектура может иметь трудности с обработкой больших объемов данных и столкнуться с следующими проблемами: медленный рост точности, значительное изменение градиента к концу обучения, даже если в начале его не было, а также то, что веса модели уменьшаются экспоненциально во время обучения и стремятся к нулю.

3. Сети долгой краткосрочной памяти (Long-Short Term Memory, LSTM). Это модификация RNN, которая позволяет обрабатывать длинные временные ряды данных и избегать проблемы затухания градиента. LSTM может использоваться для анализа и прогнозирования изменений в состоянии токоприемников на основе фотографий.

4. Глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks, DNN). Общее название для ИНС, имеющих несколько слоев. Глубокие нейронные сети могут использоваться для анализа фотографий и обработки большого объема данных, а также для анализа временных рядов данных.

Из приведенных выше архитектур CNN наиболее подходит для задачи определения износа токоприемника подвижного состава по фотографиям из-за способности автоматически извлекать и анализировать признаки из изображений [14].

CNN специально разработаны для обработки изображений и имеют несколько особенностей, которые делают их идеальными для решения этой задачи. Архитектура сверточных нейронных сетей состоит из слоев следующих типов:

- сверточные слои в CNN способны извлекать различные признаки изображения, такие как линии, углы, границы и другие характеристики, которые помогают в определении износа токоприемника;
- пулинг-слои уменьшают размер изображения и устраняют некоторые шумы, что помогает улучшить качество классификации;
- полносвязные слои выполняют окончательную классификацию.

CNN имеют несколько вариаций архитектур, но описанные ниже уравнения в полной мере применимы к любой сети прямого распространения.

Предположим, имеется нейронный слой в виде квадрата  $N \times N$ , за которым следует сверточный слой. Если использовать фильтр, тогда результат свертки будет иметь размер  $(N - m + 1) \times (N - m + 1)$ . Чтобы вычислить результат в некоторую единицу времени в имеющемся слое, необходимо суммировать результаты от ячеек предыдущего слоя:

$$x_{ij}^l = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} \omega_{ab} y_{(i+a)(j+b)}^{l-1},$$

где  $\omega$  — матрица размера  $m \times m$ ;

$x_{ij}^l$  — результат в некоторую единицу времени;

$y_{ij}^l$  — нелинейный выход сверточного слоя.

Затем сверточный слой реализует свою функцию активации:

$$y_{ij}^l = \sigma(x_{ij}^l),$$

где  $\sigma(x_{ij}^l)$  — нелинейная функция.

Пулинг-слои довольно просты и не обучаются сами по себе. Они берут некоторую область  $k \times k$  и выводят единственное значение, которое является максимальным в этой области. Например, если их входной слой представляет собой слой  $N \times N$ , затем они выведут слой  $\frac{N}{K} \times \frac{N}{K}$ , поскольку каждый блок  $k \times k$  сводится только к одному значению с помощью нахождения максимума функции.

Далее, подробно изучив выбранную архитектуру, необходимо разработать алгоритм работы сверточной нейронной сети для поставленной задачи, который может выглядеть следующим образом:

1. Сбор данных. Необходимо собрать достаточно большой набор изображений токоосъемников токоприемников, которые будут использоваться для обучения и тестирования модели. На каждом изображении должен быть четко виден токоприемник в разных ракурсах и с разными степенями износа.

2. Разметка данных. Каждое изображение из набора должно быть размечено по классам, соответствующим разным степеням износа. Например, если в задаче необходимо определить износ токоприемника по шкале от 1 до 10, то каждое изображение должно быть отнесено к одному из 10 классов в зависимости от степени износа.

3. Подготовка данных. Изображения должны быть подготовлены для обучения модели. Например, они могут быть приведены к одному размеру и масштабированы.

4. Обучение модели. Обучение модели начинается с инициализации весов нейронной сети. Далее на каждом этапе обучения модель будет получать на вход набор изображений и соответствующие им классы. Затем, используя метод обратного распространения ошибки, модель будет корректировать свои веса таким образом, чтобы минимизировать ошибку классификации.

5. Оценка модели. После завершения обучения модель должна быть оценена на тестовых данных, которые не использовались в обучении. Это позволит определить точность модели и насколько она способна обобщать знания на новые данные.

6. Применение модели. Когда модель обучена и протестирована, ее можно применять для определения степени износа токоприемника на новых изображениях. Для этого нужно передать изображение на вход модели, а на выходе получить предсказание, какому классу износа соответствует данный токоприемник.

7. Оценка результатов. Результаты, полученные с помощью модели, должны быть оценены и проанализированы. Если точность модели недостаточна высока, то можно попробовать улучшить ее путем изменения архитектуры сети, параметров обучения и других факторов.

После того как модель прошла этап обучения, она может быть использована для классификации изображений токоосъемников на новых данных. Алгоритм работы модели на новых данных выглядит следующим образом:

1. Получение нового изображения токоприемника, который нужно классифицировать.

2. Предварительная обработка изображения: изменение размера, нормализация, приведение к стандартному формату.

3. Передача обработанного изображения в модель CNN.

4. Модель CNN классифицирует изображение и определяет процент износа токоосъемника.

5. Вывод результата классификации, который может быть передан оператору станции или сохранен в базе данных.

Таким образом, сверточные нейронные сети являются лучшим выбором для определения износа токоосъемника токоприемника подвижного состава по фотографии, так как они позволяют автоматически извлекать и анализировать признаки изображений и уже достигли значительных успехов в распознавании и классификации объектов на основе изображений.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование сверточной нейронной сети для определения износа токоприемника на подвижном составе имеет несколько преимуществ перед традиционными методами контроля. Во-первых, сверточные нейронные сети могут обрабатывать большие объемы данных за короткий промежуток времени, что позволяет быстро выявлять дефекты и износ токоприемника. Во-вторых, нейронные сети могут обучаться на большом количестве изображений токоприемников различных типов и разных степеней износа, что увеличивает точность их работы. В-третьих, автоматизация процесса контроля с помощью нейронных сетей позволяет снизить риски человеческого фактора, так как они работают автономно с высоким качеством.

Реализация алгоритма со сверточной нейронной сетью для определения процента износа токоприемника подвижного состава представляется эффективным и перспективным подходом к контролю состояния элементов ЭПС, может помочь повысить качество обслуживания техники и железнодорожной инфраструктуры, что приведет к повышению безопасности и надежности железнодорожного транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герцензон, М. А. Контроль состояния подвижного состава железнодорожного транспорта: Монография / М. А. Герцензон, А. А. Тумашевич, А. А. Борисов. — Москва: Юрайт, 2016. — 240 с.

2. Карелин, А. С. Методы определения параметров токоприемника электропоезда: Монография / А. С. Карелин, Д. В. Дворецкий. — Москва: Изд-во Московского авиационного ин-та, 2017. — 142 с.

3. Михайлов, Г. С. Компьютерные технологии в транспортных системах: Учебное пособие / Г. С. Михайлов, Л. В. Шинкарева, О. А. Сорокина. — Москва: Изд-во МАДИ, 2017. — 204 с.

4. Фролова, С. Е. Архитектура системы автоматизированного распознавания единиц подвижного состава / С. Е. Фролова, А. В. Забродин // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 1 (25). С. 15–20.

DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-15-20.

5. Гусаров, В. М. Информационные технологии для управления подвижным составом: Учебное пособие / В. М. Гу-

саров, Е. В. Рубцова, В. А. Золотарев. — Москва: Изд-во Московского энергетического ин-та, 2013. — 223 с.

6. Замятина, Н. В. Контроль технического состояния электрифицированных железных дорог: Учебное пособие / Н. В. Замятина, В. И. Камаев. — Москва: Изд-во Московского энергетического ин-та, 2016. — 176 с.

7. Смердин, А. Н. Автоматизированная система диагностики состояния токоприемников электроподвижного состава на основе видеоизмерительного комплекса / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, С. Н. Найден // Известия Транссиба. 2012. № 2 (10). С. 103–109.

8. Синтез нейроподобной сети Хопфилда для решения систем линейных алгебраических уравнений / А. М. Барановский, С. Б. Силантьев, Х. Л. Смолицкий, М. Ф. Яфракков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1994. Т. 37, № 3-4. С. 47–51.

9. Adapted Model Neural-Like Hopfield Network and the Algorithm of Its Training for Finding the Roots Systems of Linear Algebraic Equations / A. P. Gluhov, A. M. Baranovskiy, Y. S. Fomenko, A. P. Bochkov // Artificial Intelligence in Intelligent Systems (CSOC 2021): Proceedings of the 10th Computer Science On-line Conference 2021 (Zlín, Czech

Republic, April 2021) / R. Silhavy (ed.). — Cham: Springer Nature, 2021. — Vol. 2. — Pp. 386–395. — (Lecture Notes in Networks and Systems; Vol. 229).

DOI: 10.1007/978-3-030-77445-5\_36.

10. Сивицкий, Д. А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (57). С. 33–41. DOI: 10.52170/1815-9265\_2021\_57\_33.

11. Liu, X. Research on the Train State Online Monitoring and Early Warning System Based on Neural Network / X. Lui, X. Zhang, Q. Tang // Journal of Computational Information Systems. 2014. Vol. 10, No. 8. Pp. 3429–3436.

12. Драгалин, А. Г. Искусственные нейронные сети. Основы теории. — Москва: Физматлит, 2015. — 352 с.

13. Ширяев, В. И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика: Учебное пособие. — Изд. 5-е, испр. — Москва: URSS: Книжный дом «Либроком», 2013. — 232 с.

14. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети: Учебник для вузов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 216 с. — (Высшее образование).

# The Model of Remote Monitoring System for Electric Rolling Stock Condition Using Artificial Neural Networks

V. S. Yazynin, PhD A. M. Baranovsky, PhD A. V. Zabrodin  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
vladimir.yazynin@inbox.ru, bamvka@mail.ru, zabrodin@pgups.ru

**Abstract.** The paper analyzes tools for automated monitoring of rolling stock, establishes requirements, and develops a model of information system to monitor the characteristics of the rolling stock. A number of artificial neural network architectures have been analyzed, and a convolutional neural network algorithm for determining the percentage of the rolling stock current collector wear on the basis of pictures has been proposed. The algorithm includes image preprocessing, creation of convolutional neural network model, its training and use for classification of new images.

**Keywords:** artificial neural networks, neural network technologies, information technologies, railway transport, remote monitoring.

## REFERENCES

1. Gertsenzon M. A., Tumashevich A. A., Borisov A. A. Control of rolling stock of railway transport: Monograph [Kontrol sostoyaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya]. Moscow, Urait Publishing House, 2016, 240 p.
2. Karelin A. S., Dvoretzky D. V. Methods of determining the parameters of electric train current collector: Monograph [Metody opredeleniya parametrov tokopriemnika elektropoezda: Monografiya]. Moscow, Moscow Aviation Institute, 2017, 142 p.
3. Mikhaylov G. S., Shinkareva L. V., Sorokina O. A. Computer technologies in transport systems: Study guide [Kompyuternye tekhnologii v transportnykh sistemakh: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2017, 204 p.
4. Frolova S. E., Zabrodin A. V. The Architecture of the System of Automated Recognition of Rolling Stock Units [Arkhitektura sistemy avtomatizirovannogo raspoznaniya edinit podvizhnogo sostava], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2021, No. 1 (25), Pp. 15–20. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-15-20.
5. Gusarov V. M., Rubtsova E. V., Zolotarev V. A. Information technologies for rolling stock management: Study guide [Informatsionnye tekhnologii dlya upravleniya podvizhnym sostavom: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 2013, 223 p.
6. Zamyatina N. V., Kamaev V. I. Monitoring the technical condition of electrified railroads: Study guide [Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 2016, 176 p.
7. Smerdin A. N., Golubkov A. S., Najden S. N. Automatized System for Diagnosis of State Pantograph Based on Computer Vision Complex [Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki sostoyaniya tokopriemnikov elektropodvizhnogo sostava na osnove videoizmeritelnogo kompleksa], *Journal of Transsib Railway Studies [Izvestiya Transsiba]*, 2012, No. 2 (10), Pp. 103–109.
8. Baranovsky A. M., Silantyev S. B., Smolitsky Kh. L., Yafrakov M. F. Synthesis of Hopfield Neuro-Like Network for Solving Systems of Linear Algebraic Equations [Sintez neyropodobnoy seti Khopfilda dlya resheniya sistem lineynykh algebraicheskikh uravneniy], *Journal of Instrument Engineering [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie]*, 1994, Vol. 37, No. 3-4, Pp. 47–51.
9. Gluhov A. P., Baranovskiy A. M., Fomenko Y. S., Bochkov A. P. Adapted Model Neural-Like Hopfield Network and the Algorithm of Its Training for Finding the Roots Systems of Linear Algebraic Equations. In: *Silhavy R. (ed.) Artificial Intelligence in Intelligent Systems (CSOC 2021): Proceedings of the 10th Computer Science On-line Conference 2021 (Zlin, Czech Republic, April 2021), Volume 2. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 229. Cham, Springer Nature, 2021, Pp. 386–395. DOI: 10.1007/978-3-030-77445-5\_36.
10. Sivitsky D. A. Experience Analysis and Using Prospects of Artificial Neural Networks on Railway Transport [Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey na zheleznodorozhnom transporte], *The Siberian Transport University Bulletin [Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2021, No. 2 (57), Pp. 33–41. DOI: 10.52170/1815-9265\_2021\_57\_33.
11. Liu X., Zhang X., Tang Q. Research on the Train State Online Monitoring and Early Warning System Based on Neural Network, *Journal of Computational Information Systems*, 2014, Vol. 10, No. 8, Pp. 3429–3436.
12. Dragalin A. G. Artificial neural networks. Fundamentals of theory [Iskusstvennye neyronnye seti. Osnovy teorii]. Moscow, Fizmatlit, 2015, 352 p.
13. Shiryaev V. I. Financial markets: Neural networks, chaos and nonlinear dynamics: Study guide [Finansovye rynki: Neyronnye seti, khaos i nelineynaya dinamika: Uchebnoe posobie]. Moscow, URSS Publishing Group, Librokom Book House, 2013, 232 p.
14. Rostovtsev V. S. Artificial neural networks: A textbook for universities [Iskusstvennye neyronnye seti: Uchebnik dlya vuzov]. Saint Petersburg, LAN Publishing House, 2023, 216 p.

# Использование метода Монте-Карло в имитационном моделировании экономических систем

д.э.н. Л. М. Божко

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

**Аннотация.** Изложена процедура проведения имитационного моделирования с помощью метода Монте-Карло. Рассмотрена история, суть метода, выделены его преимущества и недостатки. Представлены способы нивелирования недостатков метода Монте-Карло для получения достоверных результатов при моделировании. Проведен обзор применения метода для моделирования экономических систем. В качестве примера использования имитационного моделирования представлен расчет показателя эффективности инвестиционного проекта.

**Ключевые слова:** метод Монте-Карло, метод статистических испытаний, имитационное моделирование, имитационный метод, модель экономической системы, чистый дисконтированный доход, оценка инвестиционного проекта.

## ВВЕДЕНИЕ

В исследовании экономических систем эксперимент может проводиться как с реальной системой, так и с моделью этой системы. Во многих случаях проводить эксперимент на реальной системе (с реальным объектом управления) весьма сложно из-за дороговизны, экономического урона вследствие эксперимента, пространственных и временных ограничений. В таких случаях может использоваться модель системы, отражающая все важные ее элементы. Применение модели в эксперименте позволяет тестировать управленческие решения без риска причинения ущерба экономической системе. Использование имитационного моделирования в исследовании экономических систем не только оправдано отсутствием риска отрицательных последствий, но и необходимо для предупреждения таких последствий, оценки альтернативных вариантов управленческих решений и траекторий развития экономических систем. Путем имитации возможно предугадать параметры системы, формируемые под действием определяющих факторов, и заранее предпринять подготовительные меры.

С учетом изложенной значимости имитационного моделирования возникает необходимость обращаться к его методам. Целью исследования является изложение содержания одного из методов имитационного моделирования — метода Монте-Карло и рассмотрение возможностей его применения для экономических систем. Актуальность темы статьи обусловлена также высокой долей управленческих решений, принимаемых интуитивно (примерно 60 %), причем чем выше уровень решений (от оперативных к стратегическим), тем выше доля таких решений. Не снижая роли интуиции, точность которой оттачивается опытом, мастерством и талантом управленца, подчеркнем, что исследование финансово-экономических показателей,

основанное на реальных данных и результатах статистического моделирования, обеспечивает высокий уровень достоверности и сокращает затраты на получение реальных данных.

Опишем процедуру применения метода Монте-Карло, выделим преимущества его использования для исследования экономических систем, определим способы устранения недостатков метода для повышения качества его применения.

## ИСТОРИЯ И СУТЬ МЕТОДА

В методе Монте-Карло сложные вычисления заменены воздействием на изучаемый объект последовательности случайных событий. Название методу дано в честь одной из территорий Монако, которая прославилась игорными домами; рулетка в казино выступает генератором случайных чисел. Годом появления метода считается 1949-й, когда была опубликована статья Н. Метрополиса и С. Улама «Метод Монте-Карло» [1].

Поначалу метод Монте-Карло применялся для нахождения решений уравнения диффузии, которые использовались при разработке технологии обогащения урана. Метод получил широкое распространение с появлением быстродействующих вычислительных машин, ведь он построен на серии вычислений с использованием случайных чисел в модели для получения результата. В 70-х годах XX века метод применялся в нейтронной физике, а затем распространился на другие ее области, где задачи не могли быть решены с помощью традиционных математических методов.

Метод Монте-Карло — это численный метод, который основан на воспроизведении большого числа выполнения случайного процесса, специально созданного для условий решаемой задачи. Случайный процесс формируют так, чтобы его вероятностные характеристики (например, вероятность события, математическое ожидание) были равны наблюдаемым или же через них стало бы возможным вычислить искомые величины рассматриваемой задачи [2].

Метод статистических испытаний в общем случае включает [3]:

- моделирование случайных величин с заданным законом распределения;
- построение вероятностных моделей реальных систем;
- задачи статистической теории оценивания.

В процессе статистического моделирования производится серия частных значений искомых величин или функций, затем осуществляется их статистическая обработка, на основе которой получают сведения о реальных значениях. С увеличением количества испытаний полученные

значениях. С увеличением количества испытаний полученные результаты моделирования становятся статистически устойчивыми и могут приниматься в качестве оценок искомым показателем.

Области применения метода Монте-Карло — это задачи, в которых допускается теоретико-вероятностное описание.

#### ПРОЦЕДУРА, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МЕТОДА

Преимуществом у метода статистических испытаний довольно много, что позволяет использовать его для широкого круга задач исследования экономических систем. Вот некоторые из достоинств метода:

1. Адаптивность. Он может быть использован с любым распределением входных данных, в том числе с эмпирическим распределением, построенным путем наблюдения за экономической системой.

2. Простота и наглядность моделей. Модели учитывают только важные компоненты, состав которых может быть дополнен.

3. Возможность применения моделей исследования многокомпонентных систем. Например, сети Петри — удобный аппарат моделирования параллельных процессов, то есть процессов, протекающих независимо один от другого [4].

4. Учет различных воздействий. Экономическая система находится под влиянием окружения, многие ее внутренние и внешние факторы взаимосвязаны. Метод позволяет учитывать различные взаимосвязи, в том числе условные зависимости. Определить степень влияния фактора возможно путем анализа чувствительности.

5. Необходимая точность результатов. В силу влияния многих факторов, изначально не заложенных в модели, нельзя ожидать полного совпадения выходных данных модели и результатов функционирования реальной экономической системы. Однако можно добиться высокой точности результатов для оценивания функционирования системы и прогнозирования финансово-экономических показателей.

6. Доступность программного обеспечения метода. Использовать метод на практике можно с помощью относительно недорогих программных продуктов. Широкий круг задач для имитационного моделирования может быть решен в средах MS Excel, GPSS World.

При всех достоинствах метод не лишен недостатков. Перечислим основные из них и найдем способы устранения.

Во-первых, точность результатов зависит от количества выполняемых итераций (повторных действий по обработке данных без приведения к вызову самих себя). Недостаток устраняется за счет использования быстрого действия компьютера.

Во-вторых, неопределенность данных не всегда снимается введением выбранных распределений. Можно отбирать другие, более уместные для данных условий распределения, или же путем аналогии использовать данные, собранные по другой экономической системе.

В-третьих, для повышения достоверности результата могут быть использованы усложненные модели, что, в свою очередь, затрудняет их коррекцию и использование. Следует принимать в расчет влияние значимых факторов и

не перегружать модель, для работы со сложными моделями привлекать специалистов по моделированию.

В-четвертых, сложность и подвижность внешней среды функционирования экономической системы не позволяют учесть все многообразие влияющих факторов. Недооценка какого-либо, на взгляд исследователя, малозначимого фактора повлечет его игнорирование в модели, а впоследствии приведет к неверным результатам. Недостаток можно устранить привлечением экспертов к отбору значимых факторов, что также разделит ответственность за достоверность результата.

В-пятых, усложненная модель с большим количеством внутренних связей, что часто характерно для экономических систем, может приводить к неустойчивому решению в виде выходного показателя. Потребуется накопление больших массивов выходных данных. Можно облегчить модель за счет устранения малозначимых связей или установить их приоритет.

#### ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА В ЭКОНОМИКЕ И МЕНЕДЖМЕНТЕ

Как видим, метод Монте-Карло применим в решении задач, в которых результат зависит от случайных процессов. По этой причине рассматриваемый метод находит применение в экономике и финансовом менеджменте для составления экономических, инвестиционных прогнозов [5], инвестиционного анализа [6, 7], финансового планирования, в риск-менеджменте [8], при оценке затрат [9]. Техника применения часто сводится к вычислению множества значений, далее рассчитывается их среднее арифметическое, оно и становится искомым результатом. Или же по вычисленным значениям определяется диапазон данных, в области которого может находиться искомая величина.

В инвестиционном анализе задачей является оценить эффективность вложения средств, при этом используются статические и динамические методы оценки эффективности инвестиционных проектов. Динамические методы основаны на временной стоимости денег. При анализе инвестиционных проектов с использованием имитационного моделирования, как правило, генерируются случайные величины дохода, который будет получен в будущем [10].

Одним из таких показателей при динамической оценке эффективности инвестиционного проекта является чистый дисконтированный доход (NPV), который рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{CIF_j}{(1+R)^j} - Inv,$$

где  $n$  — общий полезный срок реализации проекта, годы;

$R$  — ставка дисконтирования;

$CIF_j$  — доход по проекту на шаге  $j$ , ден. ед.;

$Inv$  — величина инвестиций.

В формуле предполагается, что инвестиции совершены единовременно, в противном случае потребовалось бы также применить для их оценки коэффициент дисконтирования.

Чистый дисконтированный доход показывает сумму доходов по проекту на протяжении его полезного срока реализации, приведенных к моменту оценки (то есть дисконтированных).



На рисунке 1 приведен пример расчета в среде MS Excel чистого дисконтированного дохода при постоянных доходах в течение 8 лет. В ячейках столбца D ведены величины инвестиций (200 000 руб.) и постоянных доходов (40 000 руб.) по каждому шагу (году) инвестиционного проекта. Ставка дисконтирования (10 %) указана в долях. Фактор дисконтирования  $1/(1 + R)^i$  в ячейках столбца C определяется по формуле:  $[C5]=1/(1+\$C\$2)^B5$ .

Приведенная к настоящему времени величина доходов рассчитана как произведение фактора дисконтирования и получаемого дохода:  $[E5]=D5*C5$ .

Чистый дисконтированный доход за весь полезный срок реализации проекта равен сумме приведенных доходов и отрицательной величине инвестиций:  $[E8]=СУММ(E5:E13)$ .

	A	B	C	D	E
1					
2		Ставка дисконтирования	0,1		
3					
4		год	коэффициент дисконтирования	денежный поток (доход)	приведенная к настоящему времени оценка доходов
5		0	1	-200 000,00 Р	- 200 000,00 Р
6		1	0,909090909	40 000,00 Р	36 363,64 Р
7		2	0,826446281	40 000,00 Р	33 057,85 Р
8		3	0,751314801	40 000,00 Р	30 052,59 Р
9		4	0,683013455	40 000,00 Р	27 320,54 Р
10		5	0,620921323	40 000,00 Р	24 836,85 Р
11		6	0,56447393	40 000,00 Р	22 578,96 Р
12		7	0,513158118	40 000,00 Р	20 526,32 Р
13		8	0,46650738	40 000,00 Р	18 660,30 Р
14				NPV	13 397,05 Р
15					

Рис. 1. Моделирование расчета NPV при постоянных доходах

На рисунке 1 чистый дисконтированный доход равен 13 397,05 руб. за 8 лет.

Обычно в задачах по инвестиционному анализу предполагается, что доход будет постоянный. Однако в реалиях экономики такое маловероятно. На рисунке 2 представлено моделирование расчета чистого дисконтированного дохода при непостоянном денежном потоке.

	A	B	C	D	E
1					
2		Ставка дисконтирования	0,1		
3					
4		год	коэффициент дисконтирования	денежный поток (доход)	приведенная к настоящему времени оценка доходов
5		0	1	-200 000,00 Р	- 200 000,00 Р
6		1	0,909090909	35 000,00 Р	31 818,18 Р
7		2	0,826446281	36 000,00 Р	29 752,07 Р
8		3	0,751314801	38 000,00 Р	28 549,96 Р
9		4	0,683013455	44 000,00 Р	30 052,59 Р
10		5	0,620921323	41 000,00 Р	25 457,77 Р
11		6	0,56447393	42 000,00 Р	23 707,91 Р
12		7	0,513158118	55 000,00 Р	28 223,70 Р
13		8	0,46650738	52 000,00 Р	24 258,38 Р
14				NPV	21 820,56 Р
15					

Рис. 2. Моделирование расчета NPV при непостоянных доходах

Доходы на каждом шаге проекта зависят от доли на рынке, насыщенности рынка, уровня конкуренции, платежеспособности, стадии жизненного цикла товара и многих других факторов и потому, по сути, являются случайной величиной. Отсюда следует, что чистый приведенный доход в конкретной сфере бизнеса и в конкретном регионе может быть как выше (рис. 2), так и ниже, чем в модели с постоянным доходом на протяжении всего срока реализации проекта.

Накопление данных по доходам по аналогичным проектам позволит более точно определить величину приведенных доходов. Однако в задаче обнаруживается возможность использования метода Монте-Карло для определения ставки дисконтирования на основе данных о доходах по проекту. В примере расчеты произведены по известной ставке дисконтирования. Однако она может также меняться на протяжении полезного срока реализации проекта или же являться неизвестной величиной. Сгенерированные величины доходов позволяют решить обратную задачу: по приведенному доходу найти ставку дисконтирования.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод Монте-Карло за историю своего существования показал эффективность во многих отраслях знаний и имеет высокий потенциал использования для моделирования экономических систем. Метод при многих достоинствах не лишен недостатков, однако есть способы их преодоления и повышения достоверности результатов.

В условиях нестабильной экономической ситуации, когда требуется особенно тщательно взвешивать управленческие решения, метод Монте-Карло позволяет оценить варианты инвестирования и риски. Использование имитационного моделирования в анализе инвестиционных проектов позволяет генерировать случайные величины дохода по проекту и вычислить показатели эффективности проекта. Подобным образом могут быть рассчитаны и другие искомые величины показателей эффективности инвестиционных проектов (внутренняя норма доходности, дисконтированный срок окупаемости, дисконтированные индексы доходности). В исследованиях с использованием аппарата математической статистики могут быть рассчитаны показатели вариации дохода (и других величин) в совокупности данных. Расчет и оценка дисперсии экономического показателя также может стать задачей имитационного моделирования с помощью метода Монте-Карло.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безруков, А. И. Математическое и имитационное моделирование: Учебное пособие / А. И. Безруков, О. Н. Алексенцева. — Москва: ИНФРА-М, 2019. — 227 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник и практикум для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: Юрайт, 2023. — 538 с. — (Высшее образование: Математика в экономическом университете).
3. Иванус, А. И. Системные аспекты методов имитационного моделирования: Учебное пособие. — Москва: Прометей, 2020. — 148 с.
4. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: Учебное пособие. — Москва:

ИНФРА-М, 2022. — 254 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).

5. Фокин, И. В. Модель прогнозирования денежных потоков методом Монте-Карло для IT отрасли // *Цифровая экономика и финансы: Материалы Международной научно-практической конференции* (Санкт-Петербург, Россия, 17–18 марта 2022 г.). — Санкт-Петербург: Астерион, 2022. — С. 284–289.

6. Вардомацкая, Е. Ю. Имитационное моделирование инвестиционных рисков методом Монте-Карло / Е. Ю. Вардомацкая, П. С. Асоблева // *Материалы и технологии. 2022. № 1 (9). С. 50–57. DOI: 10.24412/2617-149X-2022-1-50-57.*

7. Голубенко, Е. В. Использование метода имитационного моделирования для диверсификации инвестиций в регионе / Е. В. Голубенко, В. В. Дегтярев, И. М. Магеррамов // *Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт–2022): Труды Международной научно-практической конференции* (Ростов-на-Дону, Россия, 25–27 апреля 2022 г.). — Т. 1. — Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2022. — С. 75–78.

8. Оценка ожидаемых кредитных убытков методом Монте-Карло / И. В. Торопова, Е. А. Перминов, Н. И. Попова, О. В. Котова // *Финансовый бизнес. 2022. № 3 (225). С. 94–98.*

9. Первун, О. Е. Технологии оценки затрат проекта методом Монте-Карло в среде программирования R // *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2022. № 2 (76). С. 149–154.*

DOI: 10.34771/UZCEPU.2022.2.76.030.

10. Грибанова, Е. Б. Имитационное моделирование экономических процессов. Практикум в Excel: Учебное пособие / Е. Б. Грибанова, И. Н. Логвин. — Москва: КНОРУС, 2022. — 228 с. — (Бакалавриат).

# Using the Monte Carlo Method in Simulated Modeling of Economic Systems

Grand PhD L. M. Bozhko

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
lemib@rambler.ru

**Abstract.** The article describes the procedure for simulating using the Monte Carlo method. The history and essence of the method are considered, its advantages and disadvantages are highlighted. Methods for leveling the disadvantages of the Monte Carlo method for obtaining reliable results in modeling are presented. A review of the use of the method for modeling economic systems was conducted. As an example of using simulation modeling, the calculation of the investment project performance indicator is presented.

**Keywords:** Monte Carlo method, statistical test method, simulation modeling, simulation method, economic system model, net present value, investment project evaluation.

## REFERENCES

1. Bezrukov A. I., Aleksentseva O. N. Mathematical and simulation modeling: Study guide [Matematicheskoe i imitatsionnoe modelirovanie: Uchebnoe posobie]. Moscow, INFRA-M, 2019, 227 p.
2. Kremer N. Sh. Probability theory and mathematical statistics: Textbook and practicum for universities [Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Uchebnik i praktikum dlya vuzov]. Moscow, Urait Publishing House, 2023, 538 p.
3. Ivanus A. I. System aspects of simulation methods: Study guide [Sistemnye aspekty metodov imitatsionnogo modelirovaniya: Uchebnoe posobie]. Moscow, Prometei Publishing House, 2020, 148 p.
4. Lychkina N. N. Simulation of economic processes: Study guide [Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov: Uchebnoe posobie]. Moscow, INFRA-M, 2022, 254 p.
5. Fokin I. V. Monte Carlo Cash Flow Prediction Model for IT Industry [Model prognozirovaniya denezhnykh potokov metodom Monte-Karlo dlya IT otrasli], *Digital Economy and Finance: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference [Tsifrovaya ekonomika i finansy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Saint Petersburg, Russia, March 17–18, 2022. Saint Petersburg, Assterion Publishing House, 2022, Pp. 284–289.
6. Vardomatskaya E. Yu., Asobleva P. S. Monte-Carlo Simulation of Investment Risks [Imitatsionnoe modelirovanie investitsionnykh riskov metodom Monte-Karlo], *Materials and Technologies [Materialy i tekhnologii]*, 2022, No. 1 (9), Pp. 50–57. DOI: 10.24412/2617-149X-2022-1-50-57.
7. Golubenko E. V., Degtyarev V. V., Maharramov I. M. Using Simulation Modeling for Diversification of Investments in the Region [Ispolzovanie metoda imitatsionnogo modelirovaniya dlya diversifikatsii investitsiy v regione], *Transport: Science, Education, Production (Transport 2022): Proceedings of the International Science and Practice Conference [Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo (Transport–2022): Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Rostov-on-Don, Russia, April 25–27, 2022. Volume 1. Rostov-on-Don, Rostov State Transport University, 2022. — Pp. 75–78.
8. Toropova I. V., Perminov E. A., Popova N. I., Kotova O. V. Estimation of Expected Credit Losses by the Monte Carlo Method [Otsenka ozhidaemykh kreditnykh ubytkov metodom Monte-Karlo], *Financial Business [Finansovyy biznes]*, 2022, No. 3 (225), Pp. 94–98.
9. Pervun O. E. Technology for Evaluation of Project Costs by the Monte Carlo Method in Programming Environment R [Tekhnologii otsenki zatrat proekta metodom Monte-Karlo v srede programmirovaniya R], *Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University [Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta]*, 2022, No. 2 (76), Pp. 149–154. DOI: 10.34771/UZCEPU.2022.2.76.030.
10. Gribanova E. B., Logvin I. N. Simulation of economic processes. Practicum in Excel: Study guide [Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov. Praktikum v Excel: Uchebnoe posobie]. Moscow, KnoRus Publishing House, 2022, 228 p.

# Сжатие спектра речевого потока путем передискретизации звуковых файлов

д.т.н. В. В. Егоров  
Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения  
Санкт-Петербург, Россия  
egorovrimr@mail.ru

д.т.н. С. А. Лобов  
Проектно-конструкторское  
бюро «РИО»  
Санкт-Петербург, Россия  
lsa\_rimr@mail.ru

д.т.н. В. А. Ходаковский  
Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
hva1104@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается задача максимально возможного сжатия цифрового речевого потока для его последующей передачи по узкополосному каналу связи при сохранении разборчивости речи после выполнения на приемной стороне процессов декомпрессии.

В отличие от известных методов сжатия звука с использованием вокодерных принципов, в работе предлагается использовать:

- сжатие спектра речи путем передискретизации;
- снижение динамического диапазона речевого потока;
- передачу в канал связи не отсчетов передискретизированного сигнала, а только значимых действительных и мнимых его компонент;
- упаковку 4-битных слов с информацией о действительных и мнимых компонентах сигнала в байтовый поток.

Декомпрессия принятого потока выполняется в обратной последовательности.

**Ключевые слова:** теорема отсчетов, компрессия и декомпрессия речевого потока, дискретизация и передискретизация сигнала.

## ВВЕДЕНИЕ

Задачи сжатия потоков данных, в том числе и аудиоданных, остаются актуальными в современных условиях. Вопросам описания методов и алгоритмов сжатия речевой информации посвящено в настоящее время много статей, например обширный обзор сделан в [1–4]. Большая часть предлагаемых методов сжатия заключается в использовании вокодерного принципа.

В данной работе предлагается не вокодерный принцип сжатия, а сжатие именно спектра речевого сигнала с целью упаковки его в полосу частот не шире одной и даже менее октавы. В частности, в экспериментах использовалась полоса частот 375–500 Гц.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СЖАТИЯ СПЕКТРА

Как известно, в соответствии с теоремой отсчетов Котельникова функция  $s(t)$ , имеющая спектр, ограниченный верхней граничной частотой  $f$ , может быть полностью восстановлена по ее  $m$  отсчетам  $U$ , выполненным с равномерным шагом, длительностью  $\tau = 1/(2f)$ :

$$s(t) = \sum_{k=0}^m U_k \times \text{sinc} \left[ 2 \times \pi \times f \times \left\{ t - \frac{k}{2 \times f} \right\} \right]. \quad (1)$$

Если функция (1) подвергается дискретизации частотой  $Fd$ , то непрерывное время  $t$  необходимо заменить на дискретный аналог:  $i/Fd$ , и в результате получим:

$$S_i = \sum_{k=0}^m U_k \times \text{sinc} \left[ 2 \times \pi \times f \times \left\{ \frac{i}{Fd} - \frac{k}{2 \times f} \right\} \right], \quad i = 0, 1, \dots, n - 1. \quad (2)$$

Один из авторов данной статьи в работах [5–7] изложил предположение, что теорема Котельникова может иметь и обратное толкование, когда мы по известной непрерывной функции с ограниченным спектром  $s(t)$ , хотим получить ее значительно более редкие отсчеты, которые полностью сохраняют всю информацию, содержащуюся в ней.

В такой интерпретации формулы (1) и (2) позволяют синтезировать непрерывный сигнал  $s(t)$  по заданному информационному вектору  $U$ , а формула (3) восстанавливает информационный вектор  $U$  по непрерывному сигналу  $s(t)$ .

В настоящей статье авторы предлагают еще одну интерпретацию теоремы Котельникова.

Если функция  $S$  уже подвергалась дискретизации частотой  $Fd$ , и известно, что она имеет спектр, ограниченный некоторой частотой  $f$ , причем  $f \ll Fd$ , то поставленную выше задачу можно решить с использованием преобразования (3), которое выполняет передискретизацию сигнала  $S$ :

$$U_k = \frac{4 \times f}{Fd} \times \sum_{i=0}^n S_i \times \text{sinc} \left[ 4\pi f \times \left\{ \frac{i}{Fd} - \frac{k}{2 \times f} \right\} \right], \quad k = 0, 1, \dots, m - 1, \quad (3)$$

где  $f$  — половина новой частоты дискретизации;  
 $Fd$  — частота дискретизации преобразуемого сигнала;  
 $S$  — преобразуемый сигнал (вектор размерности  $n$ );  
 $U$  — выходной сигнал (вектор размерности  $m$ );  
 $\text{sinc } x = (\sin x) / x$ .

Таким образом, если исходный сигнал  $S$  имел  $n$  отсчетов при частоте дискретизации  $Fd$ , то после передискретизации формируется сигнал  $U$ , имеющий  $m$  отсчетов при частоте дискретизации  $2f$ , значит, будет иметь место сжатие информационного объема вектора  $S$  до объема вектора  $U$ .

Здесь, однако, следует отметить, что степень сжатия как отношение  $n/m$ , или  $Fd/f$  не может быть слишком высокой, поскольку при очень низкой частоте дискретизации  $2f$  будет иметь место высокая потеря информации, которая может привести к потере разборчивости речи. Это следует из теоремы Котельникова, поскольку для

сигнала с верхней граничной частотой  $f$  требуется выполнить не менее двух отсчетов на периоде, т. е. использовать частоту дискретизации  $2f$ . С точки зрения эффективного сжатия речевого потока необходимо выяснить, при какой частоте дискретизации разборчивость речи останется достаточной.

ОПИСАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО СЖАТИЮ ПОТОКА

Для вычислительных экспериментов была выбрана среда Mathcad 14, поскольку в ее библиотеке встроенных функций имеются средства для синтеза звуковых файлов РСМ (англ. *pulse code modulation* — импульсно-кодовая модуляция) с расширением \*.wav. В качестве средства воспроизведения звуковых файлов использовалось свободно распространяемое приложение Audacity 2.4.2, в котором имеется широкий набор средств обработки звука.

Используя указанные средства, было решено провести несколько вычислительных экспериментов с целью выяснения какой может быть наименьшая частота дискретизации речевого потока при выполнении ограничения по разборчивости получаемого речевого сигнала. В результате

этих экспериментов было выяснено, что при частоте дискретизации 1 000 Гц разборчивость речевого потока может быть вполне приличной.

Для высококачественного звукового сигнала РСМ стандартной частотой дискретизации считается 44 100 Гц с числом уровней квантования амплитуды 16 бит при двух каналах, однако для передачи такого сигнала по радиоканалу потребуется слишком высокая скорость передачи информации, поэтому для экспериментов выбрана одноканальная 8-битная запись с частотой дискретизации 8 000 Гц, что несколько превышает требования Теоремы отсчетов для канала тональной частоты (ТЧ) с диапазоном 300–3 400 Гц.

Для вычислительных экспериментов был выбран короткий фрагмент речевого потока (исходная частота дискретизации  $Fd = 8\,000$  Гц, длительность  $t = 4,8$  с, общее число отсчетов  $n = 39\,002$ , размерность файла 38,1 Кб). На рисунке 1 приведена его амплитудно-временная зависимость, а на рисунке 2 — спектрограмма.

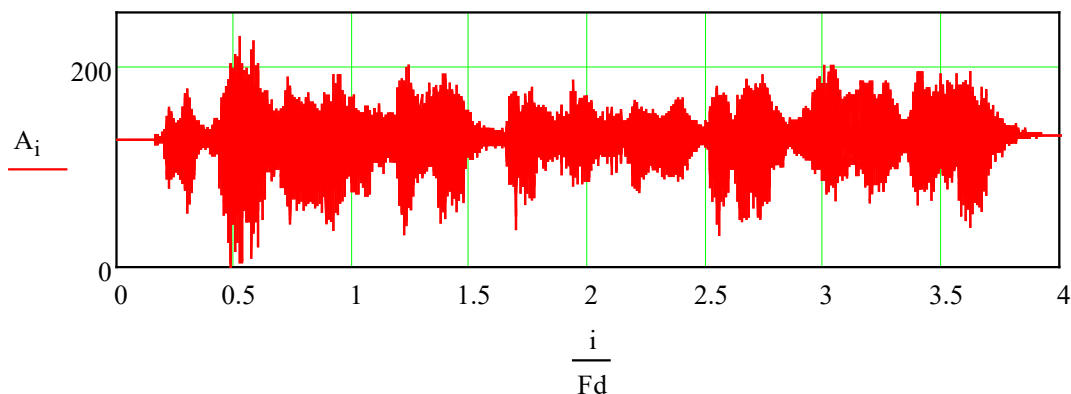


Рис. 1. Исходный 8-битный РСМ речевого сигнала

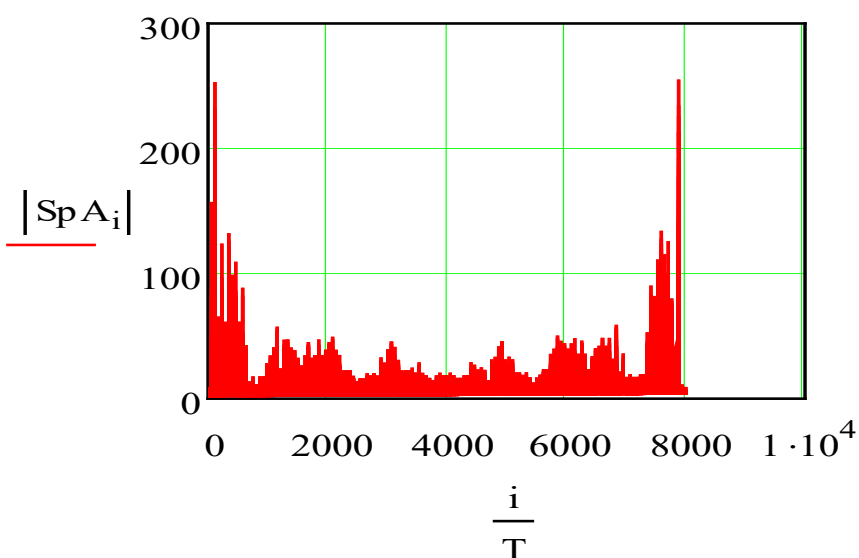


Рис. 2. Спектр 8-битного речевого сигнала

Из анализа рисунка 2 видно, что ширина спектра потока составляет 8 000 Гц, причем спектр имеет симметричный характер относительно частоты 4 000 Гц, что является половиной частоты дискретизации. Характер спектра позволяет сделать вывод о том, что в результате дискретизации имеет место амплитудная модуляция относительно поднесущей частоты, равной половине частоты дискретизации — 4 000 Гц, т. е. речевой поток в данном примере имеет полосу 0–4 000 Гц.

В соответствии с указанным в начале статьи алгоритмом обработки данных, исходный сигнал (рис. 1) подвергался линейному преобразованию вида (3), результат которого приведен на рисунке 3, а его спектрограмма — на рисунке 4. Причем в преобразовании (3) в качестве исходной частоты дискретизации применялась частота  $Fd = 8\,000$  Гц, а новая частота дискретизации принималась равной  $2f = 1\,000$  Гц.

На рисунке 3 видно, что характер изменения огибающей сигнала полностью соответствует исходному сигналу, но имеет в 8 раз меньшее число временных отсчетов (4 875 против 39 002 в исходном потоке). Для проверки разборчивости полученного речевого потока сигнал с использованием встроенной функции среды Mathcad 14 WRITEWAV(“e:/Prov.wav, 1200, 8”) выводился для прослушивания на звуковую карту. Здесь следует отметить, что частота дискретизации в выходной функции writewav(“\_”, 1200, 8) устанавливалась равной 1 200 Гц при числе уровней квантования амплитуды 8 бит.

Результаты оказались очень обнадеживающими, поскольку разборчивость речи оказалось хорошей и можно было даже узнать голос диктора. В результате выполненных преобразований был получен битрейт 8 000 бит/с (полученный файл Prov.wav имел размерность 4,8 Кб против 38,1 Кб у исходного файла).

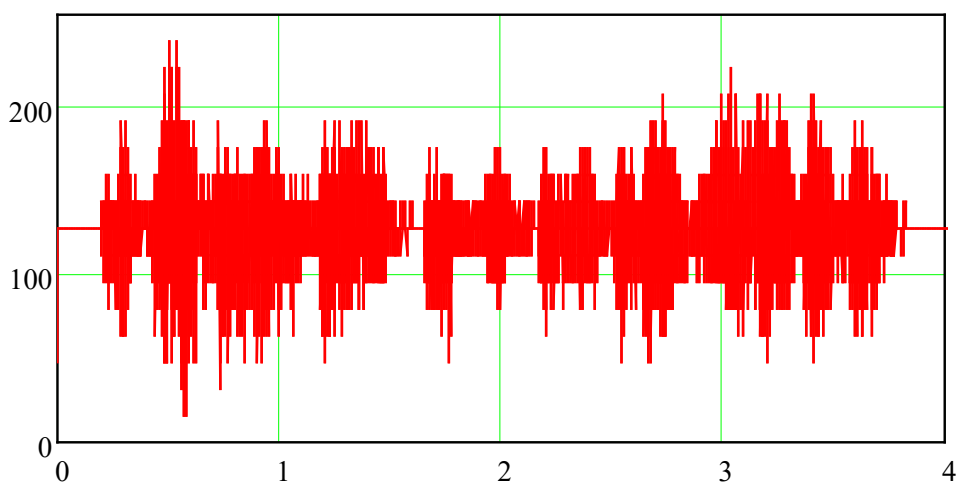


Рис. 3. Сигнал после передискретизации и снижения динамического диапазона до 4 бит (16 уровней), общее число отсчетов  $n1 = 4\,875$

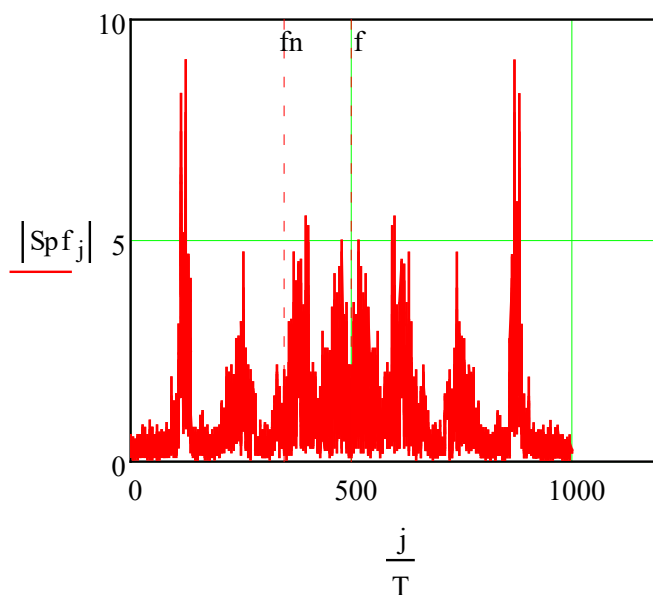


Рис. 4. Спектр сигнала после передискретизации частотой 1 000 Гц

Из анализа спектрограммы на рисунке 4 видно, что ширина спектра потока снизилась до 1 000 Гц, причем спектр имеет симметричный характер относительно частоты 500 Гц, что является половиной новой частоты дискретизации. Характер спектра позволяет сделать вывод о том, что в результате передискретизации имеет место амплитудная модуляция относительно поднесущей частоты, равной половине частоты дискретизации — 500 Гц, а полоса спектра модулирующего сигнала составила 500 Гц против исходных 4 000 Гц, т. е. имеет место сжатие спектра в 8 раз.

Поскольку разборчивость оказалась хорошей, авторами было решено продолжить эксперименты по сжатию в соответствии с назначенным алгоритмом. Необходимо было выделить значимую часть спектра, приведенного на рисунке 4. Было принято решение в качестве нижней границы полосы анализа принять частоту  $fn = 375$  Гц, а в качестве верхней границы  $f = 500$  Гц.

В результате из общей размерности вектора спектральных чисел, равного 4 875, были выделены 732 действительных и 732 мнимых спектральных числа, причем их динамический диапазон снижен с 8 до 4 бит. Выделенные 732 комплексных спектральных числа соответствовали частотам обрабатываемого диапазона 732–500 Гц, а остальные спектральные числа обнулялись, что позволило сжать поток еще в 6,6 раза, т. е. общий коэффициент сжатия составил 52 раза.

Поток байтов представлял из себя 732 4-битных слова с действительными компонентами спектра и столько же слов с мнимыми компонентами, что в результате кодирования реализовано в виде 732 8-битных слов.

На рисунке 5 приведена спектрограмма действительных спектральных чисел, а на рисунке 6 — мнимых спектральных чисел.

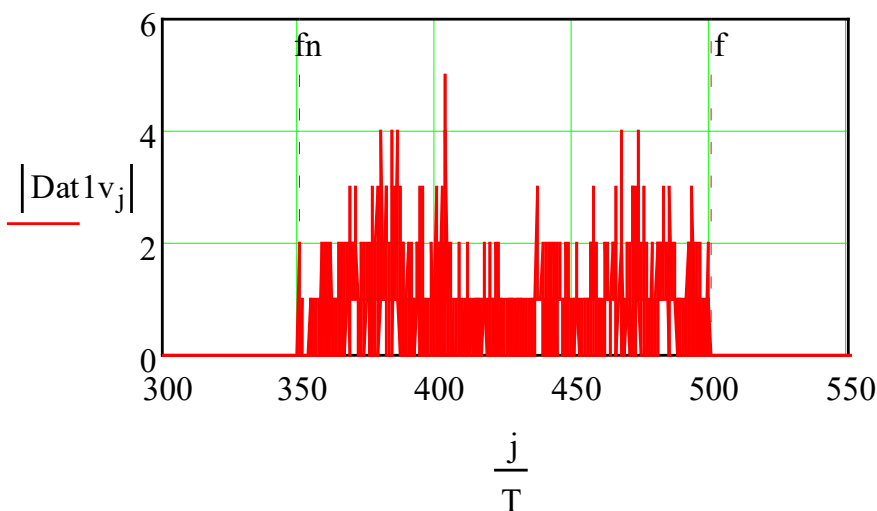


Рис. 5. Действительные спектральные числа, содержащие основную информацию о принятом речевом потоке

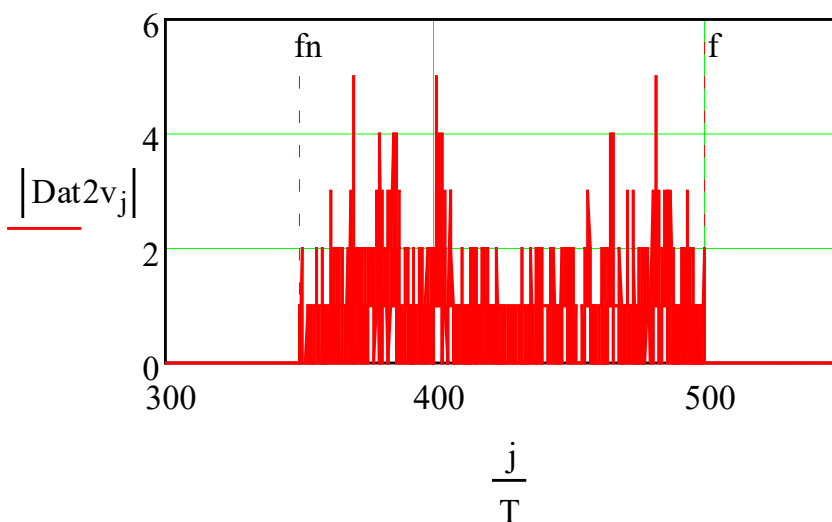


Рис. 6. Мнимые спектральные числа, содержащие основную информацию о принятом речевом потоке

В результате упаковки получился поток из 732 байтов, которые содержат информацию о звуковом файле длительностью 4,875 с, то есть битрейт составил  $732 \times 8 / 4,875 = 1\,200$  бит/с. Данные передавались в файл с использованием функции Mathcad 14:

$$\text{WRITEBIN}("e/Frazy\_5.dat","byte",0)=U. \quad (4)$$

Битрейт 1 200 бит/с является очень неплохим результатом и может быть использован в цифровых узкополосных каналах связи.

Следует также отметить, что поток из 732 байтов, содержащих всю информацию о звуковом фрагменте, звучащем 4,875 с, может быть подвергнут сжатию методом оптимального кодирования по Хаффману или Шеннону, что дополнительно обеспечит сжатие не менее чем в 2 раза.

На рисунке 7 представлена гистограмма вероятностей значений уровней в файле (4).

Из графика видно, что 36 % значений содержат информацию об уровне «128», что для 8-уровневого PCM

соответствует «0» и еще по 18 % приходится на два ближайших уровня, т. е. около 70 % из переданных значений соответствуют всего трем уровням из 256, что и говорит о возможности сжатия такого цифрового потока.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАСПАКОВКЕ

Поток 8-битных слов распаковывался в два 4-битных потока, затем по действительной и мнимой компонентам формировался комплексный спектр, который дополнялся нулями. В результате был восстановлен полный спектр, состоящий из 4 875 спектральных чисел. Указанный восстановленный спектр приведен на рисунке 8.

Путем применения обратного преобразования Фурье восстановленный спектр преобразовывался во временной сигнал, представленный на рисунке 9.

В соответствии с алгоритмом обработки после восстановления сигнала во временной области производилось восстановление исходной частоты дискретизации 8 000 Гц с коэффициентом 1,4, т. е. с  $Fd = 10\,400$  Гц с использованием преобразования (1) (рис. 10).

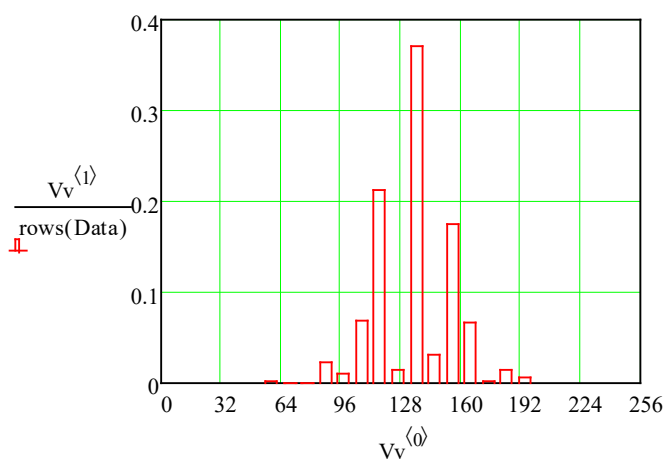


Рис. 7. Гистограмма вероятностей значений уровней в сжатом файле

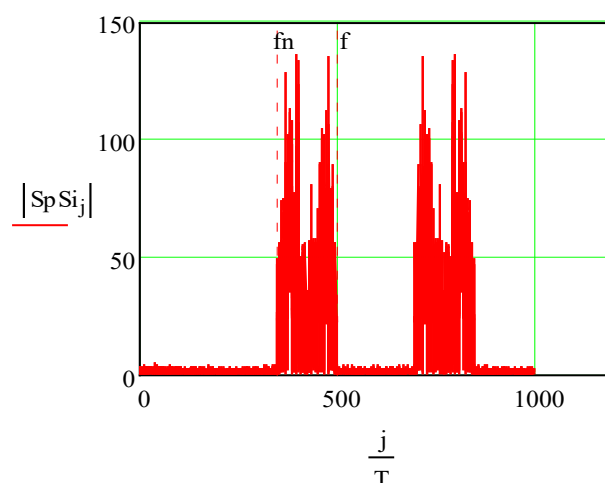


Рис. 8. Восстановленный спектр  $fn = 375$  Гц,  $f = 500$  Гц

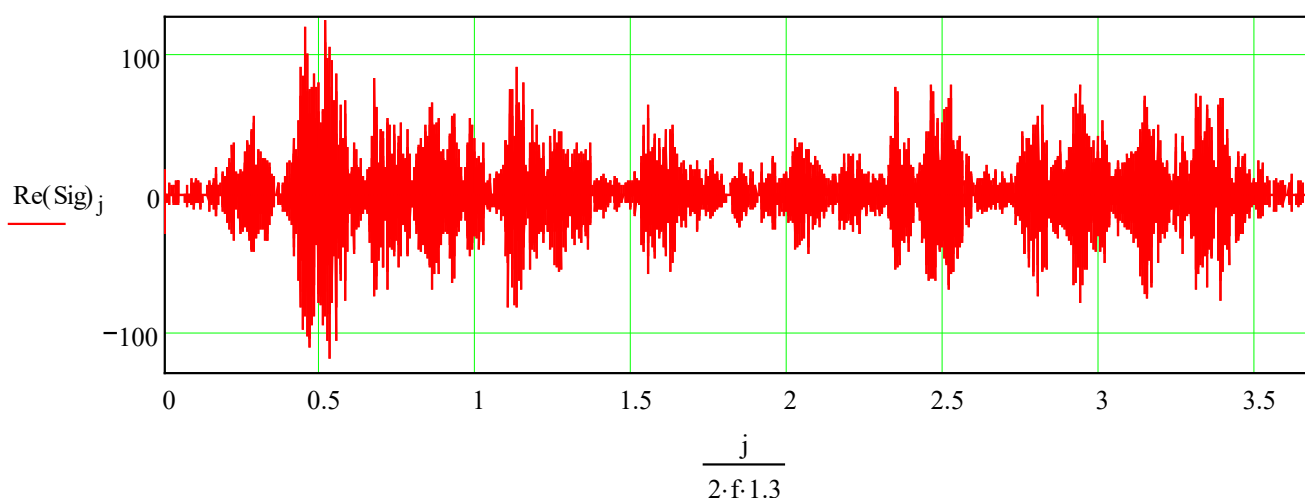


Рис. 9. Восстановленный сигнал при частоте дискретизации 1 300 Гц



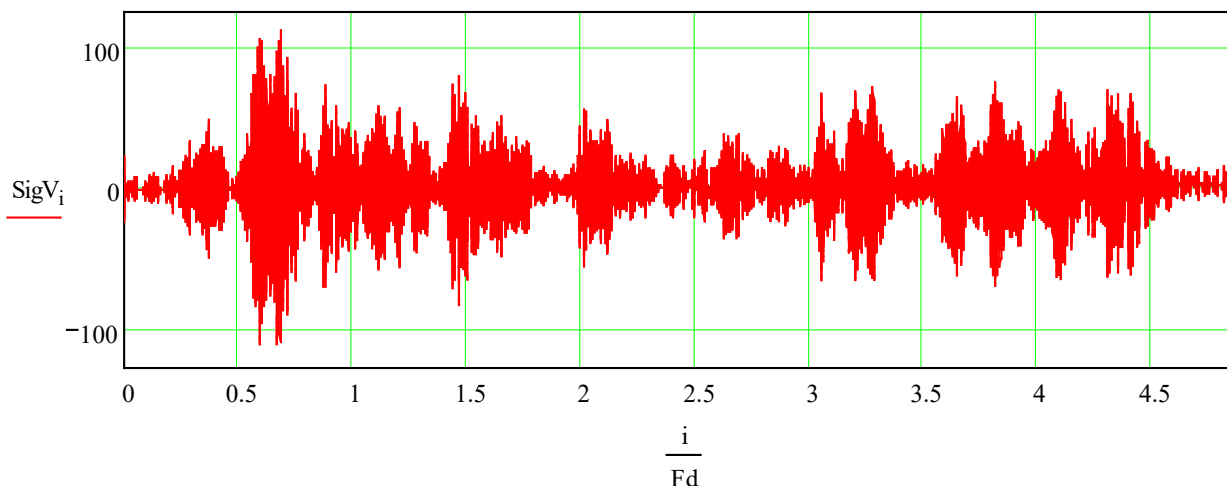


Рис. 10. Восстановленный сигнал после возврата к исходной частоте дискретизации с повышением до 10 400 Гц для восстановления исходного темпа речи

Затем для прослушивания результатов восстановления вызывалась функция записи звукового файла

```
WRITEWAV("e:/Prov_8_V.wav",Fd*1.4,8):=SigV+27.
```

Результаты прослушивания восстановленного звукового фрагмента позволили сделать убедительный вывод о достаточной разборчивости речи для ее восприятия.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача, поставленная авторами, о возможности существенного сжатия звуковых файлов за счет передискретизации оказалась успешно реализуемой. В ходе экспериментов достигнуто сжатие в 8 раз за счет снижения частоты дискретизации и в 6,7 раза за счет передачи только значимых комплексных коэффициентов преобразования Фурье, что обеспечило общий коэффициент сжатия речи более 50 и возможность устойчивой передачи речи по узкополосному каналу связи с канальной скоростью 1 200 бит/с без использования методов оптимального кодирования битовых потоков.

В ходе проведенных экспериментов удалось выяснить, что можно одновременно заметно сжать полосу формируемого речевого потока и снижать динамический диапазон с 45 до 18 дБ, т. е. вместо 8-битного сигнала РСМ использовать 4-битное квантование уровней сигнала.

Анализ результатов эксперимента показал, что за счет использования оптимального кодирования можно еще повысить коэффициент сжатия звуковых файлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Подвальный, С. Л. Обзор методов и алгоритмов сжатия речевой информации в системах цифровой радиосвязи / С. Л. Подвальный, А. Д. Рошупкин // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13, № 2. С. 7–13.

2. Рабинер, Л. П. Цифровая обработка речевых сигналов = Digital processing of speech signals / Л. П. Рабинер, Р. В. Шафер; пер. с англ. под ред. М. В. Назарова и Ю. Н. Прохорова. — Москва: Радио и связь. Редакция литературы по электросвязи, 1981. — 496 с.

3. Flanagan, J. L. Source-System Interactions in the Vocal Tract / J. L. Flanagan // Annals of the New York Academy of Science. 1968. Vol. 155, Is. 1. Pp. 9–17. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1968.tb56744.x.

4. Wang, C. Robust Pitch Tracking for Prosodic Modeling in Telephone Speech / C. Wang, S. Seneff // Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), (Istanbul, Turkey, 05–09 June 2000). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000. — Vol. 3. — Pp. 1343–1346. DOI: 10.1109/ICASSP.2000.861827.

5. Ходаковский, В. А. О теореме отсчетов и ее применении для синтеза и анализа сигналов с ограниченным спектром / В. А. Ходаковский, В. Г. Дегтярев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, № 3. С. 562–573.

6. Ходаковский, В. А. Теорема отсчетов и обратное ее толкование для анализа сигналов с ограниченным спектром // Проблемы математической и естественнонаучной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 03 ноября 2016 г.) / под ред. В. А. Ходаковского. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — Т. 2. — С. 135–147.

7. Ходаковский, В. А. Синтез многополосного фильтра с требуемой частотной характеристикой / В. А. Ходаковский, Т. В. Ходаковский // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 1. С. 38–42.

# Compression of the Speech Stream Spectrum by Resampling Sound Files

Grand PhD V. V. Egorov  
Saint Petersburg State University  
of Aerospace Instrumentation  
Saint Petersburg, Russia  
egorovrimr@mail.ru

Grand PhD S. A. Lobov  
Design and Construction  
Bureau «RIO»  
Saint Petersburg, Russia  
lsa\_rimr@mail.ru

Grand PhD V. A. Khodakovskiy  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
hva1104@mail.ru

**Annotation.** In this paper, we consider the problem of the maximum possible compression of the digital speech stream for its subsequent transmission over a narrow-band communication channel while maintaining speech intelligibility after decompression processes are performed on the receiving side. In contrast to the known methods of sound compression using vocoder principles, it is proposed to use: compression of the speech spectrum by resampling; reduction of the dynamic range of the speech stream; transmission to the communication channel of not samples of the oversampled signal, but only significant real and imaginary components of it; packing 4-bit words with information about the real and imaginary components of the signal into a byte stream. Decompression of the received stream is performed in the reverse sequence.

**Keywords:** sampling theorem, compression and decompression of the speech stream, sampling and resampling of the signal.

## REFERENCES

1. Podvalny S. L., Roshupkin A. D. Review of Methods and Algorithms of Speech Information Compression in Digital Communication Systems [Obzor metodov i algoritmov szhatiya rechevoy informatsii v sistemakh tsifrovoy radiosvyazi], *Bulletin of Voronezh State Technical University [Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]*, 2017, Vol. 13, No. 2, Pp. 7–13.
2. Rabiner L. R., Schafer R. W. Digital processing of speech signals [Tsifrovaya obrabotka rechevykh signalov]. Moscow, Radio and Communications Publishing House, 1981, 496 p.
3. Flanagan J. L. Source-System Interactions in the Vocal Tract, *Annals of the New York Academy of Science*, 1968, Vol. 155, Is. 1, Pp. 9–17.  
DOI: 10.1111/j.1749-6632.1968.tb56744.x.
4. Wang C., Seneff S. Robust Pitch Tracking for Prosodic Modeling in Telephone Speech, *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Istanbul, Turkey, June 05–09, 2000. Volume 3.* Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000, Pp. 1343–1346. DOI: 10.1109/ICASSP.2000.861827.

5. Khodakovskiy V. A., Degtyarev V. G. On Sampling Theorem and Its Application for The Puposos of Synthesis and Analysis of Band-Limited Signals [O teoreme otschetov i ee primenenii dlya sinteza i analiza signalov s ogranichennym spektrom], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2017, Vol. 14, No. 3, Pp. 562–573.

6. Khodakovskiy V. A. The Sampling Theorem and Its Reverse Interpretation for the Analysis of Signals with a Limited Spectrum [Teorema otschetov i obratnoe ee tolkovanie dlya analiza signalov s ogranichennym spektrom], *Problems of Mathematical and Natural Science Training in Engineering Education: Proceedings of the IV International Scientific and Methodological Conference [Problemy matematicheskoy i estestvennonauchnoy podgotovki v inzhenernom obrazovanii: Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, Saint Petersburg, Russia, November 03, 2016. Volume 2. St. Petersburg, PSTU, 2017, Pp. 135–147.

7. Khodakovskiy V. A., Khodakovskiy T. V. Synthesis of Multi-Band Digital Filter with Demand of Frequency Characteristic [Sintez mnogopolosnogo filtra s trebuemoy chastotnoy kharakteristikoy], *Intellectual Technologies on Transport [Intelektualnye tekhnologii na transporte]*, 2015, No. 1, Pp. 38–42.

# Очная и смешанная очно-дистанционная формы подготовки бакалавров направления ИВТ в ПсковГУ: результаты и сравнения

д.т.н. П. В. Герасименко

Петербургский государственный университет путей  
сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
pv39@mail.ru

д.т.н. С. М. Вертешев

Псковский государственный университет  
Псков, Россия  
president@pskgu.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ качества знаний двух групп бакалавров направления «Информатика и вычислительная техника» Псковского государственного университета, проходивших обучение в разные периоды времени: до возникновения пандемии и при ее развитии. Первая группа студентов, поступивших в вуз в 2015 году, проходила обучение очно, а вторая, набранная в 2018 году, проходила обучение по смешанной очно-дистанционной форме.

Исследование качества знаний проведено по средним семестровым оценкам математических, общинженерных и специальных дисциплин. Последовательности оценок рассматривались как динамические ряды. С помощью построенных автокорреляционных функций установлено наличие в них тренда и циклических колебаний. Сравнительный анализ рядов экзаменационных оценок установил, что качество знаний бакалавров направления «Информатика и вычислительная техника» по общинженерным и специальным дисциплинам, как в период очного, так и смешанного обучения, не имеет существенных отличий.

Полученные результаты дают обоснование для формирования эффективных вариантов учебного процесса. Работа может представлять интерес для работников университетов, которые связаны с разработкой новых образовательных программ и с планированием учебных занятий в условиях цифровизации общества. Новизна работы обусловлена уникальностью ситуации, которая сложилась в российской системе образования в настоящее время.

**Ключевые слова:** математические дисциплины, ЕГЭ, регрессия, элементарная и высшая математика, корреляция.

## ВВЕДЕНИЕ

Пандемия коронавируса COVID-19 в период с 2018 по 2021 годы оказала огромное влияние на организацию и проведение учебного процесса в вузах. Многие вузы вынуждены были проводить занятия как в дистанционной, так и в смешанной очно-дистанционной форме. В связи с этим возникла необходимость сравнить уровень знаний, сформированных дистанционно и достигнутых при очной подготовке. Положительный опыт позволит при необходимости осуществлять перевод части обучения в цифровой формат и обеспечивать в дальнейшем более гибкое персонализированное и эффективное обучение.

В вузах интегральная комплексная характеристика образовательного процесса в виде оценки в баллах выражает степень ее соответствия образовательным стандартам и является одним из показателей качества приобретенных знаний студентами [1]. Качество знаний выпускника вуза после окончания обучения определяется сформированным

широким кругозором, фундаментальностью, глубиной и профессиональной востребованностью [2]. Оценки в баллах характеризуют степень полученной научно-практической информации, необходимой для применения в конкретных условиях при достижении конкретных целей разных направлений [3–8]. Поэтому они могут служить в виде критериев сравнения качества обучения студентов, достигнутого ими при очной и смешанной очно-дистанционной их форме.

Как известно, на качество обучения студентов большое влияние оказывают так называемые базовые дисциплины, обеспечивающие фундаментальную подготовку будущих специалистов. В технических вузах огромная роль принадлежит математическим дисциплинам, которые занимают ведущее место в числе базовых [7–11].

Известно, что образовательная сфера в деятельности человека является одной из самых консервативных, а следовательно, приступая к ее реформированию надлежит многократно оценить ее будущий успех. В России трансформация математической подготовки, как и всего образования, началась с внедрением болонских соглашений в 2003 году благодаря присоединению страны к международному образовательному движению. Ее реформаторы были уверены в успехе, а потому без должного основания возлагали надежду найти и освоить все лучшее и прогрессивное из накопленного зарубежным высшим образованием.

К сожалению, организаторы внедрения новой системы оценки рисков не провели, а посчитали, что в Советском Союзе обучение в школе и высшее образование в вузе находились на более низком уровне в сравнении с зарубежным. Для них было недостаточным аргументом то, что именно выпускники советских школ и вузов первыми в мире уже 30 лет осваивали космос и строили, в том числе за рубежом, атомные электростанции. Учитывая эти достижения, в большинстве вузов страны многие лучшие традиции советской школы продолжают сохранять даже в условиях распространения пандемии коронавируса.

Цель настоящей работы направлена на проведение сравнительного анализа качества знаний, полученных бакалаврами направления «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ) Псковского государственного университета (ПсковГУ), которые были приняты в вуз в 2018 году и частично проходили обучение по смешанной очно-дистанционной форме в период пандемии, и студентами очного обучения набора 2015 года.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ  
С ПОМОЩЬЮ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ СРЕДНИХ ОЦЕНОК  
ИЗУЧЕННЫХ ДИСЦИПЛИН ДО И ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ

Направление ИВТ относится к одному из направлений современных информационных технологий. Оно совмещает в себе знания из нескольких областей: программирование, современные сетевые технологии, информационные вычислительные системы и микропроцессорная техника. Студенты направления изучают строение и архитектуру компьютеров, операционных систем, а также осваивают основные языки программирования, учатся анализировать и прогнозировать потоки информации, создавать поисковые системы, сети хранения, обработки и передачи информации. Данное направление предполагает активное участие бакалавров и специалистов в научно-техническом прогрессе. За последние десятилетия мир стремительно обрастает новыми технологиями, и специалисты в области информатики и вычислительной техники нужны все больше.

Организация учебного процесса в ПсковГУ традиционно ориентирована на подготовку, обеспечивающую получение в вузе знаний, достаточных для самостоятельного освоения необходимой на практике новой информации. Более того, выпускники вуза должны как сохранять эту способность, так и развивать ее в связи с постоянным ростом объемов информации, используемой в профессиональных задачах направления ИВТ. В соответствии с отмеченной задачей, учебный процесс в вузе был направлен в том числе на формирование у студентов умения самостоятельно качественно обновлять полученные знания [12].

Относительно студентов рассматриваемых двух наборов, студенты набора 2015 года и первые три семестра студенты набора 2018 года обучались в обычной (очной) форме, и поэтому преподаватели имели возможность непосредственно прививать названные качества. Это позволило в четвертом семестре (весна–лето 2020 г.) для студентов набора 2018 года в связи с возникновением пандемии COVID-19, а также учитывая решения федеральных и региональных органов управления образованием, учебный процесс полностью перевести в дистанционный режим, где учебные занятия проводились в ZOOM и на платформе LMS Moodle.

Однако, поскольку проведение лабораторных и практических занятий в дистанционной форме по ряду дисциплин являлось неэффективным, в условиях развития пандемии COVID-19 в пятом и шестом семестрах учебный процесс был организован в смешанной форме (частично в дистанционной, частично в очной).

Следует отметить, что учебный процесс формирует знания в вузе поэтапно в соответствии с учебным планом. При этом каждая последующая дисциплина опирается на отдельную или ряд отдельных предыдущих.

Традиционно изучение всех дисциплин позволяет сформировать четыре направления знаний, каждое из которых достигается определенными группами дисциплин. Первая группа дисциплин служит для освоения информации на уровне общего понимания. Такие дисциплины формируют у обучаемого профессиональный кругозор.

Вторая группа дисциплин обеспечивает обучаемых инструментом для освоения двух следующих направлений подготовки, а третья группа служит базой для глубокого освоения дисциплин четвертой группы.

Совместно вторая и третья группы содержат фундаментальные дисциплины и обеспечивают общепрофессиональную подготовку.

Четвертое направление развивает способности к эффективной профессиональной деятельности, которая включает в себя проектирование, эффективную эксплуатацию техники, использование ресурсов, учет объективных факторов и пр.

В работе рассматриваются вторая, третья и четвертая группы дисциплин, в качестве которых выступают соответственно математические, общепрофессиональные и специальные дисциплины.

Их перечень для бакалавров направления ИВТ Псковского государственного университета представлен в таблице 1, где указана и форма, в которой они были изучены студентами в период 2018–2021 гг.

Сопоставляя результаты изученных в разные периоды времени дисциплин, представленных в таблице, следует учитывать, что уровень знаний традиционно определялся персональными экзаменационными оценками отдельных студентов и средними оценками группы учащихся. Однако, как известно, при одинаковой количественной величине оценки в разные периоды времени содержание оцененных ею знаний может существенно отличаться. Уровень знаний, получивший оценку «отлично» в наше время и, например, 20 лет назад может соответствовать разному содержанию, поскольку многие научные и учебные дисциплины, развиваясь, могут менять методы и технические средства решения практических задач. В работе при анализе уровня знаний очной и смешанной форм подготовки с использованием экзаменационных оценок периоды времени были достаточно близки друг к другу, что обеспечивало равенство содержания.

Однако за 20 лет существования в стране болонской системы базовые школьные дисциплины существенно повлияли на знание высшей математики [13, 14]. Поступившие на направление ИВТ в ПсковГУ, как в 2015, так и в 2018 году не отличались глубокими знаниями по элементарной математике. Из числа поступивших в 2015 году в вуз 80 % имели число баллов ЕГЭ от 27 до 60 и 20 % — от 60 до 80 баллов. Группа студентов, набранная в 2018 году, по ЕГЭ имела 70 % величину баллов от 27 до 60, 29 % — от 60 до 80 и 1 % — от 80 баллов. Это расхождение не оказало существенного влияния на сравнительные результаты изучения шести математических дисциплин в вузе, сохранив невысокий уровень их содержания.

Известно, что индивидуальные экзаменационные оценки школьника или студента, а также средние оценки групп учащихся имеют случайную природу, поскольку индивидуальная оценка формируется под влиянием множества факторов, к которым относятся: требования преподавателя, старательность и дисциплинированность, степень посещаемости занятий и ответственности к учебному процессу, личные качества обучаемого и т. д. [15, 16].

Естественно полагать, что оценка отдельного студента по отдельной дисциплине представляет собой дискретную случайную величину. Средняя оценка коллектива студентов, в свою очередь, рассматривается как дискретная случайная величина, связанная с суммой большого числа одинаково распределенных случайных величин [17]. На рисунке 1 по данным [16] представлены итоговые средние

Дисциплины, изучаемые очно и дистанционно

№ п/п	Название дисциплины	Семестр	Лекции	ЛР	ПЗ	Экзамен
<b>Математические дисциплины</b>						
1	Математическая логика	1	О	-	О	О
2	Алгебра и геометрия	1	О	-	О	О
3	Математический анализ	1	О	-	О	О
4	Теория вероятностей	2	О	-	О	О
5	Дискретная математика	2	О	-	О	О
6	Вычислительная математика	3	О	О	О	О
<b>Общениженерные дисциплины</b>						
7	Информатика	1	О	О	-	О
8	Физика	2	О	О	О	О
9	Программирование	2	О	О	О	О
10	Теория алгоритмов	2	О	-	О	О
11	Теория кодирования	3	О	-	О	О
12	Электроника	3	О	О	-	О
13	Моделирование	3	О	О	-	О
14	Технологии программирования	3	О	О	-	О
<b>Специальные дисциплины</b>						
15	Основы теории управления	4	Д	Д	-	Д
16	Объектно-ориентированное программирование	4	Д	Д	-	Д
17	Инженерная и компьютерная графика	4	Д	Д	-	Д
18	Схемотехника ЭВМ	5	Д	О	О	О
19	Теория автоматов	5	Д	-	О	О
20	Исследование операций	5	Д	Д	-	О
21	Операционные системы	5	Д	О	-	О
22	Программирование в графических средах	5	Д	О	-	О
23	Основы сетевых технологий	6	Д	-	-	О
24	Управление данными	6	Д	О	-	О
25	Системное ПО	6	Д	О	-	О
26	Надежность вычислительных систем	6	Д	Д	-	О

Условные обозначения: О — очная форма, Д — дистанционная форма,  
ЛР — лабораторные работы, ПЗ — практические занятия

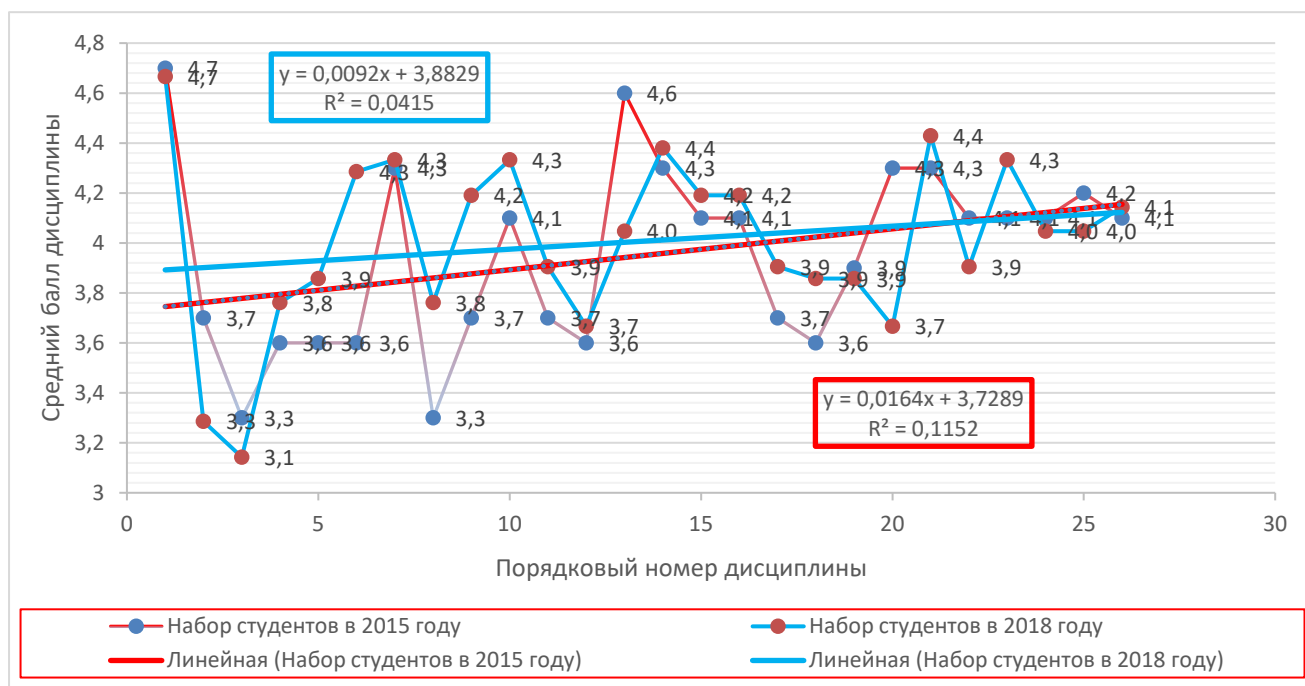


Рис. 1. Средние баллы дисциплин, аналитические выражения и графики трендов рядов

оценки по дисциплинам, изученным бакалаврами направления ИВТ ПсковГУ в периоды до начала и во время развития пандемии COVID-19, а также приведены аналитические выражения трендов в форме линейных функций регрессии и графики трендов, которые построены с помощью программы Excel.

На основании анализа данных рисунка 1 следует общий вывод о незначительном превышении числа баллов оценок в 2018 году над 2015 годом. Среднее превышение по оценкам всех дисциплин составляет 0,057 баллов. Наиболее сильное снижение суммарного числа баллов в 2015 году относительно 2018 года произошло среди дисциплин математического блока.

Последовательности средних оценок изученных дисциплин до и во время пандемии при сравнительном анализе динамики изменения успеваемости коллективов студентов в работе рассматриваются как динамические ряды. Как известно, структура динамического ряда может включать тренд, сезонную, циклическую и случайную компоненты.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

##### С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКИХ РЯДОВ СРЕДНИХ ОЦЕНОК

Исследование автокорреляционных функций динамических рядов оценок, показало, что средние оценки студентов как набора 2015 года, так и набора 2018 года содержат составляющими тренд и циклические колебаний.

Два ряда, представляющие последовательность средних оценок дисциплин по семестрам их прохождения, представлены на рисунке 1. Построенные на нем тренды для рассматриваемых последовательностей изменения экзаменационных оценок по мере увеличения семестров характеризуют интегрально степень роста баллов оценок [18].

Сравнение углов наклона трендов оценочных рядов двух групп студентов позволяет сделать заключение о

несущественном отличии изменений оценок изученных специальных дисциплин в период пандемии и более значимом отличии баллов математических дисциплин, изученных очно в первых трех семестрах. Следует отметить небольшие углы наклона графиков трендов, что свидетельствует о слабом влиянии на рост уровня знаний предшествующих дисциплин на последующие. Кроме того, тангенсы углов роста графиков трендов отличаются незначительно, что свидетельствует о совпадении тенденций изменения баллов оценок по семестрам для двух групп студентов. Данный факт следует трактовать как большие возможности достичь равных знаний специальных дисциплин при изучении по очной форме, по сравнению со смешанной подготовкой, при небольших отличиях знаний математических и инженерных дисциплин. Следовательно, приведенная динамика протекания учебного процесса по результатам экзаменационных оценок двух групп студентов, сформированных по очной и смешанной очно-дистанционной формам подготовки, обеспечивают близкие интегральные характеристики знаний.

На рисунке 2 представлены циклические колебания рассматриваемых динамических рядов, из которых следует затухающий их характер, что подтверждает снижение расхождения средних оценок дисциплин, изучаемых в последующих семестрах. Анализ представленной на рисунке 2 информации подтвердил заключение по трендам. Действительно, характер изменения модельных средних интегральных величин оценок дисциплин в баллах, представленный в виде суммы приращения составляющих тренда и циклических колебаний, практически совпадает у студентов набора до пандемии коронавируса и у студентов, которые обучались по смешанной очно-дистанционной форме.

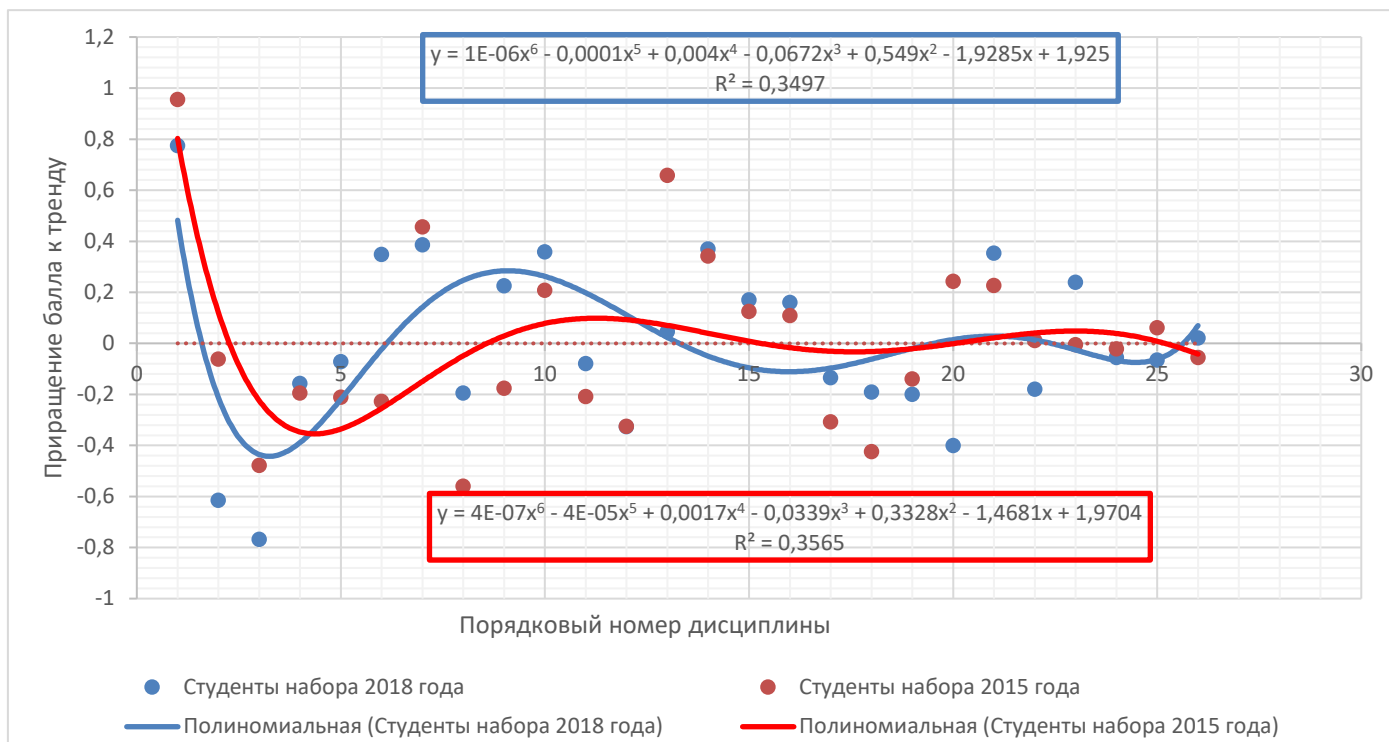


Рис. 2. Графики и функции циклических колебаний динамических рядов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании проведенного анализа следует заключить, что качество подготовки бакалавров направления ИВТ ПсковГУ в период очного и смешанного очно-дистанционного обучения, оцененное путем сравнения средних баллов экзаменационных оценок 26 дисциплин в шести семестрах, не имеет существенного отличия по общеинженерным и специальным дисциплинам, при расхождении показателей математических дисциплин. Следует подчеркнуть, что в полученных результатах важную роль играли изучаемые профессиональные объекты направления ИВТ, к которым относятся вычислительная техника, современные информационные технологии и программное обеспечение различных классов обучающих программ. Это позволяет считать, что для достижения качественных знаний в вузе необходим перевод части обучения в цифровой формат, который обеспечит более гибкое персонализированное и эффективное обучение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов, Б. А. Системный подход в процедурах оценки качества подготовки персонала для ОПК / Б. А. Виноградов, В. Г. Пальмов, Г. П. Мещерякова // *Инновации*. 2014. № 10 (192). С. 70–78.
2. Ганичева, А. В. Математическая модель оценки качества обучения // *В мире научных открытий*. 2015. № 6.1 (66). С. 313–326. DOI: 10.12731/wsd-2015-6.1-313-326.
3. Поличка, А. Е. Особенности проектирования инновационной инфраструктуры подготовки кадров информатизации региональной системы образования в условиях функционирования информационно-коммуникационной предметной среды: Монография. — Хабаровск: ДВГУПС, 2015. — 86 с.
4. О компетентностном подходе подготовки современных специалистов в области IT-технологий / Л. В. Рудикова, Е. В. Жавнерко, Т. Н. Изосимова, В. С. Скрашук // *Информационные системы и технологии: управление и безопасность = Information Systems and Technology: Management and Security: Сборник статей III Международной заочной научно-практической конференции (Тольятти, Россия, декабрь 2014 г.)*. — Тольятти: Поволжский гос. ун-т сервиса, 2014. — С. 259–263.
5. Поличка, А. Е. Проектирование методических систем инфраструктуры комплексной, многоуровневой и многопрофильной подготовки кадров информатизации региональной системы образования: Монография / А. Е. Поличка; М-во трансп. Рос. Федерации, Федер. агентство ж.-д. трансп., Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. — Хабаровск: ДВГУПС, 2014. — 119 с.
6. Изосимова, Т. Н. Компетентностный подход как гарантия качества подготовки современных специалистов в области IT-технологий / Т. Н. Изосимова, Л. В. Рудикова // *Научные труды Академии управления при Президенте Республики Беларусь: Сборник научных трудов*. Вып. 16: в 2 ч. Ч. 1. Экономика. — Минск: Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2014. — С. 202–209.
7. Ганичева, А. В. Матрично-вероятностное моделирование обучения // *Современные исследования социальных проблем*. 2011. № 3. С. 23–31. DOI: 10.12731/2077-1770-2011-3-23-31.
8. Ганичева, А. В. Оценка эффективности процесса обучения // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2011. № 2. С. 134–137.
9. Вертешев, С. М. Роль математики и информатики в подготовке инженеров для инновационной деятельности / С. М. Вертешев, П. В. Герасименко, С. Н. Лехин // *Перспективы развития высшей школы: Материалы X Международной научно-методической конференции (Гродно, Беларусь, 04–05 мая 2017 г.)*. — Гродно: Гродненский гос. аграрный ун-т, 2017. — С. 223–226.
10. Уразаева, Л. Ю. Проблемы математического образования и их решение / Л. Ю. Уразаева, Н. Н. Дацун // *Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика*. 2015. № 3 (30). С. 57–63.
11. Русаков, А. А. Методологические проблемы обучения математике // *Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции (Минск, Беларусь, 10–13 мая 2017 г.)*. — Минск: Белорусский гос. педагогический ун-т имени Максима Танка, 2017. — С. 17–23.
12. Герасименко, П. В. Основные причины снижения качества инженерного образования // *Инженерное образование в России и государствах — участников СНГ: проблемы и перспективы решения: Сборник докладов XVII Академических чтений Международной академии наук высшей школы (Звенигород, Россия, 21–23 сентября 2011 г.)*. — Звенигород: 12 Центральная Типография, 2011. — С. 27–32.
13. Гайдаржи, Г. Х. Элементарная математика в вопросах и заданиях: Учебно-методическое пособие / Г. Х. Гайдаржи, П. В. Герасименко, Е. Г. Шинкаренко; под ред. Г. Х. Гайдаржи. — Тирасполь: Изд-во Приднестровского гос. ун-та им. Т. Г. Шевченко, 2016. — 192 с.
14. Герасименко, П. В. О целесообразности разрешения в вузе сформировавшегося на современном этапе противоречия методик преподавания элементарной и высшей математики // *Совершенствование математического образования в общеобразовательных школах, начальных, средних и высших профессиональных учебных заведениях: Материалы VI Международной научно-методической конференции (Тирасполь, Молдова, 29–30 сентября 2010 г.)* / отв. ред. Г. Х. Гайдаржи. — Тирасполь: ПФ «Литера», 2010. — С. 26–31.
15. Изосимова, Т. Н. Применение современных технологий обработки данных в научных исследованиях: Монография / Т. Н. Изосимова, Л. В. Рудикова. — Гродно: Гродненский гос. аграрный ун-т, 2010. — 408 с.
16. Ганичева, А. В. Моделирование показателей учебного процесса // *В мире научных открытий*. 2011. № 10-2 (22). С. 1016–1028.
17. Герасименко, П. В. Математическое моделирование процесса изучения учебных многосеместровых дисциплин в технических вузах / П. В. Герасименко, Е. А. Благовещенская, В. А. Ходаковский // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2017. Т. 14, Вып. 3. С. 513–522.
18. Герасименко, П. В. Алгоритм и программа построения корреляционной матрицы оценок по многосеместровым дисциплинам / П. В. Герасименко, В. А. Ходаковский // *Проблемы математической и естественнонаучной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов III Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 07 ноября 2014 г.)* / отв. ред. В. А. Ходаковский. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. — С. 84–88.

# Full-Time and Mixed Full-Time and Distance Forms of Bachelor's Degree Training in the IVT Direction in Pskov State University: Results and Comparisons

Grand PhD P. V. Gerasimenko  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
pv39@mail.ru

Grand PhD S. M. Verteshev  
Pskov State University  
Pskov, Russia  
president@pskgu.ru

**Abstract.** The analysis of the quality of knowledge of two groups of bachelors in the field of IVT of Pskov State University, who studied at different periods of time: before the outbreak of the pandemic and during its development, was carried out. The first group of students who entered the university in 2015 studied full-time, and the second, recruited in 2018, studied in a mixed full-time and distance form.

The study of the quality of knowledge was conducted according to the average semester assessments of mathematical, general engineering and special disciplines. The evaluation sequences were considered as dynamic series. With the help of the constructed autocorrelation functions, the presence of a trend and cyclical fluctuations in them is established. A comparative analysis of the series of exam grades has established that the quality of knowledge of bachelors of the IVT direction in general engineering and special disciplines, both during full-time and mixed training, has no significant difference.

The obtained results provide justification for the formation of effective options for the educational process. The work may be of interest to university employees who are associated with the development of new educational programs and with the planning of training sessions in the conditions of digitalization of society. The novelty of the work is due to the uniqueness of the situation that has developed in the Russian education system at the present time.

**Keywords:** mathematical disciplines, USE, regression, elementary and higher mathematics, correlation.

## REFERENCES

1. Vinogradov B. A., Palmov V. G., Meshcheryakova G. P. A System Approach in Procedure of Quality Assessment of Personal Training for Military-Industrial Complex [Sistemnyy podkhod v protsedurakh otsenki kachestva podgotovki personala dlya OPK], *Innovations [Innovatsii]*, 2014, No. 10 (192), Pp. 70–79.
2. Ganicheva A.V. Mathematical Model of the Assessment of Quality of Training [Matematicheskaya model otsenki kachestva obucheniya], *In the World of Scientific Discoveries [V mire nauchnykh otkrytiy]*, 2015, No. 6.1 (66), Pp. 313–326. DOI: 10.12731/wsd-2015-6.1-313-326.
3. Polichka A. E. Features of designing an innovation infrastructure for training personnel for informatization of the regional education system in the context of the functioning of the information and communication subject environment: Monograph [Osobennosti proektirovaniya innovatsionnoy

infrastruktury podgotovki kadrov informatizatsii regionalnoy sistemy obrazovaniya v usloviyakh funktsionirovaniya informatsionno-kommunikatsionnoy predmetnoy sredy: Monografiya]. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University, 2015, 86 p.

4. Rudikova L. V., Izosimova T. N., Zhavnerko E. V., Skrashchuk V. S. On the Competence-Based Approach of Training Modern Specialists in the Field of IT Technologies [O kompetentnostnom podkhode podgotovki sovremennykh spetsialistov v oblasti IT-tekhnologiy], *Information Systems and Technology: Management and Security: Proceedings of the III International Correspondence Scientific and Practical Conference [Informatsionnye sistemy i tekhnologii: upravlenie i bezopasnost: Sbornik statey III Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Togliatti, Volga Region State University of Service, 2014, Pp. 259–263.

5. Polichka A. E. Designing ethodical infrastructure systems for integrated, multi-level and multidisciplinary training of informatization of the regional education system: Monograph [Proektirovanie metodicheskikh sistem infrastruktury kompleksnoy, mnogourovnevoy i mnogoprofilnoy podgotovki kadrov informatizatsii regionalnoy sistemy obrazovaniya: Monografiya]. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University, 2014, 119 p.

6. Izosimova T. N., Rudikova L. V. The Competence Approach as a Quality Guarantee of Contemporary Specialists Training in the Field of Information Technologies [Kompetentnostnyy podkhod kak garantiya kachestva podgotovki sovremennykh spetsialistov v oblasti IT-tekhnologiy], *Scientific Works of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus [Nauchnye trudy Akademii upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus: Sbornik nauchnykh trudov]*, Issue 16, Part 1. Minsk, Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus, 2014, Pp. 202–209.

7. Ganicheva A. V. Matrix-Likelihood Modelling of Training [Matrichno-veroyatnostnoe modelirovanie obucheniya], *Modern Studies of Social Issues [Sovremennye issledovaniya sotsialnykh problem]*, 2011, No. 3, Pp. 23–31. DOI: 10.12731/2077-1770-2011-3-23-31.

8. Ganicheva A.V. Efficiency Evaluation of Education Process [Otsenka effektivnosti protsessa obucheniya], *Intel-*



*lect. Innovations. Investments [Intellekt. Innovatsii. Investitsii]*, 2011, No. 2, Pp. 134–137.

9. Verteshev S. M., Gerasimenko P. V., Lekhin S. N. The Role of Mathematics and Informatics in the Training of Engineers for Innovative Activities [Rol matematiki i informatiki v podgotovke inzhenerov dlya innovatsionnoy deyatelnosti], *Prospects for the Development of Higher Education: Proceedings of the X International Scientific and Methodological Conference [Perspektivy razvitiya vysshey shkoly: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, Grodno, Belarus, May 04–05, 2017. Grodno, Grodno State Agrarian University, 2017, Pp. 223–226.

10. Urazaeva L. Yu., Datsun N. N. Problems of Mathematical Education and Their Decision [Problemy matematicheskogo obrazovaniya i ikh reshenie], *Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer Science [Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika]*, 2015, No. 3 (30), Pp. 57–63.

11. Rusakov A. A. Methodological problems of teaching mathematics [Metodologicheskie problemy obucheniya matematike], *Physical and Mathematical Education: Goals, Achievements and Prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference [Fiziko-matematicheskoe obrazovanie: tseli, dostizheniya i perspektivy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Minsk, Belarus, May 10–13, 2017. Minsk, Belarusian State Pedagogical University Named After Maxim Tank, 2017, Pp. 17–23.

12. Gerasimenko P. V. The Main Reasons for the Decline in the Quality of Engineering Education [Osnovnye prichiny snizheniya kachestva inzhenernogo obrazovaniya], *Engineering Education in Russia and the CIS Member States: Problems and Prospects for Solutions: Collection of Reports of the XVII Academic Readings of the International Academy of Sciences of Higher Education [Inzhenernoe obrazovanie v Rossii i gosudarstvakh — uchastnikov SNG: problemy i perspektivy resheniya: Sbornik dokladov XVII Akademicheskikh chteniy Mezhdunarodnoy akademii nauk vysshey shkoly]*, Zvenigorod, Russia, September 21–23, 2011. Zvenigorod, 12 Central Printing House, 2011, Pp. 27–32.

13. Gaydarzhi G. Kh., Gerasimenko P. V., Shinkarenko E. G. Elementary mathematics in questions and tasks: Study guide [Elementarnaya matematika v voprosakh i zadaniyakh: Uchebno-metodicheskoe posobie]. Tiraspol, Shevchenko Pridnestrovie State University, 2016, 192 p.

14. Gerasimenko P. V. On the Expediency of Resolving at the Higher Educational Institution the Elementary and Higher Mathematician Methods of Teaching Methods That Formed at the Present Stage [O tselesoobraznosti razresheniya v vuze sformirovavshegosya na sovremennom etape protivorechiya metodik prepodavaniya elementarnoy i vysshey matematik], *Improving Mathematical Education in General Education Schools, Primary, Secondary and Higher Professional Educational Institutions: Proceedings of the VI International Scientific and Methodological Conference [Sovershenstvovanie matematicheskogo obrazovaniya v obshcheobrazovatelnykh shkolakh, nachalnykh, srednikh i vysshikh professionalnykh uchebnykh zavedeniyakh: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, Tiraspol, Moldova, September 29–30, 2010. Tiraspol, Litera Printing Company, 2010, Pp. 26–31.

15. Izosimova T. N., Rudikova L. V. Application of modern data processing technologies in scientific research: Monograph [Primenenie sovremennykh tekhnologiy obrabotki dannykh v nauchnykh issledovaniyakh: Monografiya]. Grodno, Grodno State Agrarian University, 2010, 408 p.

16. Ganicheva A. V. Modelling of Parameters of Educational Process [Modelirovanie pokazateley uchebnogo protsessa], *In the World of Scientific Discoveries [V mire nauchnykh otkrytiy]*, 2011, No. 10-2 (22), Pp. 1016–1028.

17. Gerasymenko P. V., Blagoveshenskaya Ye. A., Khodakovskiy V. A. Mathematical Simulation of Studying Academic Multi-Semestrial Disciplines in Technical Colleges [Matematicheskoe modelirovanie protsessa izucheniya uchebnykh mnogosemestrovnykh distsiplin v tekhnicheskikh vuzakh], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2017, Vol. 14, Is. 3, Pp. 513–522.

18. Gerasimenko P. V., Khodakovskiy V. A. Algorithm and Program for Constructing a Correlation Matrix of Assessments for Multi-Semester Disciplines [Algoritm i programma postroeniya korrelyatsionnoy matritsy otsenok po mnogosemestrovym distsiplinam], *Problems of Mathematical and Natural Science Training in Engineering Education: Proceedings of the III International Scientific and Methodological Conference [Problemy matematicheskoy i estestvennonauchnoy podgotovki v inzhenernom obrazovanii: Sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii]*, Saint Petersburg, Russia, November 07, 2014. Saint Petersburg, PSTU, 2014. Pp. 84–88.

# Математическое моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в замкнутой акватории

к.ф.-м.н. А. Н. Бестужева

Петербургский государственный университет  
путей сообщений Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
bes\_alla@inbox.ru

к.т.н. В. А. Гончаренко

Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I,  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
vlango@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются двумерные задачи о распространении диффундирующего вещества в замкнутой водной акватории. Получено аналитическое решение краевых задач для уравнения диффузии в круге конечного радиуса в зависимости от координат и времени. Это дает возможность для исследования области концентрации диффундирующего вещества выше предельно допустимой. Рассмотренные математические модели имеют важное прикладное значение в проблеме защиты окружающей среды при возникновении аварийных ситуаций на кораблях и судах.

**Ключевые слова:** краевые задачи математической физики, математическое моделирование, диффундирующее вещество, уравнение диффузии, область загрязнения, замкнутая акватория.

## ВВЕДЕНИЕ

Увеличение антропогенной нагрузки на экологические системы, в частности на водные объекты, обуславливает необходимость развития методов исследования масштабов загрязнения водной среды при попадании в них загрязняющих веществ. Для решения этой задачи требуются анализ процессов и прогнозирование параметров распространения загрязняющих веществ в водной среде. Из-за сложности постановки экспериментов в натуральных условиях математическое моделирование становится основным способом изучения таких процессов.

Физическая модель исследуемого объекта — область загрязнения, которая образуется в результате попадания загрязняющих веществ в водную среду. Характеристика объекта — значение концентрации загрязняющего вещества в этой области не ниже «порогового» значения. Такое значение соответствует допустимому уровню воздействия на окружающую среду, его принято называть предельно допустимой концентрацией (ПДК).

Попадание загрязняющего вещества в водную среду обусловлено, как правило, наличием источника загрязнения, возникающего в результате аварийной ситуации. Обычно рассматривают два вида источника — залповый сброс загрязняющего вещества, при котором практически мгновенно в водной среде оказывается определенное количество загрязняющего вещества, второй — постепенное поступление загрязняющего вещества через образовавшуюся пробоину определенных размеров в корпусе кораблей и судов. В данном исследовании остановимся на первом варианте попадания загрязняющего вещества на

поверхность замкнутой водной акватории. Такие ситуации являются следствием пожара или взрыва на корабле или судне, их разломов, образования значительных размеров пробоин.

Актуальность темы исследования подчеркивается еще тем, что согласно [1] капитанам судов предписано сообщать основные характеристики загрязнения, например площадь разлива загрязняющих веществ.

Решению краевых задач для уравнения диффузии посвящено большое число работ, из которых отметим фундаментальные труды [2–4]. К настоящему времени накоплен значительный опыт математического моделирования процессов турбулентной диффузии, результаты которых опубликованы в работах Г. И. Марчука, Л. Н. Тихонова, А. А. Самарского, Г. П. Астраханцева [5–7] и др. Однако математические модели исследуемых процессов носят общий характер и использование их для решения прикладных задач требует формулирования краевых условий, соответствующих реальным экологическим ситуациям.

Сходные вопросы были рассмотрены ранее в работе, посвященной решению уравнения теплопроводности в цилиндрических и сферических координатах с граничными условиями первого, второго и смешанного рода [8]. В статье [9] решались одномерное и двумерное уравнения диффузии для стержня и круга с различного вида граничными условиями, причем в этом случае исследуемая задача на собственные значения в силу наличия конечной границы имела дискретный спектр.

В [10] уравнение диффузии получено как в общем виде, так и для изотропной среды в цилиндрических телах, из физических соображений выводится выражение для коэффициента диффузии.

Несмотря на наличие обширной литературы, многообразии граничных и начальных условий, обусловленных новыми прикладными задачами, приводит к крайним задачам, не рассмотренным ранее. В частности, необходимость нахождения ограниченных решений для неограниченной области иногда оказывается нетривиальной задачей, а наличие «пороговых» значений для искомой функции концентрации приводит к необходимости нахождения корней неявной функции. В работе [11] было предложено аналитическое решение краевых задач для уравнения диффузии в неограниченной водной среде при начальном условии специального вида. В работе [12] было изучено

влияние неравномерности начального распределения вещества на динамические характеристики области загрязнения.

Целью данного исследования является постановка математической задачи для уравнения диффузии с граничным условием второго рода с возможностью ее аналитического решения. Предположения и допущения, позволяющие решить данную краевую задачу математической физики для уравнения диффузии, сформулированы в [11].

Будем считать, что распространение загрязняющего вещества происходит в идеальной несжимаемой жидкости. Предположим, что среда изотропна в горизонтальной плоскости, источники (стоки) загрязняющего вещества отсутствуют. Будем учитывать как адвективный, так и турбулентный механизмы движения жидкости и переноса загрязняющего вещества. Процессами испарения и осаждения загрязняющего вещества пренебрегаем в связи с высокой скоростью его распространения. Особенностью данного исследования является предположение о замкнутости водной акватории, где происходит распространение загрязняющего вещества и образование области загрязнения. В рамках идеальной модели предположим, что водная акватория представляет собой круг радиуса  $R$ .

Данная статья посвящена вопросам получения аналитического решения процесса диффузии вещества, попавшего на водную поверхность в замкнутой акватории. Рассматривается двумерное уравнение диффузии в круге конечного радиуса.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим процесс диффузии вещества, попавшего на водную поверхность закрытой акватории в начальный момент времени.

Целью настоящего исследования является получение и исследование аналитического решения в зависимости от параметров задачи, которые будут описывать качественную картину развития процесса.

Перечислим основные предположения: жидкость считается идеальной и несжимаемой.

Математическую модель диффузии вещества, попавшего на водную поверхность в начальный момент времени, будем строить на основе краевой задачи математической физики для уравнения диффузии [2, 7].

Основное отличие от предыдущих постановок заключается в новом граничном условии.

Если не принимать во внимание эффект дифракции от границы акватории, то распространение диффундирующего вещества в двумерном приближении описывается уравнением диффузии, в котором неизвестной функцией является концентрация диффундирующего вещества  $c = c(x, y, t)$ :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где  $K$  — горизонтальный коэффициент турбулентной диффузии.

Поставим краевые условия для данного уравнения диффузии. Начальное условие описывает способ попадания загрязняющего вещества, когда мгновенно в водной среде оказывается определенное количество загрязняющего вещества:

$$c(x, y, 0) = c_0(x, y); \quad (x, y) \in D,$$

где  $c_0(x, y)$  — начальное распределение концентрации загрязняющего вещества в  $D$  ( $D$  — область загрязнения в начальный момент времени  $t = 0$ ). Начало координат  $O(0, 0)$  помещено в геометрический центр области  $D$ . Рассмотрим геометрическую область  $D$  как круг радиуса  $l$ . Тогда для двумерной краевой задачи начальное условие будет выглядеть следующим образом:

$$c(x, y, 0) = \begin{cases} c_0, & 0 \leq r \leq l \\ 0, & r > l. \end{cases} \quad (2)$$

Граничные условия:

$$c(0, t) < \infty; \quad \frac{\partial c}{\partial r} = 0 \text{ при } r = R. \quad (3)$$

Здесь  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ .

Проведем операцию обезразмеривания:

$$c^1 = \frac{c}{c_0}, \quad c_m^1 = \frac{c_m}{c_0}, \quad r^1 = \frac{r}{l}, \quad t^1 = \frac{Kt}{l^2}, \quad R^1 = \frac{R}{l},$$

где  $c_m$  — предельное значение допустимой концентрации загрязняющего вещества. Индекс 1 далее опустим.

Тогда краевая задача (1)–(3) примет вид

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \quad (4)$$

с граничными условиями

$$c(0, t) < \infty; \quad \frac{\partial c}{\partial r} = 0 \text{ при } r = R \quad (5)$$

и начальным условием (для двумерной краевой задачи)

$$c(r, 0) = \begin{cases} \frac{1}{\pi}, & 0 \leq r \leq 1 \\ 0, & r > 1. \end{cases} \quad (6)$$

#### АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ МЕТОДОМ ФУРЬЕ

Решая уравнение (4) методом Фурье, получим

$$c(r, t) = \int_0^\infty (A_\lambda J_0(\lambda r) + B_\lambda Y_0(\lambda r)) e^{-\lambda^2 t} d\lambda,$$

где  $J_0(\lambda r), Y_0(\lambda r)$  — функции Бесселя нулевого порядка I и II рода соответственно.

Из первого граничного условия  $c(0, t) < \infty$  получим, что  $B_\lambda = 0$ .

Второе граничное условие  $\frac{\partial c}{\partial r} = 0$  при  $r = R$  приводит к уравнению для нахождения  $\lambda$ :  $J_1(\lambda R) = 0$ .

Это уравнение дает бесконечное множество корней  $\gamma_k = \lambda_k R, k = 1, 2, \dots$

Тогда решение примет следующий вид:

$$c(r, t) = \sum_{k=1}^\infty A_k J_0(\lambda_k r) e^{-\lambda_k^2 t}.$$

Для частного случая начального условия

$$c(r, 0) = f(r) = \begin{cases} \frac{1}{\pi}, & 0 \leq r \leq 1 \\ 0, & r > 1 \end{cases}$$

имеем:

$$f(r) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k J_0(\lambda_k r) = \begin{cases} \frac{1}{\pi}, & 0 \leq r \leq 1 \\ 0, & r > 1. \end{cases}$$

Используем разложение Фурье-Бесселя произвольной функции  $f(x)$  вещественного переменного  $x$  [13].

$$(J_2(\gamma_k))^2 \frac{A_k}{2} = \int_0^1 \xi f(\xi) J_1(\gamma_k \xi) d\xi = \int_0^1 \xi J_1(\gamma_k \xi) d\xi.$$

Следовательно,

$$A_k = \frac{2}{\pi \gamma_k^2 J_2^2(\gamma_k)} \int_0^{\gamma_k} u J_1(u) du.$$

И тогда аналитическое решение краевой задачи (4)–(6) примет вид

$$c(r, t) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\gamma_k^2 J_2^2(\gamma_k)} J_0(\lambda_k r) e^{-\lambda_k^2 t} \int_0^{\gamma_k} u J_1(u) du.$$

Известно, что

$$\int_0^{\gamma_k} u J_1(u) du = \frac{\pi \gamma_k}{2} (J_1(\gamma_k) H_0(\gamma_k) - J_0(\gamma_k) H_1(\gamma_k)),$$

где  $H_k(x)$  — функция Струве  $k$ -го порядка [14].

Окончательный вид решения:

$$c(r, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(\lambda_k r)}{\lambda_k R J_2^2(\lambda_k R)} e^{-\lambda_k^2 t} (J_1(\lambda_k R) H_0(\lambda_k R) - J_0(\lambda_k R) H_1(\lambda_k R)).$$

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученное решение позволяет решать следующие прикладные задачи: численно исследовать зависимость концентрации диффундирующего вещества  $c = c(x, y, t)$  от времени и расстояния (как в безразмерных, так и в размерных переменных), исследовать области поверхности («пятна загрязнения»), в которой концентрация диффундирующего вещества превосходит определенное значение  $c_m$  («пороговое» значение, которое принято называть предельно допустимой концентрацией).

При этом можно показать, что размер пятна загрязнения сначала растет, достигая максимума, а затем убывает, то есть пятно загрязнения монотонно уменьшается. Можно определить максимальный радиус пятна загрязнения из равенства  $r_{\max}(c_m) = r(t_{\max}, c_m)$ , где  $t_{\max}$  — корень уравнения  $r'(t, c_m) = 0$  — следует искать численно.

С течением времени концентрация диффундирующего вещества уменьшается. Можно найти момент времени, когда пятно загрязнения с концентрацией выше чем  $c_m$  исчезает. Для этого следует найти время  $T$  из уравнения  $c(0, T) = c_m$ . Это предмет дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. МАРПОЛ 73/78. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней. Книга I и II = MARPOL 73/78. International convention for prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto. Book I and II. — Санкт-Петербург: ЦНИИМФ, 2023. — 862 с.

2. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. — Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. — 320 с.

3. Озмидов, Р. В. Диффузия примесей в океане: Монография. — Ленинград [Санкт-Петербург]: Гидрометеоздат, 1986. — 280 с.

4. Кошляков, Н. С. Уравнения в частных производных математической физики: Учебное пособие / Н. С. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов. — Москва: Высшая школа, 1970. — 712 с.

5. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики: Учебное пособие / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва: Изд-во Московского университета, 1999. — 799 p.

6. Самарский, А. А. Численные методы решения задач конвекции-диффузии / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. — 4-е изд. — Москва: URSS, 1999. — 246 с.

7. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер: Монография / Г. П. Астраханцев, В. В. Меншуткин, Н. А. Петрова, Л. А. Руховец; под ред. Л. А. Руховца. — Санкт-Петербург: Наука, 2003. — 362 с.

8. Caretto, L. S. Solution of the Diffusion Equation // ME 501B — Seminar in Engineering Analysis. Course Notes. California State University Northridge, Mechanical Engineering Department. — Spring 2009. — 36 p.

URL: <http://www.csun.edu/~lcaretto/me501b/diffusion.doc> (дата обращения 20.03.2023).

9. Olver, P. J. Introduction to Partial Differential Equations. — Cham: Springer Nature, 2014. — 661 p. — (Undergraduate Texts in Mathematics). DOI: 10.1007/978-3-319-02099-0.

10. Thambayagam, R. K. M. The Diffusion Handbook: Applied Solutions for Engineers. — New York: McGraw-Hill Education, 2011. — 2039 p.

11. Бестужева, А. Н. Динамика распространения диффундирующего вещества на поверхности и в толще воды / А. Н. Бестужева, А. Л. Смирнов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2015. Т. 2 (60), Вып. 4. С. 589–599.

12. Бестужева, А. Н. Влияние начальных условий на динамику распространения диффундирующего вещества / А. Н. Бестужева, А. Л. Смирнов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2017. Т. 4 (62), Вып. 4. С. 664–670. DOI: 10.21638/11701/spbu01.2017.414.

13. Бейтмен, Г. Высшие трансцендентные функции = Higher transcendental functions: в 3 т. / Г. Бейтмен, А. Эрдейи; пер. с англ. Н. Я. Виленкина. — Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1965–1967. — (Справочная математическая библиотека).

Том 2. Функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены. — 1966. — 296 с.

14. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами = Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables / Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган; пер. с англ. под ред. В. А. Диткина и Л. Н. Кармазиной. — Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 832 с.

# Mathematical Modeling of the Spread of Pollutants in a Closed Water Area

PhD A. N. Bestuzheva  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
bes\_alla@inbox.ru

PhD V. A. Goncharenko  
Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University,  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
vlango@mail.ru

**Abstract.** Two-dimensional problems of diffusing substance propagation in a closed water area are considered. An analytical solution of boundary value problems for the diffusion equation in a circle of finite radius is obtained depending on the coordinates and time. This makes it possible to study the area of concentration of the diffusing substance above the maximum permissible. The considered mathematical models have an important applied value in the problem of environmental protection in the event of emergencies on ships and vessels.

**Keywords:** boundary value problems of mathematical physics, mathematical modeling, diffusing substance, diffusion equation, pollution spot, polluting area, closed water area.

## REFERENCES

1. MARPOL 73/78. International convention for prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto. Book I and II [MARPOL 73/78. Mezhdunarodnaya konventsiya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov 1973 g., izmenennaya protokolom 1978 g. k ney. Kniga I i II]. Saint Petersburg, Central Marine Research and Design Institute (CNIIMF), 2023, 862 p.
2. Marchuk G. I. Mathematical models in environmental problems [Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchey sredy], Moscow, Nauka Publishers, 1982, 320 p.
3. Ozmidov R. V. Diffusion of contaminants in the ocean: Monograph [Diffuziya primesey v okeane: Monografiya]. Leningrad [Saint Petersburg], Hydrometeoizdat Publishing House, 1986, 280 p.
4. Koshlyakov N. S., Gliner E. B., Smirnov M. M. Differential equations of mathematical physics: Study guide [Uravneniya v chastnykh proizvodnykh matematicheskoy fiziki: Uchebnoe posobie]. Moscow, Vysshaya Shkola Publishing House, 1970, 712 p.
5. Tikhonov A. N., Samarsky A. A. Equations of mathematical physics: Study guide [Uravneniya matematicheskoy fiziki: Uchebnoe posobie]. Moscow, Moscow State University, 1999, 799 p.
6. Samarsky A. A., Vabishchevich P. N. Numerical methods for solving convection-diffusion problems [Chislennyye metody resheniya zadach konveksii-diffuzii]. Moscow, URSS Publishing Group, 1999, 246 p.
7. Astrakhantsev G. P., Menshutkin V. V., Petrova N. A., Rukhovets L. A. Modelling the ecosystems of large stratified lakes: Monograph [Modelirovanie ekosistem bolshikh stratifitsirovannykh ozer: Monografiya]. Saint Petersburg, Nauka Publishers, 2003, 362 p.
8. Caretto L. S. Solution of the Diffusion Equation, *ME 501B — Seminar in Engineering Analysis. Course Notes. California State University Northridge, Mechanical Engineering Department*, Spring 2009, 36 p.  
Available at: <http://www.csun.edu/~lcaretto/me501b/diffusion.doc> (accessed 20 Mar 2023).
9. Olver P. J. Introduction to Partial Differential Equations. Cham, Springer Nature, 2014, 661 p.  
DOI: 10.1007/978-3-319-02099-0.
10. Thambayagam R. K. M. The Diffusion Handbook: Applied Solutions for Engineers. New York, McGraw-Hill Education, 2011, 2039 p.
11. Bestuzheva A. N., Smirnov A. L. Propagation Dynamics of a Diffusive Pollutants on the Water Surface and in the Water [Dinamika rasprostraneniya diffundiruyushchego veshchestva na poverkhnosti i v tolshche vody], *Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Astronomiya]*, 2015, Vol. 2 (60), Is. 4, Pp. 589–599.
12. Bestuzheva A. N., Smirnov A. L. Effect of Initial Conditions on Dispersion Dynamics of Pollution Spot [Vliyanie nachalnykh usloviy na dinamiku rasprostraneniya diffundiruyushchego veshchestva], *Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Astronomiya]*, 2017, Vol. 4 (62), Is. 4, Pp. 664–670.  
DOI: 10.21638/11701/spbu01.2017.414.
13. Bateman H., Erdélyi A. Higher transcendental functions. Volume 2. Bessel functions, functions of a parabolic cylinder, orthogonal polynomials [Vysshie transtsendentnye funktsii. Tom 2. Funktsii Besselya, funktsii parabolicheskogo tsilindra, ortogonalnye mnogochleny], Moscow, Nauka Publishers, 1966, 296 p.
14. Abramowitz M., Stegun I. A. (eds.) Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables [Spravochnik po spetsialnym funktsiyam s formulami, grafikami i matematicheskimi tablitsami]. Moscow, Nauka Publishers, 1979, 832 p.

## ПАМЯТИ КОЛЛЕГИ



Сотрудники кафедр «Информатика и информационная безопасность» и «Высшая математика» с глубоким прискорбием сообщают, что на 85-м году жизни после непродолжительной болезни скончался российский ученый-математик, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой параллельных алгоритмов Санкт-Петербургского государственного университета, профессор кафедры «Информатика и информационная безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации ДЕМЬЯНОВИЧ Юрий Казимирович (28.06.1938–12.04.2023).

Ушел из жизни известный математик, специалист в области вычислительной математики, теории минимальных сплайнов, теории вложенности пространств локальных функций и теории распараллеливания численных алгоритмов, прекрасный педагог, создатель Петербургской школы сплайн-вейвлетной аппроксимации.

Он с отличием закончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1956 году, начав трудовую карьеру с должности ассистента кафедры вычислительной математики университета. Затем прошел научный путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией методов вычислений Научно-исследовательского института математики и механики имени академика В. И. Смирнова СПбГУ (1964–1996).

В 1966 году присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук, в 1970 году присвоено ученое звание доцента. В 1988 году защитил докторскую диссертацию по теме «Аппроксимация локальными функциями на многообразии и минимальные сплайны». Профессор по специальности «Вычислительная математика» (1993).

В 1996–2002 гг. — профессор кафедры системного программирования. С 2002 года — бессменный руководитель кафедры параллельных алгоритмов, созданной на основе лаборатории методов вычислений.

С 1989 года Юрий Казимирович работал также на кафедре «Высшая математика» в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I. В 2004 году продолжил работу профессором на вновь образованной кафедре «Математика и моделирование». С 2019 года — профессор реорганизованной кафедры «Информатика и информационная безопасность».

Демьянович Юрий Казимирович — автор более 450 научных работ, 7 монографий, 10 учебников и учебных пособий. Под его руководством защищены 17 кандидатских и 3 докторских диссертации.

Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации (2004), ветеран труда.

## **In Memory of Colleague**

Employees of the Departments «Informatics and Information Security» and «Higher Mathematics» with deep regret report that at the age of 85, after a short illness, a Russian mathematician, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, head of the Department of Parallel Algorithms of Saint Petersburg State University, Professor of Department «Information Technology and IT Security» of the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation DEMYANOVICH Yuri Kazimirovich (28.06.1938–12.04.2023).

A well-known mathematician, a specialist in computational mathematics, the theory of minimal splines, the theory of nesting of spaces of local functions and the theory of parallelization of numerical algorithms, a wonderful teacher, the creator of the St. Petersburg school of spline-wavelet approximation, has passed away.

He graduated with honors from the Faculty of Mathematics and Mechanics of Leningrad State University in 1956, began his career as an assistant at the Department of Computational Mathematics of the University. Then he passed the scientific path from a junior researcher to the head of the Laboratory of Computational Methods of the Research Institute of Mathematics and Mechanics (1964–1996).

In 1966 he was awarded the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences, in 1970 he was awarded the academic title of Associate Professor. In 1988 he defended his doctoral dissertation on the topic «Approximation by Local Functions on Manifolds and Minimal Splines». In 1993 he received the title of Professor in the specialty «Computational Mathematics».

In 1996–2002 Professor of the Department of System Programming of St. Petersburg State University. Since 2002, permanent head of the Department of Parallel Algorithms of the University, created on the basis of the laboratory of computational methods.

Since 1989, Yuri Kazimirovich has also worked at the Department of Higher Mathematics at the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Since 2004, he continued to work as a professor at the newly formed Department of Mathematics and Modeling. Since 2019, Professor of the reorganized Department «Information Technology and IT Security».

Demyanovich Yuri Kazimirovich is the author of more than 450 scientific papers, 7 monographs, 10 textbooks and teaching aids. Under his leadership, 17 candidate's and 3 doctoral dissertations were defended.

Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (2004), Veteran of Labor.