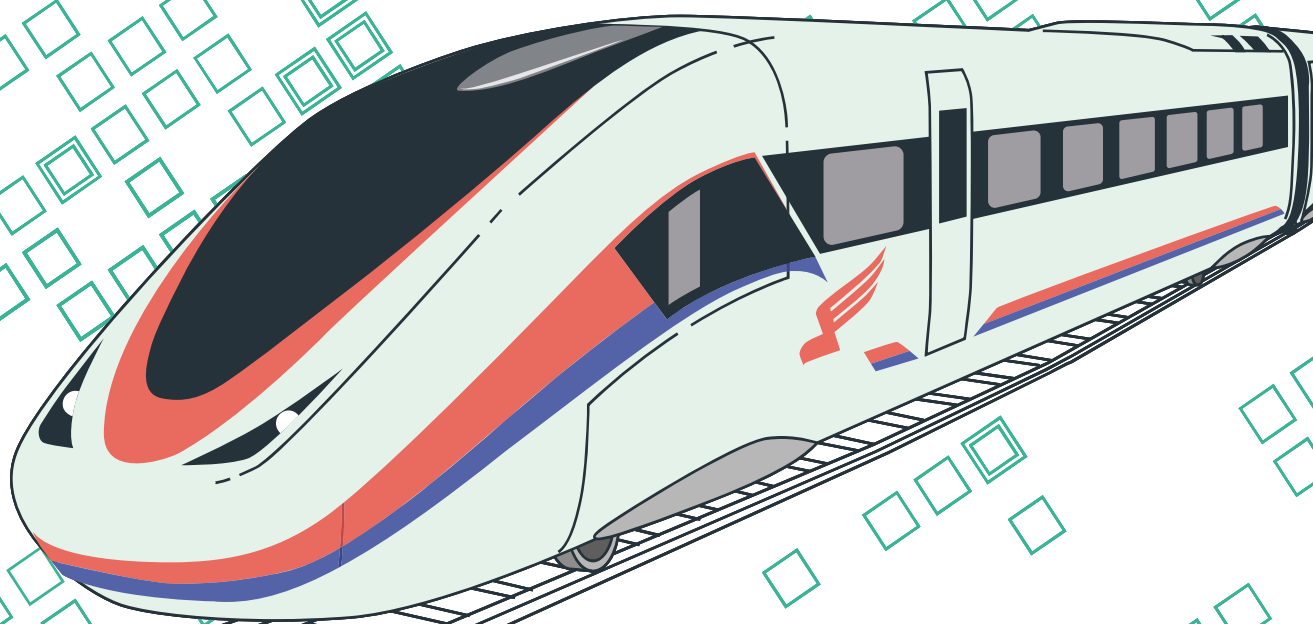


# Интеллектуальные технологии на транспорте

Intellectual Technologies  
on Transport



Выпуск 1  
2024

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

**Выпуск 1 (37), 2024**

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**

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

---

**Издатель**

ООО «Медиа-Сервис» по договору № ЭА00271 от 19.12.2023

---

**Главный редактор**

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

**Сопредседатели редакционного совета**

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

---

**Редакционный совет**

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

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

---

**Редакционная коллегия**

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

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

---

**Адрес редакции:**

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

---

Сетевое издание «Интеллектуальные технологии на транспорте (сетевой электронный научный журнал),  
Intellectual Technologies on Transport» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство Эл № ФС77–61707 от 7 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», 2024

# Intellectual Technologies on Transport

Issue 1 (37), 2024

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

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

---

## Publisher

Media Service LLC № ЭА00271, 19.12.2023

---

## Editor-in-Chief

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

## Co-chairs of the Editorial Council

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

---

## Editorial Council Members

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

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

---

## Editorial Board Members

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

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

---

## Editorial address:

190031, St. Petersburg, Moskovsky ave., 9 e-mail: [itt-pgups@yandex.ru](mailto: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.  
El No. FS77-61707 Testimony from May 7, 2015.

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

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

The content is for children over the age of 12.

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University», 2024

# Содержание

## Искусственный интеллект и машинное обучение

Ahmed K. Abbas

Optimizing Industry Trade-Off Problems in Big Data Management Using Evolutionary Algorithms: A Comparative Study . . . . . 5

Корабошев О. З.

Анализ и перспективы применения методов машинного обучения для чрезвычайных ситуаций . . . . . 12

Алиев Р. М., Алиев М. М., Тохиров Э. Т.

Экспертная система для диагностики неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта . . . . . 18

## Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Waleed Ahmed Hassen Al-Nuaami

COOT Bird-Inspired Algorithm for Daily Fine Particulate Matter Concentration Prediction Statistical Study . . . . . 26

## Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Дергачев А. И., Ермаков С. Г., Куранова О. Н., Степанская О. А., Брызгалов А. А.

Эффективность дистанционного обучения и тестирования персонала ОАО «РЖД» для работы в условиях чрезвычайных ситуаций: анализ и экономическое обоснование . . . . . 32

Р. Абу Хасан, Кириенко А. Б., Хомоненко А. Д.

Метод перехода от хранилищ данных к озерам данных геоинформационных систем на основе Лямбда-архитектуры. . . . . 45

Корниенко С. В., Данилова П. И., Велимченко В. А., Никонов Д. Д.

Мобильное приложение для экспресс-контроля стресса как инструмент снижения риска деятельности инсайдеров в организации . . . . . 56

## Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Нигматуллин К. Р., Забродин А. В.

Исследование и разработка чат-бота для оптимизации поддержки технологов системы «График исполнительного движения» в РЖД: выбор и обоснование платформы . . . . . 61

Селина Л. В., Соломатова М. Ф.

Интерактивные методы в дистанционном образовании транспортного персонала: от теории к практике . . . . . 73

Баландин Е. Г., Забродин А. В.

«Применение принципов UI/UX-дизайна для онлайн-платформы бронирования ж/д билетов: оптимизация пользовательского опыта и безопасности» . . . . . 78

## Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Мохаммед Шакер Махмуд, Халил Маад Модхер

Изучение необязательной энергопередачи в сетях WLAN: проблемы и последние достижения . . . . . 84

Sulaymanov Sunnatulla, Kamilov Khasan Mirzakhitovich, Turdiev Odilzhan Akramovich, Tulaganova Zebo Xadiyevna

Computational Model for Evaluating the Effectiveness of Electromagnetic Field Protection: Case Study of a Train Dispatcher's Workplace. . . . . 93

## Интеллектуальные транспортные системы

Кагадий И. Г., Ермаков С. Г.

Автоматизация контроля перемещения тормозных башмаков на железнодорожном транспорте: анализ существующей системы на ОктЖД . . . . . 98

Алиев М. М., Тохиров Э. Т., Алиев Р. М.

Математическое моделирование дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником: алгоритм и расчеты . . . . . 102

# Contents

## Artificial intelligence and machine learning

Ahmed K. Abbas

Optimizing Industry Trade-Off Problems in Big Data Management Using Evolutionary Algorithms: A Comparative Study . . . . . 5

Koraboshev O. Z.

Analysis and Prospects For the Application of Machine Learning Methods for Emergency Situations. . . . . 12

Aliev R. M., Aliev M. M., Tokhirov E. T.

Expert System for Diagnosing Rail Circuit Faults Using Artificial Intelligence. . . . . 18

## Mathematical modeling, counting methods and software complexes

Waleed Ahmed Hassen Al-Nuaami

COOT Bird-Inspired Algorithm for Daily Fine Particulate Matter Concentration Prediction Statistical Study . . . . . 26

## System analysis, management and information processing, statistics

Dergachev A. I., Ermakov S. G., Kuranova O. N., Stepanskaya O. A., Bryzgalov A. A.

Advanced Training of Russian Railways Personnel as a Factor of Efficiency of Railway Transportation in Emergency Situations. . . . . 32

R. Abu Hasan, Kirienko A. B., Khomonenko A. D.

Method of Transition from Data Warehouses to Geographic Information System Data Lakes Based on Lambda Architecture. . . . . 45

Kornienko S. V., Danilova P. I., Velimchenko V. A., Nikonov D. D.

Mobile Application for Express Stress Control as a Tool for Reducing the Risk of Insider Activity in an Organization . . . . 56

## Mathematical and software of computer systems, complexes and computer networks

Nigmatullin K. R., Zabrodin A. V.

Research and Development of a Chatbot to Optimize Support for Technologists of the “Executive Traffic Schedule” System in Russian Railways: Platform Selection and Justification . . . . . 61

Selina L. V., Solomatova M. F.

Application of Interactive Methods in Distance Education in Theoretical Training of Transport Personnel or How to Turn Theory into Practice . . . . . 73

Balandin E. G., Zabrodin A. V.

Applying UI/UX Design Principles for an Online Railway Ticket Booking Platform: Preparing for Web Service Deployment . . . . . 78

## Methods and systems of information protection, information security

Mohammed Shaker Mahmood, Maad Modher Khalil

Investigating Unnecessary Handoff In Wlan Networks: Challenges And Recent Advances . . . . . 84

Sulaymanov Sunnatulla, Kamilov Khasan Mirzakhitovich, Turdiev Odilzhan Akramovich, Tulaganova Zebo Xadiyevna

Computational Model for Evaluating the Effectiveness of Electromagnetic Field Protection: Case Study of a Train Dispatcher’s Workplace. . . . . 93

## Intelligent transport systems

Kagadiy I. G., Ermakov S. G.

Automation of Brake Shoe Movement Control in Railway Transport: Analysis of the Existing System on the October Railway . . . . . 98

Aliyev M. M., Tokhirov E. T., Aliev R. M.

Mathematical Modeling of an Additional Shunt Zone in Track Circuits with a Potential Receiver: Algorithm and Calculations . . . . . 102

# Optimizing Industry Trade-Off Problems in Big Data Management Using Evolutionary Algorithms: A Comparative Study

PhD Ahmed K. Abbas  
Diyala University, Baquba, Iraq

**Abstract.** This paper proposes a novel approach to solve complex industrial big data management problems using genetic algorithms (GA), particle swarm optimization (PSO), ant algorithms (ACO) and cultural algorithms (CA). The research aims at efficient resource allocation, balancing conflicting objectives such as cost minimization, resource utilization and quality improvement. The proposed approach offers a comprehensive framework that combines the advantages of different optimization techniques, providing decision makers with important insights into optimal big data strategies in their industries. The results of the study show the effectiveness of the hybrid approach in achieving optimal decisions, which improves operational efficiency and strategic decision making in the era of big data.

**Keywords:** bigdata, ant colony optimization, cultural algorithms, genetic algorithm, particle swarm optimization.

**For citation:** Ahmed K. Abbas. Optimizing Industry Trade-Off Problems in Big Data Management Using Evolutionary Algorithms: A Comparative Study // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No 1 (37). P. 5–11. (In Russian).* DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-5-11

## INTRODUCTION

In recent years, the exponential growth of data created in various industries has presented significant challenges in effective management and utilization. The emergence of big data requires new approaches to process huge amounts of data while considering competing objectives such as cost optimization, resource allocation, and quality improvement [1]. To address these challenges, the integration of advanced optimization techniques is attracting attention. This paper focuses on the use of genetic algorithms (GA), particle swarm optimization (PSO), ant algorithms (ACO), and cultural algorithms (CA) to solve complex big data management problems in industrial environments [2]. The aim of the study is to investigate the effectiveness of hybrid optimization techniques in solving industrial big data problems. Through comparative analysis, the performance of each algorithm in solving multidimensional challenges presented by big data in different industrial sectors is evaluated.

The objective of this inquiry is to examine the viability of hybrid optimization approaches in settling industry-specific trade-offs inalienable in enormous information administration.

Through a comparative investigation, the study assesses the execution of each algorithm concerning its capacity to address the multifaceted challenges postured by enormous information inside assorted mechanical settings [3]. By synthesizing the qualities of GA, PSO, ACO, and CA, the proposed approach offers a comprehensive arrangement custom fitted to the complexities of each industry, encouraging educated decision-making and key arranging within the period of big data.

After the developmental calculations appeared up inside the explore various papers proposed in this field to unwind different real-world issues. The investigators as well-made various strategies of developmental calculations, the first basic procedures are: Ant colony optimization, Cultural algorithms, Genetic algorithm, Particle swarm optimization etc.

## *Evolutionary computation*

Evolutionary computation is one of the foremost imperative areas in computer science and artificial intelligence. The title of this sort of calculations is based on embracing Darwinian standards. Developmental computation can be classified moreover as trial-and-error issue solvers. Utilizing developmental computation to illuminate the issues of worldwide optimization strategies can be considered moreover as meta-heuristic algorithms. One of the foremost vital viewpoints of these calculations is the use of a populace of candidate solutions instead of fair emphasizing over one solution within the look space. The utilize of population of arrangements in evolutionary methodologies makes them more viable and not influenced by the issue of local optimal within the search space [4].

## *Genetic Algorithms*

The genetic calculation could be a method that fathoms an optimization issue by employing a population of candidate solutions (called individuals) that advanced toward superior arrangements. Each candidate solution encompasses a set of sub-variables that called chromosomes. The chromosomes will can be changed and changed amid the evolutionary forms. The issue arrangements can be spoken to in numerous shapes such as binary of 0s and 1s or genuine coded such as numbers or real array of numbers [5]. Figure 1 appears primary steps of genetic algorithms.

## *Particle swarm optimization*

Particle swarm optimization (PSO) may be a unused population based optimization strategy created in 1995 by Dr. Eberhart and

Dr. Kennedy [6]. The Creators propelled by common social behavior of bird running and fish tutoring to create these calculations. PSO is exceptionally comparative with Genetic Calculations (GA) in:

1. The framework is initialized with a population of irregular arrangements.

2. The calculation looks for optima by overhauling arrangements.

Be that as it may, PSO contrasts than Genetic algorithms in these focuses:

1. In PSO, there's no crossover and change.

2. In PSO, the potential arrangements (particles), fly through the issue space by taking after the other optimum particles (local and global).

In past a few a long time, PSO has been effectively connected in numerous investigate and application ranges. It is illustrated that PSO gets way better comes about in a speedier, cheaper way compared with other strategies [7].

*Ant colony optimization*

This calculation may be a strategy of the swarm intelligence strategies, and it employments a few metaheuristic optimizations. It is proposed in 1992 by Marco Dorigo and after those numerous analysts upgraded the algorithm. The calculation primarily was pointing to explore for an optimal way in a chart, based on the behavior of ants looking for a way between their colony and a source of nourishment. The first thought has since broadened to unravel a more extensive class of numerical issues, and as a result, a few issues have emerged, drawing on different viewpoints of the behavior of ants [8].

*Cultural algorithms*

Cultural evolution calculations are strategies that empower societies to advance or adjust to their focal points and situations at higher rates than organic evolution. Cultural algorithms (CAs) created by Reynolds [9] are determined from the cultural advancement phenomenon. There are two levels of advancement in cultural calculation. These two levels are micro-evolution and macro-evolution. Smaller scale developmental or population level regularly is shaped of a population based randomized look calculation like hereditary calculation, genetic programming. The advancement handle within the population level is primarily based on the small-scale level intuitive between individuals. In macro-evolutionary or cultural level, encounters of the individuals extricated from population level can be saved and utilized to affect the course of the look handle in a broader way [10].

**PROBLEM DEFINITION**

Linear Programming (LP) could be a sort of problems utilized in businesses for getting an improved utilize of vitality, diminishing costs of fabricating and planning [11].

The issue can be communicated as take after:

minimize/maximize  $F(X_i) = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 + \dots + C_n \cdot X_n$   
 subject to  $A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2 + \dots + A_n \cdot X_n < DB_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_3 \cdot X_3 < E$

where  $X_i$ : vector of variables to be fathomed for and  $C_i$ : vector of costs for each variable and  $A_i, B_i$ : the vectors of imperatives coefficients, D and E are: imperatives itself.

In this study, we'll illuminate one sort of this issue (for one real-world application) utilizing genetic calculation, PSO, Ant Colony and cultural algorithms.

**FACTORIES PRODUCTION PROBLEM**

Two components create a best-seller toy bomb-doll. But each toy requires a sum of 100Kg of black powder for a high explosive arrangement utilized on its creation [11]. There are 3 providers that create it, each one with a diverse cost:

- B1: \$10.00 / ton
- B2: \$5.00 / ton
- B3: \$7.00 / ton

To transport the items from a provider to a production line too incorporates a cost:

To	A	B
From B1	5	6
From B2	9	8
From B3	6	7

Let's call P(X) as the benefit function of the doll offers, after doing a few calculations, the benefit equation gets to be as a work of six factors as take after:

$$P(X) = 300 \cdot (T/10) - (8 \cdot (T_1A + T_1B) + 3 \cdot (T_2A + T_2B) + 5 \cdot (T_3A + T_3B)) - (5 \cdot T_1A + 9 \cdot T_2A + 6 \cdot T_3A + 6 \cdot T_1B + 8 \cdot T_2B + 7 \cdot T_3B) - (9 \cdot (T_1A + T_2A + T_3A) + 7 \cdot (T_1B + T_2B + T_3B))$$

Where  $T = TA + TB = T_1A + T_2A + T_3A + T_1B + T_2B + T_3B$

And there are some constrains:-

$TA \leq 550$  (factory A can as it were hold 550 T)

$TB \leq 700$  (factory B as it were hold 700 T)

$T_1 \leq 390$  (supplier 1 can as it were supply 390 T)

$T_2 \leq 460$  (supplier 1 can as it were supply 460 T)

$T_3 \leq 370$  (supplier 1 can as it were supply 370 T)

$T_1A, T_2A, T_3A, T_1B, T_2B, T_3B$  are integers  $\geq 0$

Note that  $T_{ij}$  is the sum of black powder obtained from provider  $i$  and taken to manufacturing plant  $j$ . So, we have a maximization problem that has 6 variables and 5 constraints. To solve this problem, we will use algorithms as will be described in next section.

**ALGORITHMS STEPS FOR SOLVING THE PROBLEM**

To solve the problem of Factories Production we will use four algorithms which are genetic algorithm, Ant colony, Cultural algorithms and particle swarm optimization. The steps and design of these methods will be described in this section.

*Genetic Algorithm Method*

In this method we first need to represent the variables. In this study we use the integer code representation. So, each solution will be represented using array of six variables as shown below

$$T_1A \rightarrow T_2A \rightarrow T_3A \rightarrow T_1B \rightarrow T_2B \rightarrow T_3B$$

After that a number of solutions randomly initialized to represent the first population. From constraint we know that all the values must be integer and greater than zero. In the parent selection step, the best two parents will be selected to generate from them new two children.

In the crossover step, we used the one point cross over. One point will be selected randomly and then the chromosomes of

the two selected parents will be exchanged to create the chromosomes of the two new solutions or children. Next figure shows this process.

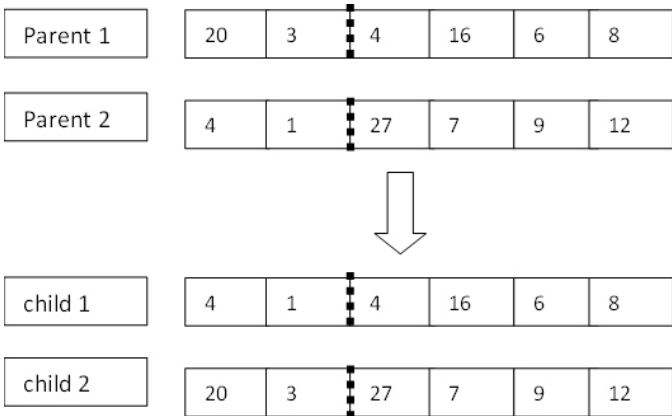


Fig. 1: Crossover step

For the mutation process, a gene will be selected randomly and it will either be added or subtracted by value of 1. In mutation, the solution may change entirely from the previous solution. Hence GA can come to a better solution by using mutation. When the crossover and mutation executed the new two children will be replaced with the worst two solutions in the population. After that the evolution process will be continue until the required criteria reached.

Particle swarm optimization method

To solve the problem using PSO we need a good representation method sense, we need to store the variables and its velocities for each generation. Next figure shows the representation of the variables. We see that each particle contains six variables to represent its position and another six variables to represent the velocity of these positions and there is also a cost which will be computed from the cost function (fitness function). For each particle there is also a small history to store the best previous position for this particle (the cost and the position).

To store particle position → To store particle velocity → cost → Best personal

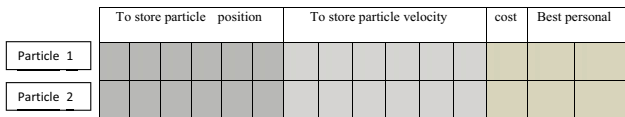


Fig. 2: position and velocity

To compute the velocity of the particles, we will use the simplest form of PSO algorithms, where the velocity is computed from three values which are Previous particle Velocity, Best particle personal position and best overall particle position. The following equation will be used to compute the new velocity for each particle

$$V_i = w \cdot V_{i\_prv} + c1 \cdot (Ppbest - P_i) + c2 \cdot (PGbest - P_i)$$

After that the new particle position can be computed from this equation

$$P_i = P_{i\_prv} + V_i$$

These two equations will guide the all-other particles in the swarm to the direction of the global optima gradually. Next figure shows the mathematical representation of the PSO vectors that used to direct the particles to the best solution.

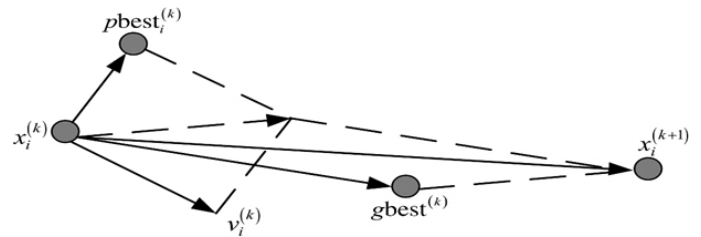


Fig. 3: Mathematical representation of the PSO vectors

For the culture algorithms and ant colony algorithms we used the same representation of genetic algorithms but only the names will be changed. For example, in the ant colony algorithm the solutions will be called ants.

RESULTS AND DISCUSSION

To compare the performance of the optimization algorithms we execute three experiments.

Experiment 1

In the first experiment we used the following parameters for each algorithm as described in the following tables:

Table 1

Parameters of the Genetic Algorithm	
Population Size	50
Number of Variables	6
Mutation Operator	0.2
Crossover Operator	0.7
Representation	Integer Coded
Parent Selection	Best Two
Replacement Method	Worst Two

Table 2

Parameters of PSO Algorithm	
Swarm Size	50
Number of Variables in each Particles	6
w	1
Damping factor	0.99
C <sub>1</sub>	2
C <sub>2</sub>	2

Table 3

Parameters of Ant Colony Algorithm	
Ant Numbers	50
Number of Variables in each Ant	6
Initialization	randomly



Table 4

Parameters of Culture Algorithm	
Population size	50
Number of Variables	6
Acceptance Ratio	0.35
Alpha	0.3
beta	0.5

After executing the first experiment with different number of generations we got the following results presented in the following table 5. For each algorithm we execute it three times and take the average of the best solution.

The results show that the Ant Colony algorithm works very well and outperforms all other algorithms especially when the number of generations is small. The particle swarm optimization method is also better than the genetic algorithm method in many cases of number of generations. From the other side, The PSO algorithm can quickly go to the direction of the optima. We can see also the that difference between the best value obtained in the two algorithms are big in the case of running 100 generations, and then starts to become smaller and smaller until the case of 500 generations where the genetic algorithm gets a value better than the PSO algorithm. This means that the PSO algorithm is better when the number of generations is small and the genetic algorithm is preferable when number of generations is big. The results also show that the Cultural algorithm performance is the worst one.

Table 5

Show the best obtained value of the four algorithms using different number of generations

Number of Generations	Genetic Algorithm	Particle Swarm Optimization	Ant Colony Optimization	Culture Optimization
100	10775	11422	<b>11531</b>	6847
200	10936	11834	<b>11956</b>	7152
300	11482	11793	<b>11921</b>	6866
400	11576	<b>12091</b>	12044	6854
500	11883	<b>12057</b>	12034	6906

Experiment 2

To measure the convergence of the two algorithms, we run another experiment using the same parameters of the algorithms in the first experiment as described in Table 1,2,3 and Table 4. In this experiment we will not measure the best obtained value of each algorithm which may not represent the convergence of algorithm, instead of that we will measure the average of all best obtained value from all generations. This value will be a good indication for the behavior of the algorithms. Table 6 shows the results of this experiment. As in the first experiment, the Cultural algorithm performance is the worst one.

Table 6

The average of the Best obtained value in each generation of the four algorithms using different number of generations

Number of Generations	Genetic Algorithm	Particle Swarm Optimization	Ant Colony Optimization	Culture Optimization
100	11322.3	<b>11757.0</b>	11484	6805
200	11744.3	<b>11887.3</b>	11795	7004
300	11996.6	<b>12095.6</b>	11497	6748
400	12375.0	<b>12380.6</b>	11833	6823
500	<b>12356.3</b>	12104.3	11935	6881

The results of table 6 also show that the PSO algorithm works better than the other algorithms in most of the cases. And we can see in the table that there is a big difference between the values of PSO and GA algorithms which indicates that the PSO algorithm when it goes in the direction of the optimal value it may not change its direction and so all the time the results become better and better.

Experiment 3

In this experiment we will show the figures that show the behavior of the used algorithms by showing all obtained best values. Next two figures show this information.

We can see from the results that the PSO and Ant Colony algorithms are more stable and once it reaches a good value it may not go to worst value again. Also, the PSO algorithm sometimes jumps leaps in the direction of optima. On the other side the GA goes to the optima step by step and during the evolution process it may become bad and then return to better value.

CONCLUSION

In conclusion, the integration of Genetic Algorithms (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), and Cultural Algorithms (CA) presents a promising approach to handle the challenges related with enormous information administration inside different mechanical settings. Through our examination, we have illustrated the adequacy of these hybrid optimization strategies in tending to industry-specific trade-offs, such as fetched minimization, asset allotment, and quality improvement.

Our investigate underscores the significance of leveraging progressed optimization calculations to explore the complexities of huge information, empowering decision-makers to create educated choices that optimize operational productivity and vital results. By synthesizing the qualities of GA, PSO, ACO, and CA, our approach offers a flexible system able of adjusting to the special necessities of diverse businesses, from fabricating to healthcare to back.

Besides, the comparative examination conducted in this think about gives important bits of knowledge into the execution of each calculation in tending to huge information challenges, facilitating the choice of the foremost fitting optimization procedure based on particular industry needs and targets. By tackling the control of these progressed methods, organizations can pick up a competitive edge in managing and leveraging their information resources viably.

Able to see from the results that PSO and ant colony calculations are more steady, and when exceptions happen, self-evident awful values may now not show up. The PSO calculates these

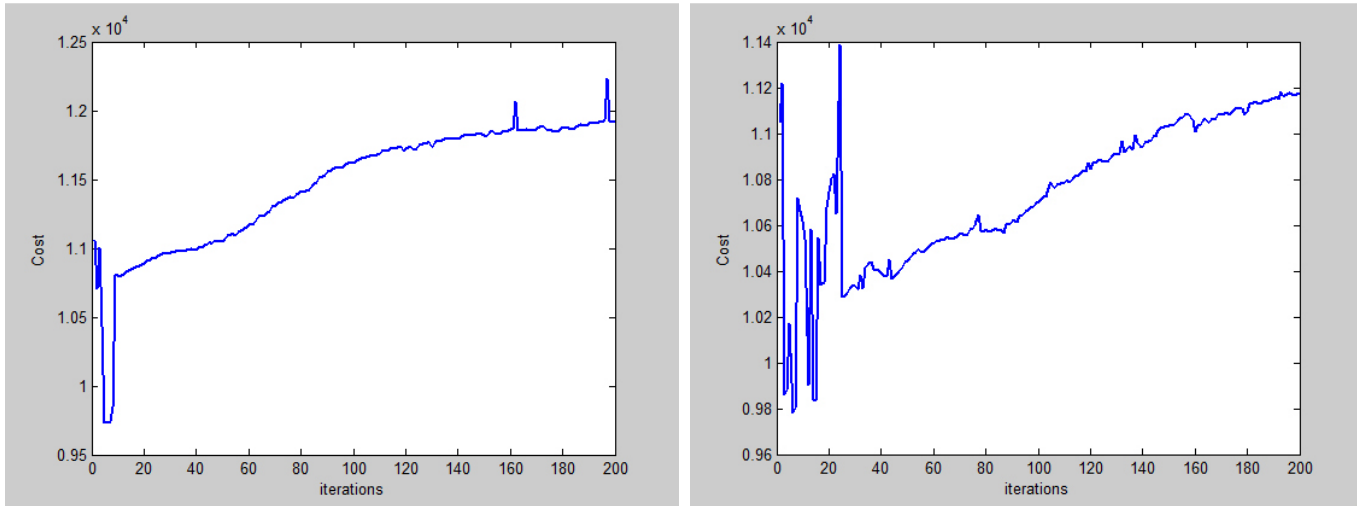


Fig. 4: The results of Genetic algorithm best values during evolution

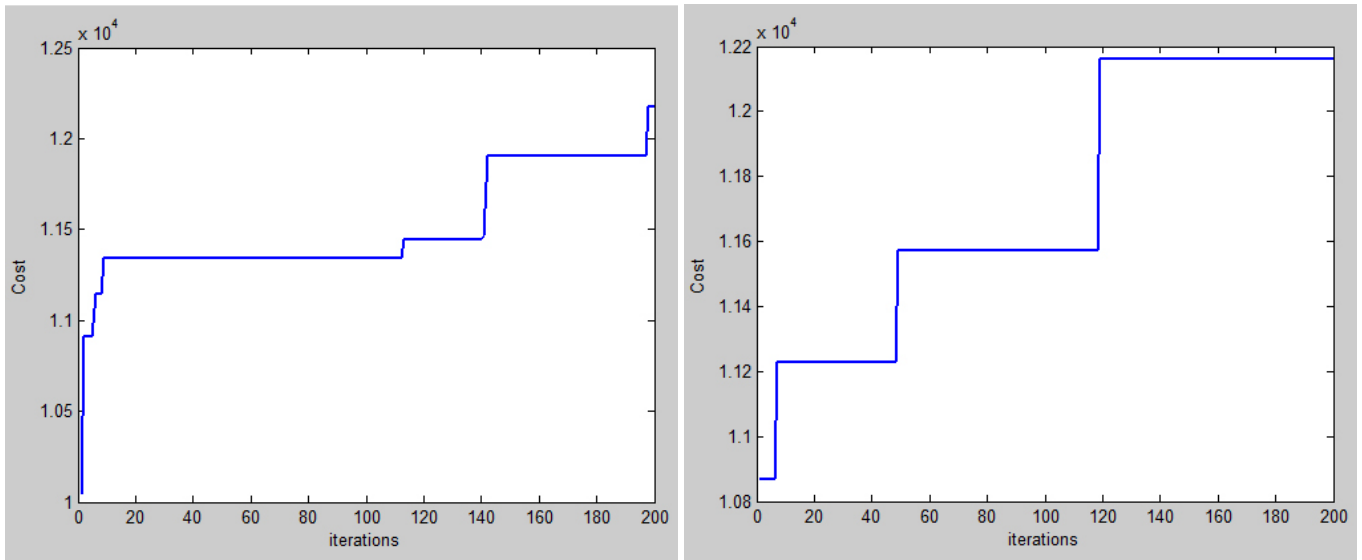


Fig. 5: The results of PSO algorithm best values during iterations

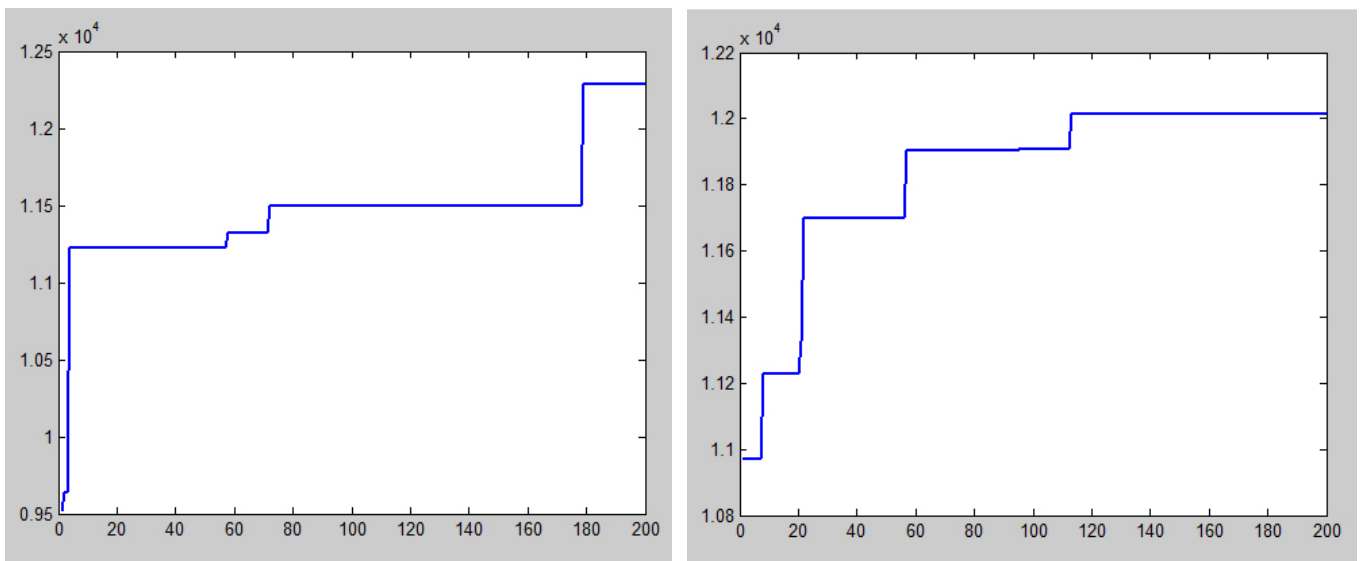


Fig. 6: The results of Ant Colony algorithm best values during iterations

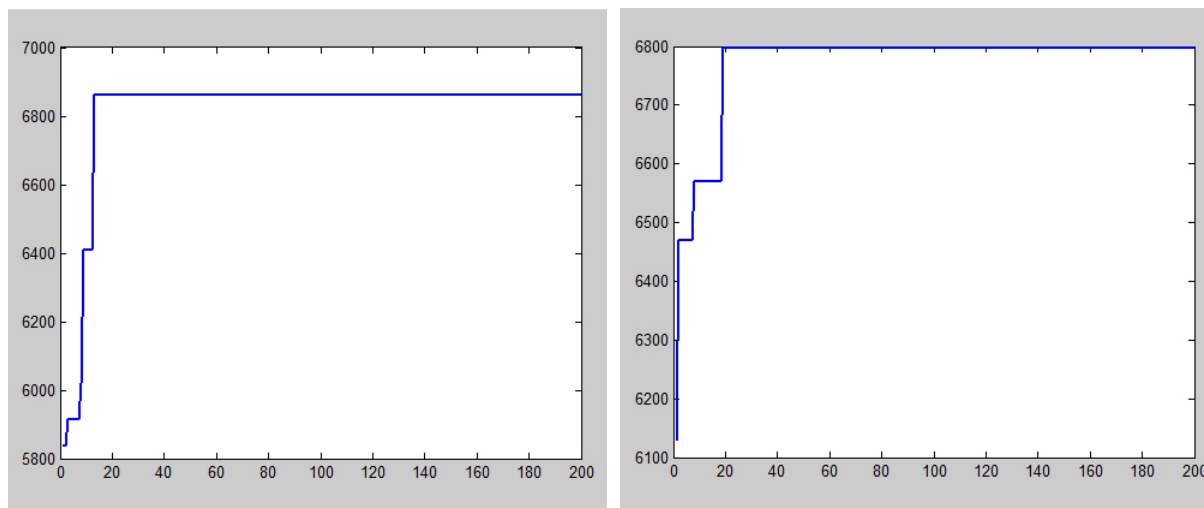


Fig. 7: The results of Cultural algorithm best values during iterations

changes presently and afterward also within the ideal rate. On the other hand, the genetic algorithm moves towards the ideal step by step, may get more regrettable within the prepare of encourage advancement, and after that gotten to be way better once more.

#### FUTURE WORK

Looking ahead, future inquire about might investigate extra hybridization techniques, as well as the integration of machine learning and artificial intelligence procedures, to advance upgrade the capabilities of enormous information optimization systems. Also, practical execution and real-world case considers may give more profound bits of knowledge into the appropriateness and adequacy of these approaches in tending to industry trade-offs and driving unmistakable commerce results.

In pith, our ponder underscores the urgent part of progressed optimization strategies in forming long run of huge information administration, advertising imaginative arrangements to the complex challenges confronted by industries in tackling the potential of their information assets. Through persistent advancement and experimentation, ready to open modern roads for maximizing the esteem of huge information and driving maintainable development and competitiveness over assorted mechanical divisions.

#### REFERENCES

- Zhang L. Optimization of the Marketing Management System Based on Cloud Computing and Big Data, *Complexity*, 2021, Vol. 2021, Art. No. 9924302, 10 p. DOI: 10.1155/2021/9924302.
- Ghafari R., Mansouri N. E-AVOA-TS: Enhanced African Vultures Optimization Algorithm-Based Task Scheduling Strategy for Fog-Cloud Computing, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2023, Vol. 40, Art. No. 100918, 40 p. DOI: 10.1016/j.suscom.2023.100918.
- Amiri Z., Heidari A., Navimipour N. J., et al. Adventures in Data Analysis: A Systematic Review of Deep Learning Techniques for Pattern Recognition in Cyber-Physical-Social Systems, *Multimedia Tools and Applications*, 2024, Vol. 83, Is. 8, Pp. 22909–22973. DOI: 10.1007/s11042-023-16382-x.
- Abualigah L. Group Search Optimizer: A Nature-Inspired Meta-Heuristic Optimization Algorithm with Its Results, Variants, And Applications, *Neural Computing and Applications*, 2021, Vol. 33, Is. 7, Pp. 2949–2972. DOI: 10.1007/s00521-020-05107-y.

- Mohammed Sani K. Particle Swarm Optimization Based on Particle Mean Dimensions with Eliminating Velocity Components: A Thesis for the Degree of Master of Science in Mathematics (Optimization). Haramaya, Haramaya University, 2022, 61 p. Available at: <http://ir.haramaya.edu.et/hru/handle/123456789/5069> (accessed 15 Feb 2024).

- Gad A. G. Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications: A Systematic Review, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2022, Vol. 29, Is. 5, Pp. 2531–2561. DOI: 10.1007/s11831-021-09694-4.

- Fidanova S. Ant Colony Optimization and Applications. Cham, Springer Nature, 2021, 138 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67380-2.

- Darvishpoor S., Darvishpour A., Escarcega M., Hassanalain M. Nature-Inspired Algorithms from Oceans to Space: A Comprehensive Review of Heuristic and Meta-Heuristic Optimization Algorithms and Their Potential Applications in Drones, *Drones*, 2023, Vol. 7, Is. 7, Art. No. 427, 134 p. DOI: 10.3390/drones7070427.

- Torre-Bastida A. I., Díaz-de-Arcaya J., Osaba E., et al. Bio-Inspired Computation for Big Data Fusion, Storage, Processing, Learning and Visualization: State of the Art and Future Directions, *Neural Computing and Applications. Special Issue: Data Fusion in the era of Data Science*, 2021, 31 p. DOI: 10.1007/s00521-021-06332-9.

- Chen Q., Golrezaei N., Susan F. Fair Assortment Planning, *ArXiv*, 2022, Vol. 2208.07341, 74 p. DOI: 10.48550/arXiv.2208.07341.

- Hamann-Lohmer J., Lasch R. Production Planning and Scheduling in Multi-Factory Production Networks: A Systematic Literature Review, *International Journal of Production Research*, 2021, Vol. 59, Is. 7, Pp. 2028–2054. DOI: 10.1080/00207543.2020.1797207.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

**Ahmed Khuthair Abbas** — PhD in Engineering. Computer Science Department, Diyala University, Baquba, Iraq. E-mail: [dr.ahmed.k.abbas@uodiyala.edu.iq](mailto:dr.ahmed.k.abbas@uodiyala.edu.iq)

The article was submitted 24.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024.

# Оптимизация отраслевых задач в управлении большими данными с использованием эволюционных алгоритмов: сравнительное исследование

канд. техн. наук **Ахмед Х. Аббас**  
Университет Диялы, Баакуба, Ирак

**Аннотация.** В статье предлагается новый подход к решению проблем управления большими промышленными данными с использованием генетических алгоритмов, оптимизации роя частиц, муравьиных алгоритмов и культурных алгоритмов. Исследование направлено на эффективное распределение ресурсов, балансирование противоречивых целей, таких как минимизация затрат, использование ресурсов и улучшение качества. Данный подход предлагает комплексную структуру, которая сочетает в себе преимущества различных методов оптимизации, предоставляя лицам, принимающим решения, важные сведения об оптимальных стратегиях работы с большими данными в своих отраслях. Результаты исследования показывают эффективность гибридного подхода в достижении оптимальных решений, что повышает операционную эффективность и принятие стратегических решений в эпоху больших данных.

**Ключевые слова:** большие данные, муравьиный алгоритм, культурные алгоритмы, генетический алгоритм, оптимизация роя частиц.

**Для цитирования:** Ахмед Х. Аббас. Оптимизация отраслевых задач в управлении большими данными с использованием эволюционных алгоритмов: сравнительное исследование // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2024. № 1 (37). С. 5–11. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-5-11

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, L. Optimization of the Marketing Management System Based on Cloud Computing and Big Data // *Complexity*. 2021. Vol. 2021. Art. No. 9924302. 10 p. DOI: 10.1155/2021/9924302.
2. Ghafari, R. E-AVOA-TS: Enhanced African Vultures Optimization Algorithm-Based Task Scheduling Strategy for Fog-Cloud Computing / R. Ghafari, N. Mansouri // *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. 2023. Vol. 40. Art. No. 100918. 40 p. DOI: 10.1016/j.suscom.2023.100918.
3. Adventures in Data Analysis: A Systematic Review of Deep Learning Techniques for Pattern Recognition in Cyber-Physical-Social Systems / Z. Amiri, A. Heidari, N.J. Navimipour, [et al.] // *Multimedia Tools and Applications*. 2024. Vol. 83, Is. 8. Pp. 22909–22973. DOI: 10.1007/s11042-023-16382-x.
4. Abualigah, L. Group Search Optimizer: A Nature-Inspired Meta-Heuristic Optimization Algorithm with Its Results, Variants, And Applications // *Neural Computing and Applications*.

2021. Vol. 33, Is. 7. Pp. 2949–2972. DOI: 10.1007/s00521-020-05107-y.

5. Mohammed Sani, K. Particle Swarm Optimization Based on Particle Mean Dimensions with Eliminating Velocity Components: A Thesis for the Degree of Master of Science in Mathematics (Optimization). — Haramaya: Haramaya University, 2022. — 61 p. Available at: <http://ir.haramaya.edu.et/hru/handle/123456789/5069> (accessed 15 Feb 2024).

6. Gad, A. G. Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications: A Systematic Review // *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. Vol. 29, Is. 5. Pp. 2531–2561. DOI: 10.1007/s11831-021-09694-4.

7. Fidanova, S. Ant Colony Optimization and Applications. — Cham: Springer Nature, 2021. — 138 p. — (Studies in Computational Intelligence, Vol. 947). DOI: 10.1007/978-3-030-67380-2.

8. Nature-Inspired Algorithms from Oceans to Space: A Comprehensive Review of Heuristic and Meta-Heuristic Optimization Algorithms and Their Potential Applications in Drones / S. Darvishpoor, A. Darvishpour, M. Escarcega, M. Hassanalian // *Drones*. 2023. Vol. 7, Is. 7. Art. No. 427. 134 p. DOI: 10.3390/drones7070427.

9. Bio-Inspired Computation for Big Data Fusion, Storage, Processing, Learning and Visualization: State of the Art and Future Directions / A.I. Torre-Bastida, J. Díaz-de-Arcaya, E. Osaba, [et al.] // *Neural Computing and Applications*. Special Issue: Data Fusion in the era of Data Science. 2021. 31 p. DOI: 10.1007/s00521-021-06332-9.

10. Chen, Q. Fair Assortment Planning / Q. Chen, N. Golrezaei, F. Susan // *ArXiv*. 2022. Vol. 2208.07341. 74 p. DOI: 10.48550/arXiv.2208.07341.

11. Hamann-Lohmer, J. Production Planning and Scheduling in Multi-Factory Production Networks: A Systematic Literature Review / J. Hamann-Lohmer, R. Lasch // *International Journal of Production Research*. 2021. Vol. 59, Is. 7. Pp. 2028–2054. DOI: 10.1080/00207543.2020.1797207.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Ахмед Худайр Аббас** — канд. техн. наук. Факультет компьютерных наук, Университет Диялы, Баакуба, Ирак. E-mail: [dr.ahmed.k.abbas@uodiyala.edu.iq](mailto:dr.ahmed.k.abbas@uodiyala.edu.iq)

Статья поступила в редакцию 24.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

# Анализ и перспективы применения методов машинного обучения для чрезвычайных ситуаций

**О. З. Корабошев**

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта  
Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** Рассматривается использование методов машинного обучения для управления чрезвычайными ситуациями, такими как пожары, наводнения, землетрясения. Основное внимание уделяется прогнозированию бедствий, системам раннего предупреждения, мониторингу и реагированию на стихийные бедствия. Рассматриваются методы глубокого обучения, алгоритмы кластеризации и локальной оптимизации, а также стохастические алгоритмы.

**Ключевые слова:** машинное обучение, глубокое обучение, алгоритм кластеризации, алгоритмы локальной оптимизации, стохастические алгоритмы, управление чрезвычайными ситуациями, системы раннего предупреждения.

**Для цитирования:** Корабошев О. З. Применение методов машинного обучения в управлении чрезвычайными ситуациями: анализ и перспективы // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2024. № 1 (37). С. 12–17. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-12-17

## ВВЕДЕНИЕ

Чрезвычайные ситуации, такие как пожары, наводнения, землетрясения, ежегодно приводят к гибели людей и разрушениям инфраструктуры. Управление такими бедствиями требует надежных решений, основанных на информационных технологиях и методах машинного обучения. В данной статье рассматривается применение методов машинного обучения для анализа и управления чрезвычайными ситуациями с акцентом на прогнозировании бедствий и системы раннего предупреждения.

Операции по управлению чрезвычайными ситуациями проводятся до, во время и после стихийного бедствия, чтобы предотвратить гибель людей, защитить людей и инфраструктуру, уменьшить воздействие на экономику и восстановить нормальную жизнь. Сложность стихийных бедствий, а также серьезность и сложность аварийных операций требует надежного принятия решений с помощью информационных технологий и в частности искусственного интеллекта. Эффективное и информированное управление стихийными бедствиями необходимо для преодоления масштабов и последствий стихийных бедствий, и в последние годы используются достижения в области машинного обучения и глубокого обучения.

## АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В представленной таблице приведена классификация чрезвычайных ситуаций [1].

Области применения включают стихийные бедствия, такие как пожары, ураганы, землетрясения, наводнения, лесные пожары и оползни. Однако единого определения стихийного бедствия не существует. По другой классификации, бедствия делятся на стихийные и техногенные. Кроме того, в 2022 году стихийные бедствия, связанные с климатом, в основном стали причиной нескольких бедствий, зарегистрированных в этом году. Управление чрезвычайными ситуациями предотвращает стихийные бедствия с течением времени. Распространены четыре отдельных этапа: смягчение последствий, подготовка, реагирование и восстановление. Смягчение связано с действиями, которые предотвращают возникновение бедствия или уменьшают его последствия. Готовность включает мероприятия, которые подготавливают сообщества к реагированию на стихийное бедствие, такие как планирование действий в чрезвычайных ситуациях, заблаговременное размещение предметов снабжения, обучение и обучение населения тому, как лучше реагировать на стихийное бедствие или смягчать последствия стихийного бедствия. В обязанности входят операции по реализации планирования для защиты жизни и имущества, окружающей среды и социально-экономической структуры сообщества. Чрезвычайная помощь и реагирование также включают в себя такие действия, как планирование действий в чрезвычайных ситуациях, аварийно-спасательная и медицинская помощь, открытие убежищ и управление ими, распределение предметов снабжения и оценка ущерба. Это один из наиболее изученных этапов, поскольку именно на этом этапе люди и инфраструктура нуждаются в самой непосредственной поддержке. На этом этапе время имеет решающее значение, поэтому методы сосредоточены не только на высокоточных результатах, но и на быстродействующих и оптимизированных методах. Восстановление (реконструкция) предполагает длительные усилия, направленные на возвращение общества к нормальной жизни. Мероприятия на этом этапе включают финансовую помощь и реконструкцию, например, зданий и базовой инфраструктуры. Кроме того, активное участие местных сообществ в управлении стихийными бедствиями может привести к устойчивости сообщества [2].

Классификация чрезвычайных ситуаций

Виды чрезвычайных ситуаций	Территориальная принадлежность	Количество погибших, пострадавших
Локального характера	Территория организации (объекта)	Не более 10 человек
Муниципального характера	Территория одного муниципального образования	Не более 50 человек
Межмуниципального характера	Территория двух и более муниципальных образований	Не более 50 человек
Регионального характера	Территория одного субъекта	От 50 до 500 человек
Межрегионального характера	Территория двух и более субъектов	От 50 до 500 человек
Федерального характера	—	Свыше 500 человек

**МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Методы искусственного интеллекта, используемые на всех этапах для помощи в управлении стихийными бедствиями, состоят из нескольких методов машинного обучения и глубокого обучения. Методы машинного обучения поддерживают векторную машину (SVM), методы Naïve Bayes (NB), деревья решений (DT), случайный лес (RF), логистическую регрессию (LR) и k-ближайший сосед (KNN), включая алгоритм кластеризации. С другой стороны, методы глубокого обучения включают в себя различные архитектуры искусственных нейронных сетей (ANN), такие как сверточные нейронные сети (CNN), многослойный перцептрон (MLP), рекуррентные нейронные сети (RNN), нейронные сети с долговременной кратковременной памятью (LSTM), архитектура преобразователя и генеративно-состязательные сети (GAN). Машинное обучение и глубокое обучение помогают разрабатывать системы, которые могут прогнозировать аварии на основе больших и сложных наборов данных, а также разрабатывать инструменты реагирования и восстановления, а также практические инструменты поддержки принятия решений после таких событий. Эти методы используют преимущества возможности мани-

пулировать различными типами данных из нескольких источников и выявлять закономерности, обеспечивающие интеллектуальную информацию, которая в противном случае не была бы раскрыта. Большие данные доступны из таких источников, как спутниковые снимки, беспилотные летательные аппараты (UAV), социальные сети, краудсорсинг (crowdsourcing), географические информационные системы (GIS) и сети беспроводных датчиков [3].

Для построения классификатора на основе нейронных сетей необходимо выполнить следующие этапы:

- предварительная обработка данных;
- выбор топологии сети;
- выбор способов определения количества скрытых слоев;
- выбор способов определения количества нейронов скрытых слоев;
- выбор способов инициализации начальных весов;
- выбор алгоритма обучения сети, выбор способов оценки работы сети.

На рис. 1 показан пошаговый процесс обучения нейронной сети.

Одним из ключевых этапов в работе нейронной сети является процесс обучения с целью подбора весовых

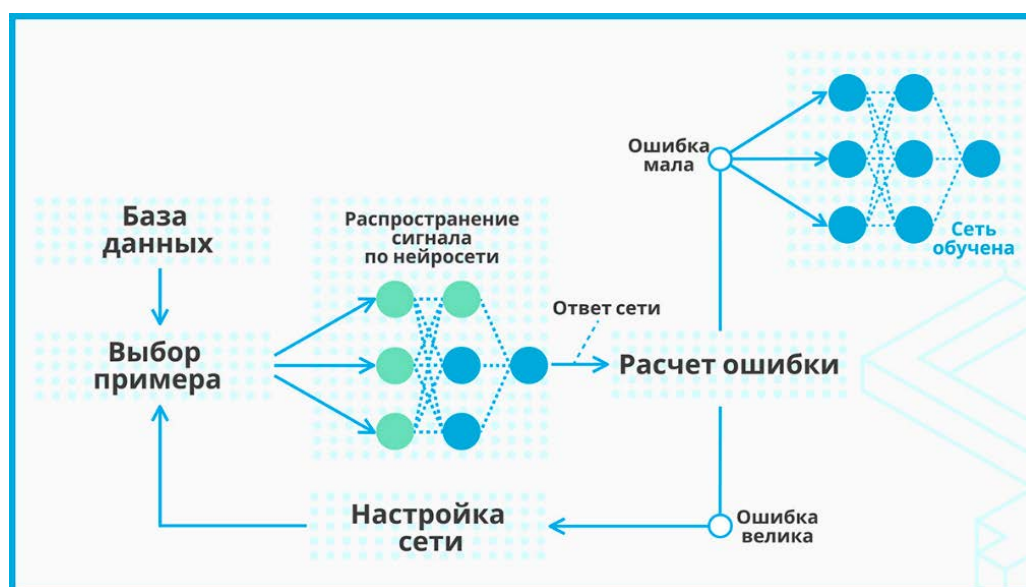


Рис. 1. Процесс обучения нейронной сети

Примерный набор данных о пожарах

Локация	Время суток	Причина пожара	Тип здания	Количество травм	Количество погибших
Объект 1	2:00 AM	Электрический	Высокий	3	0
Объект 2	11:00 PM	Кулинария	Маленькая семья	1	0
Объект 3	8:00 PM	Поджог	Склад	0	2
Объект 4	1:00 PM	Курение	Квартира	2	1
Объект 5	4:00 AM	Электрический	Офис	0	0
Объект 6	10:00 PM	Кулинария	Многоквартирный	4	3

коэффициентов. Математическая постановка задачи обучения нейронной сети — минимизация целевой функции ошибки нейронной сети. Широко распространенный метод градиентного спуска имеет ряд недостатков (низкая скорость сходимости, высокое число априорных показателей, проблема локального минимума). Альтернативой методу градиентного спуска является генетический алгоритм минимизации функции стоимости нейронной сети, который базируется на принципе естественного отбора и позволяет избежать многих проблем на этапе обучения сети. Также появляется возможность с помощью генетического алгоритма решить задачу выбора последовательности управляющих воздействий, при которой отклонение прогнозируемого значения комплексной оценки (или отдельного показателя электроэнергетической системы) от желаемого (требуемого значения показателя) минимально [4].

При обучении без учителя обучающее множество состоит лишь из входных векторов. Обучающий алгоритм подстраивает веса сети так, чтобы получались согласованные выходные векторы, то есть чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы. Процесс обучения, следовательно, выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует сходные векторы в классы. Предъявление на вход вектора из данного класса даст определенный выходной вектор, но до обучения невозможно предсказать, какой выход будет производиться данным классом входных векторов. Следовательно, выходы подобной сети должны трансформироваться в некоторую понятную форму, обусловленную процессом обучения. Это не является серьезной проблемой. Обычно несложно идентифицировать связь между входом и выходом, установленную сетью [5].

Математически процесс обучения можно описать следующим образом: в процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал  $Y$ , реализуя некоторую функцию  $Y = G(X)$ . Если архитектура сети задана, то вид функции  $G$  определяется значениями синаптических весов и смещенной сети. Пусть решением некоторой задачи является функция  $Y = F(X)$ , заданная параметрами входных-выходных данных, для которых  $Y^k = F(X^k)$ , ( $k = 1, 2, \dots, N$ ). Обучение состоит в поиске (синтезе) функции  $G$ , близкой к  $F$  в смысле некоторой функции ошибки  $E$ . Если выбрано множество обучающих примеров — пар  $(X^n, Y^n)$

(где  $k = 1, 2, \dots, N$ ) и способ вычисления функции ошибки  $E$ , то обучение нейронной сети превращается в задачу многомерной оптимизации, имеющую очень большую размерность, при этом, поскольку функция  $E$  может иметь произвольный вид, обучение в общем случае — многоэкстремальная невыпуклая задача оптимизации. Для решения этой задачи могут использоваться следующие (итерационные) алгоритмы:

1. Алгоритмы локальной оптимизации с вычислением частных производных первого порядка: градиентный алгоритм (метод наискорейшего спуска); методы с одномерной и двумерной оптимизацией целевой функции в направлении антиградиента; метод сопряженных градиентов; методы, учитывающие направление антиградиента на нескольких шагах алгоритма.

2. Алгоритмы локальной оптимизации с вычислением частных производных первого и второго порядка: метод Ньютона; методы оптимизации с разреженными матрицами Гессе; квазиньютоновские методы; метод Гаусса — Ньютона; метод Левенберга — Марквардта и др.

3. Стохастические алгоритмы оптимизации: поиск в случайном направлении; имитация отжига; метод Монте-Карло (численный метод статистических испытаний).

4. Алгоритмы глобальной оптимизации (задачи глобальной оптимизации решаются с помощью перебора значений переменных, от которых зависит целевая функция) [6].

В табл. 2 представлен примерный набор данных о пожарах, где каждый инцидент описывается несколькими признаками, такими как местоположение, время суток, причина пожара, тип здания, количество травм и количество погибших.

На этом наборе данных можно обучить модель машинного обучения для прогнозирования вероятности травм или смертельных исходов в будущих пожарах на основе входных данных. Результатом модели может быть двоичный прогноз (например, травма или отсутствие травмы) или оценка вероятности, указывающая вероятность травм или смертельных исходов в данном инциденте с пожаром. Чтобы сделать прогноз с помощью модели машинного обучения на основе приведенной выше таблицы, нам сначала нужно обучить модель на большем наборе данных о пожарах с похожими характеристиками. Однако я могу привести гипотетический пример того, как модель машинного обучения можно использовать для прогнозирования на основе функций в таблице.

Модель машинного обучения

Локация Объект 1	Время суток (нормализованное)	Причина пожара (электрический)	Тип здания (высокий)
1	0,083	1	1

Предположим, у нас есть модель машинного обучения, обученная прогнозировать вероятность травм при пожаре на основе местоположения, времени суток, причины пожара и типа здания. Модель достигла точности 80 % на наборе данных проверки (табл. 3).

Конечный результат, полученный с использованием модели машинного обучения, будет зависеть от конкретной решаемой проблемы и показателей оценки, используемых для измерения производительности модели. Чтобы сделать прогноз с использованием алгоритма на основе приведенной выше таблицы, нам сначала нужно определить алгоритм и его правила. Для целей этого примера рассмотрим простой алгоритм, предсказывающий вероятность травм при пожаре на основе следующих правил:

- если причиной возгорания является приготовление пищи, высока вероятность травм;
- если тип здания многоэтажный, то вероятность травм умеренная;
- если тип здания представляет собой дом на одну семью или офисное здание, вероятность травм невелика;
- если время суток между 23:00 и 6:00 утра, вероятность травм высока;
- если время суток между 6:00 и 18:00, вероятность травм умеренная;
- если время суток между 18:00 и 23:00, вероятность травм низкая;
- если число погибших больше 0, вероятность травм высокая.

Основываясь на этих правилах, мы можем делать прогнозы для каждой строки таблицы следующим образом:

- ряд 1. Причина пожара — электрическая, тип здания — многоэтажный, поэтому вероятность травм умеренная;
- ряд 2. Причина пожара — приготовление пищи, тип здания — одноквартирный, поэтому вероятность травм низкая;
- ряд 3. Причина пожара — поджог, тип здания — склад, поэтому у нас недостаточно информации, чтобы сделать прогноз;
- ряд 4. Причина возгорания — курение, тип здания — квартира, поэтому вероятность травм умеренная;
- ряд 5. Причина возгорания — электричество, тип здания — офис, поэтому вероятность травм низкая;
- ряд 6. Причина пожара — приготовление пищи, тип здания — многоквартирный, поэтому вероятность травм умеренная.

Важно отметить, что точность прогнозов алгоритма будет зависеть от качества правил и допущений, сделанных в отношении взаимосвязи между входными характеристиками и вероятностью травм при пожаре. На практике модель машинного обучения может выявлять более

сложные закономерности в данных и делать более точные прогнозы, чем такой простой алгоритм.

Основываясь на этих особенностях, модель машинного обучения прогнозирует 75 % вероятность травм при пожаре. Этот прогноз основан на усвоенных моделях закономерностей из обучающего набора данных и предположениях, сделанных в отношении взаимосвязи между входными характеристиками и вероятностью травм при пожаре. Однако важно отметить, что это всего лишь гипотетический пример и точность прогноза будет зависеть от качества обучающих данных и производительности модели машинного обучения. Предлагается использовать модели, основанные на синтезе искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов, для выбора последовательности управляющих воздействий для различных ситуаций. Чрезвычайные ситуации являются одной из основных причин гибели людей и ущерба инфраструктуре и имуществу. Достижения в области машинного и глубокого обучения все чаще используются для управления сложными стихийными бедствиями. В этих случаях к различным пожарам, стихийным бедствиям, в том числе наводнениям, лавовым потокам, землетрясениям, тайфунам, ураганам, оползням, применялись различные методы машинного обучения и глубокого обучения. Рассмотренные исследования сосредоточены на пожарах, стихийных бедствиях и прогнозировании опасностей, оценке риска и уязвимости, обнаружении бедствий, системах раннего предупреждения, мониторинге бедствий, оценке ущерба и реагировании после бедствий, а также на прикладных исследованиях и приложениях.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Будущие исследования должны сосредоточиться на использовании методов машинного обучения для повышения эффективности операций аварийного восстановления. Методы глубокого обучения и алгоритмы кластеризации могут помочь усилить меры по смягчению последствий стихийных бедствий, уменьшить уязвимость и оценить устойчивость инфраструктуры. Применение машинного обучения в управлении чрезвычайными ситуациями открывает новые перспективы для эффективного реагирования на бедствия и минимизации их негативных последствий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sun, W. Applications of Artificial Intelligence for Disaster Management / W. Sun, P. Bocchini, B.D. Davison // Natural Hazards. 2020. Vol. 103, Is. 3. Pp. 2631–2689. DOI: 10.1007/s11069-020-04124-3.



2. Drakaki, M. Investigating the Impact of Site Management on Distress in Refugee Sites Using Fuzzy Cognitive Maps / M. Drakaki, P. Tzionas // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021. Vol. 60. Art. No. 102282. 15 p. DOI: 10.1016/j.ijdr.2021.102282.

3. Drakaki, M. An Intelligent Multi-Agent Based Decision Support System for Refugee Settlement Siting / M. Drakaki, H.G. Gören, P. Tzionas // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2018. Vol. 31. Pp. 576–588. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.06.013.

4. Воропай, Н. И. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы / Н. И. Воропай, В. А. Стенников // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2014. № 1. С. 64–73.

5. Галушкин, А. И. Нейронные сети: основы теории. — Москва: Горячая линия — Телеком, 2012. — 496 с.

6. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и их приложения: Учебное пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2018. — 121 с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Корабосhev Ойбек Зокирович** — аспирант. Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта, Ташкент, Узбекистан. E-mail: koraboshevoybek@gmail.com

Статья поступила в редакцию 07.12.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

# Machine Learning in Emergency Management: Analysis and Methods

**O. Z. Koraboshev**

Digital Technologies and Artificial Intelligence Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** This article focuses on fire research, disaster and hazard forecasting, risk and vulnerability assessment, early detection of disasters, early warning systems, disaster monitoring, damage assessment and post-disaster response, and case studies.

**Keywords:** machine learning, deep learning, vector machine, clustering algorithm, local optimization algorithms, local optimization algorithms, stochastic algorithms.

**For citation:** Koraboshev O. Z. Machine Learning in Emergency Management: Analysis and Methods // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 12–17. (In Russian)* DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-12-17

## REFERENCES

1. Sun W., Bocchini P., Davison B. D. Applications of Artificial Intelligence for Disaster Management, *Natural Hazards*, 2020, Vol. 103, Is. 3, Pp. 2631–2689. DOI: 10.1007/s11069-020-04124-3.
2. Drakaki M., Tzionas P. Investigating the Impact of Site Management on Distress in Refugee Sites Using Fuzzy Cognitive Maps, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2021, Vol. 60, Art. No. 102282, 15 p. DOI: 10.1016/j.ijdr.2021.102282.

3. Drakaki M., Gören H. G., Tzionas P. An Intelligent Multi-Agent Based Decision Support System for Refugee Settlement Siting, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, Vol. 31, Pp. 576–588. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.06.013.

4. Voropai N. I., Stennikov V. A. Integrated Smart Energy Systems [Integrirovannye intellektualnye energeticheskie sistemy], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika*, 2014, No. 1, Pp. 64–73.

5. Galushkin A. I. Neural networks: Fundamentals of theory [Neyronnye seti: osnovy teorii]. Moscow, Goryachaya liniya — Telekom Publishing House, 2012, 496 p.

6. Gafarov F. M., Galimyanov A. F. Artificial neural networks and their applications: Study guide [Iskusstvennye neyronnye seti i ikh prilozheniya: Uchebnoe posobie]. Kazan, Kazan Federal University, 2018, 121 p.

## INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Koraboshev Oybek Zokirovich** — postgraduate student. Digital Technologies and Artificial Intelligence Research Institute, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: koraboshevoybek@gmail.com

The article was submitted 07.12.2024; approved after reviewing 10.03.2024.

# Экспертная система для диагностики неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта

д-р техн. наук **Р. М. Алиев**, канд. техн. наук **М. М. Алиев**, канд. техн. наук **Э. Т. Тохиров**  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** Представлены алгоритм и программы для экспертной системы, предназначенной для определения неисправности рельсовой цепи на железнодорожном транспорте. Исследованы математическая и имитационная модели для определения режимов работы рельсовой цепи с токовым съемом. Разработаны алгоритмы и программы для создания экспертных систем на основе этих моделей, что позволяет оперативно диагностировать неисправности и предоставлять рекомендации по их устранению.

**Ключевые слова:** экспертная система, хранилище знаний, производственная модель, семантическая модель, фреймовая модель, формальные логические модели, алгоритм, рельсовые цепи, механизм принятия решений.

**Для цитирования:** Алиев Р. М., Алиев М. М., Тохиров Э. Т. Экспертная система для диагностики неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 18–25. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-18-25

## ВВЕДЕНИЕ

Рельсовые цепи являются важным элементом железнодорожного транспорта, и их надежность играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения поездов. Диагностирование неисправностей в рельсовых цепях является актуальной задачей, требующей оперативного реагирования [1].

В данной статье рассматривается разработка экспертной системы для определения неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта, что позволяет оперативно выявлять и устранять проблемы. Диагностирование и преждевременное выявление причины неисправности считается актуальной задачей в области исследования [2].

Большинство отказов в рельсовых цепях происходит во время понижения напряжения за счет большого затухания, что может быть вызвано обрывом или плохой сваркой соединителей и перемычек в рельсах, а также возмущающих факторов природного происхождения, и нужно учитывать асимметрию тока вдоль рельсовой линии [3]. Также причи-

ной затухания в рельсовых цепях может быть уменьшение сопротивления изоляции [6]. Несмотря на то что отказы в аппаратуре питающего и релейного концов составляют малую долю отказов рельсовой цепи, при выяснении причины отказа вначале следует проверить именно эти элементы [4, 5, 7].

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ БЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ С ТОКОВЫМ ПУТЕВЫМ ПРИЕМНИКОМ

Работа рельсовых цепей во многом зависит от условий, в которых они находятся [8–13]. Для разработки систем диагностирования и последующего экспертного обособления разработан обобщенный алгоритм проверки тональной рельсовой цепи на уровне релейной составляющей, который приведен на рис. 1.

Во время поиска неисправности следует руководствоваться индивидуальными нормами, выданными проектным институтом [1, 2]. Но запоминать каждую инструкцию по устранению неисправности считается трудной задачей, и на практике многие специалисты СЦБ доверяются своему опыту, нежели инструкции, так как не все написанное можно применить на практике. Кроме того, в нужные моменты читать бумажную или электронную книгу и находить нужную информацию тоже сложно. Во многих случаях лучше спросить совет по устранению неисправности у эксперта в данной области. Он может дать дельные советы по выявлению и устранению неисправности. Экспертом является человек, который имеет огромный опыт в определенной области науки и техники. В век информационных технологий экспертные системы и искусственный интеллект широко используются в качестве авторитетных источников. Экспертные системы выполняют ту же функцию, что и эксперт, поскольку эти системы включают знания эксперта в данной области. Основа экспертной системы состоит из базы знаний и механизма выводов.

Таким образом, использование и внедрение экспертных систем в железнодорожной отрасли решит проблему нехватки квалифицированных специалистов и в целом станет полезным инструментом, который дает советы по выявлению и устра-

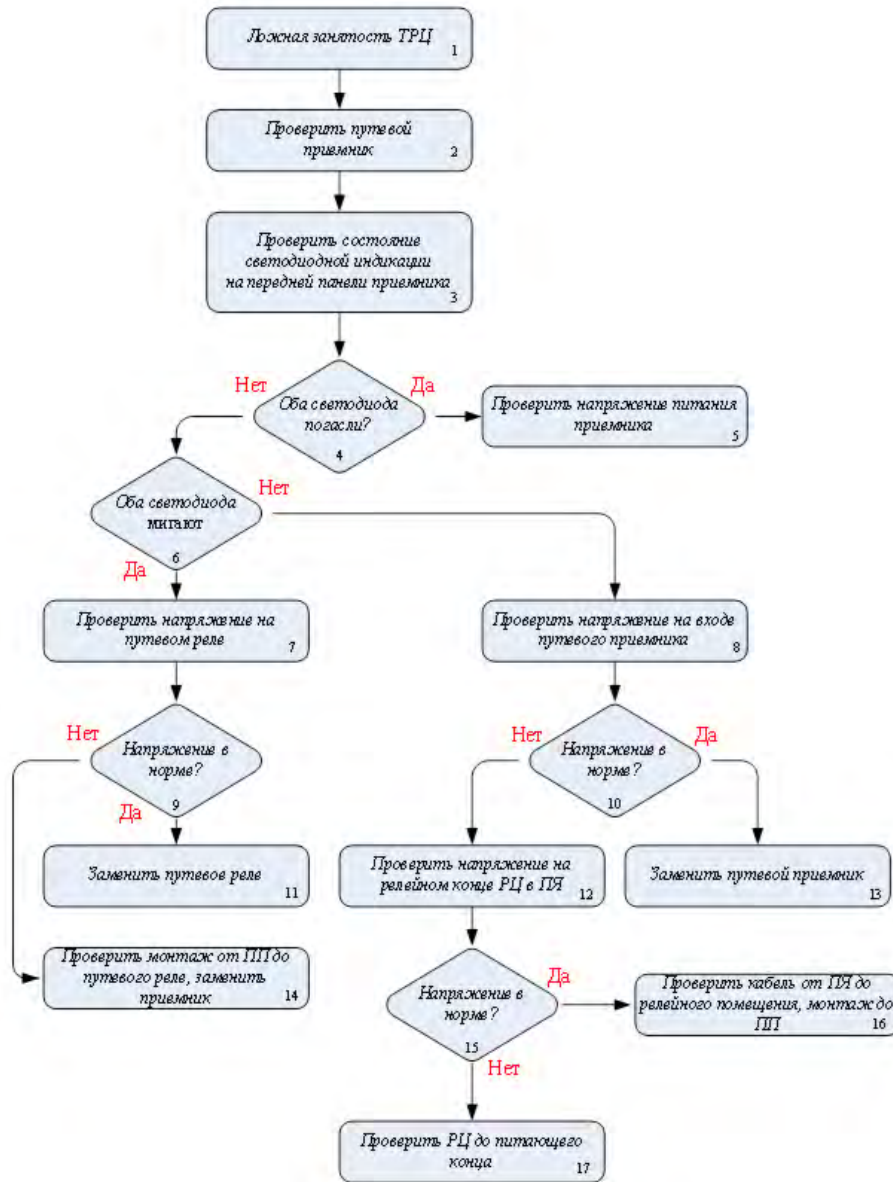


Рис. 1. Обобщенный алгоритм поиска неисправности РЦ

нению неисправностей в системах автоматизации и телемеханики.

На рис. 2 представлена структурная схема экспертной системы, которая состоит из следующих элементов:

- база знаний содержит факты, описывающие проблемную область, а также логическую связь этих фактов. Правила занимают центральное место в базе знаний;
- интерпретатор — это логическая машина, которая занимается обработкой знаний;
- модуль создания системы — программа, позволяющая создавать набор правил (LISP, Prolog или любой алгоритмический язык).

Для создания экспертных систем необходимо правильно понимать все нюансы в этой области, поэтому ниже приводится математическое моделирование бесстыковой рельсовой цепи с токовым съемом тональной частоты и исследован нормальный режим их работы.

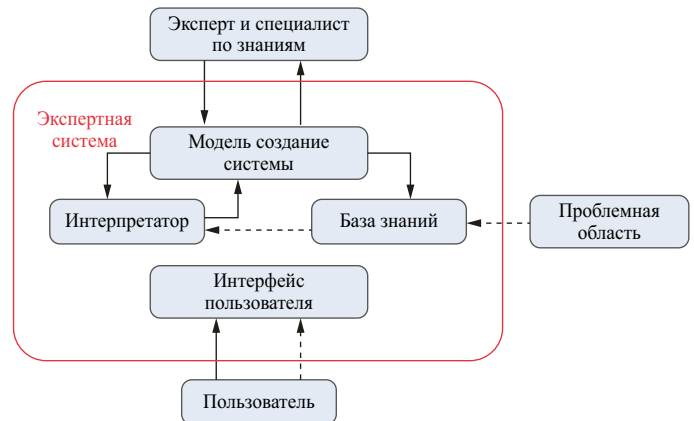


Рис. 2. Структурная схема экспертной системы

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Одним из основных датчиков систем автоматики являются рельсовые цепи, от которых зависит безопасность движения поездов. Одним из условий является выполнение нормального режима работы бесстыковых рельсовых цепей с токовым съемом при асимметрии тока, минимальном сопротивлении балласта и возмущающих факторов, которые влияют на работу бесстыковых рельсовых цепей.

Для определения работы в нормальном режиме представим бесстыковую рельсовую цепь схемой замещения (рис. 3).

В литературных источниках [5] приведены выражения для определения коэффициентов рельсового четырехполюсника в нормальном режиме их работы. Однако указанные выражения получены в предположении, что рельсовые линии слева и справа от точек подключения аппаратуры имеют одинаковые параметры, что не соответствует реальным условиям. С целью получения более точных выражений для расчета коэффициентов рельсового четырехполюсника рассмотрим два смежных элемента  $dx$  симметричных рельсовых линий, расположенных справа и слева от точки подключения аппаратуры (рис. 4).

Из теории рельсовых цепей известно, что изменения напряжений и токов вдоль рельсовой линии описываются уравнениями:

$$U_x = M(A_1 ch\varphi\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x) + N(A_3 ch\gamma_2 x + A_4 sh\gamma_2 x); \quad (1)$$

$$I_x = Y_{12}(A_1 sh\varphi\gamma_1 x + A_2 ch\gamma_1 x) + Y_{12}(A_3 sh\gamma_2 x + A_4 ch\gamma_2 x), \quad (2)$$

$$\text{где } M = \frac{\gamma_1^2 - Z_1(q_1 + q_{12}) + Z_m q_{12}}{Z_m(q_2 + q_{12}) - Z_1 q_{12}}; \quad N = \frac{\gamma_2^2 - Z_2(q_1 + q_{12}) + Z_m q_{12}}{Z_m(q_2 + q_{12}) - Z_1 q_{12}},$$

$$Y_{11} = \gamma_1 \frac{Z_2 - MZ_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2}; \quad Y_{12} = \gamma_2 \frac{Z_2 - NZ_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2};$$

$$Y_{21} = \gamma_1 \frac{MZ_2 - Z_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2}; \quad Y_{22} = \gamma_2 \frac{NZ_2 - Z_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2};$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{1}{2}[q_{12}(2Z_1 \cdot 2Z_2) + (q_1 + q_2) - 2Z_m] + \sqrt{\frac{1}{4}[q_1 q_2 + q_1 q_{12} + q_2 q_{12}]}}; \quad (3)$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{1}{2}[q_{12}(2Z_1 \cdot 2Z_2) - (q_1 - q_2) + 2Z_m] + \sqrt{\frac{1}{4}[q_1 q_2 + q_1 q_{12} + q_2 q_{12}]}}. \quad (4)$$

В этих уравнениях постоянные интегрирования  $A_1, A_2, A_3, A_4$  определяются в соответствии с граничными условиями для датчиков контроля без изолирующих стыков.

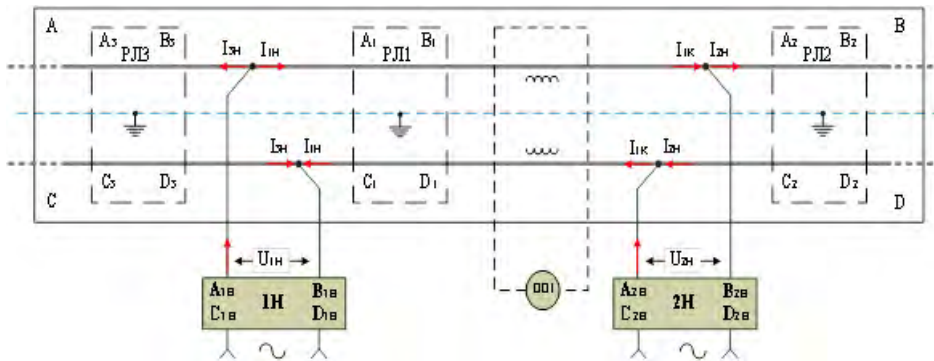


Рис. 3. Общая схема замещения датчика контроля без изолирующих стыков с токовым путевым приемником

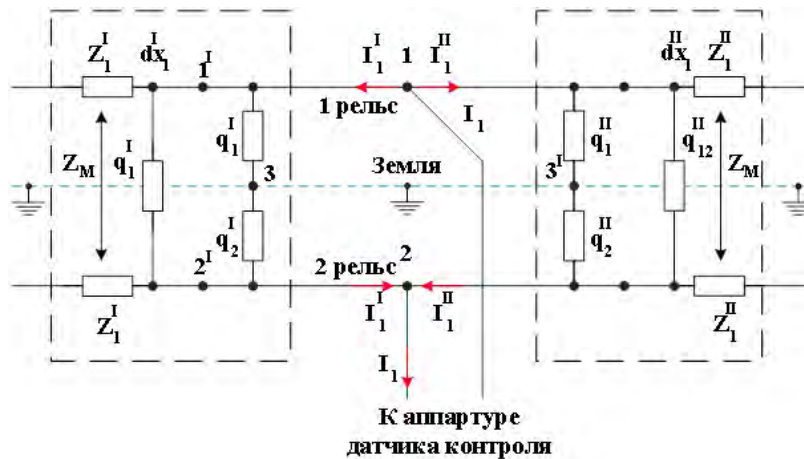


Рис. 4. Эквивалентная схема элементов  $dx$  рельсовой линии

Схема замещения датчика контроля без изолирующих стыков для общего случая приведена на рис. 5. Как видно из рисунка, рельсовая линия может быть разделена на три участка с различным распределением токов в рельсах. Положительные направления токов и напряжений и начало отсчета для каждого из участков показаны на рис. 3. При определении изменений токов и напряжений вдоль рельсовой линии каждого из участков необходимо учитывать токи, втекающие из смежных участков. Это обстоятельство очень сильно усложняет общую картину распределения токов и напряжений вдоль асимметричной рельсовой линии без изолирующих стыков.

Постоянные интегрирования всех трех участков с учетом схемы рис. 3 находятся из следующих граничных условий:

при  $x = 0; y = 0$ :

$$\begin{aligned} (I'_{1k} - I'_{2k}) - (I''_{1k} - I''_{2k}) &= 2I_2; \\ (I''_{1k} - I''_{2k}) - (I'_{1k} + I'_{2k}) &= 0; \\ U'_{1k} - U''_{1k} &= 0; \\ U'_{2k} - U''_{2k} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

при  $x = l; z = 0$ :

$$\begin{aligned} I'_{1n} + I'_{2n} - I'''_{1k} - I'''_{2k} &= 0; \\ U'_{1n} - U'''_{1k} &= 0; \\ U'_{2n} - U'''_{2k} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Рельсовые линии участков 2 и 3 можно считать бесконечно длинными и замкнутыми в начале, в этом случае получим следующие уравнения для граничных условий:

при  $y = \infty$ :

$$\begin{aligned} U''_{1n} - U''_{2n} &= 0; \\ I''_{1n} + I''_{2n} &= 0; \end{aligned} \quad (7)$$

при  $z = \infty$ :

$$\begin{aligned} U'''_{1n} - U'''_{2n} &= 0; \\ I'''_{1n} + I'''_{2n} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Если постоянные интегрирования первого, второго и третьего участков рельсовой линии обозначить соответственно  $A'_1 \div A'_4, A''_1 \div A''_4$  и  $A'''_1 \div A'''_4$ , то, пользуясь уравнениями 1÷8, получим систему из 12 уравнений с 12 неизвестными.

$$\begin{aligned} 0 &= (Y_{11} + Y_{21})A''_4 + (Y_{12} + Y_{22})A'_2 - (Y_{11} + Y_{21})A'_2 - (Y_{12} + Y_{22})A'_4; \\ 0 &= MA'_1 + NA'_3 - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'_1 sh\gamma_1 l + A'_2 ch\gamma_1 l) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'_3 sh\gamma_2 l + A'_4 ch\gamma_2 l) - (Y_{11} + Y_{21})A''_2 - (Y_{12} + Y_{22})A''_4; \\ 0 &= A'_1 ch\gamma_1 l + A'_2 sh\gamma_1 l + A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l - A''_1 - A''_3; \\ 0 &= M(A'_1 ch\gamma_1 l + A'_0 sh\gamma_1 l) + N(A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l) - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})A''_1 + (Y_{12} + Y_{22})A'_2 - (Y_{11} + Y_{21})A'_2 - (Y_{12} + Y_{22})A'_4; \\ 0 &= MA'_1 + NA'_3 - MA''_1 - NA''_3; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'_1 sh\gamma_1 l + A'_2 ch\gamma_1 l) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'_3 sh\gamma_2 l + A'_4 ch\gamma_2 l) - (Y_{11} + Y_{21})A''_2 - (Y_{12} + Y_{22})A''_4; \\ 0 &= A'_1 ch\gamma_1 l + A'_2 sh\gamma_1 l + A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l - A''_1 - A''_3; \\ 0 &= M(A'_1 ch\gamma_1 l + A'_0 sh\gamma_1 l) + N(A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l) - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (1 - M)(A'''_1 ch\gamma_1 l_\infty + A'''_2 sh\gamma_1 l_\infty) + \\ &+ (1 - N)(A'''_3 ch\gamma_2 l_\infty + A'''_4 sh\gamma_2 l_\infty); \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'''_1 sh\gamma_1 l_\infty + A'''_2 ch\gamma_1 l_\infty) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'''_3 sh\gamma_2 l_\infty + A'''_4 ch\gamma_2 l_\infty). \end{aligned}$$

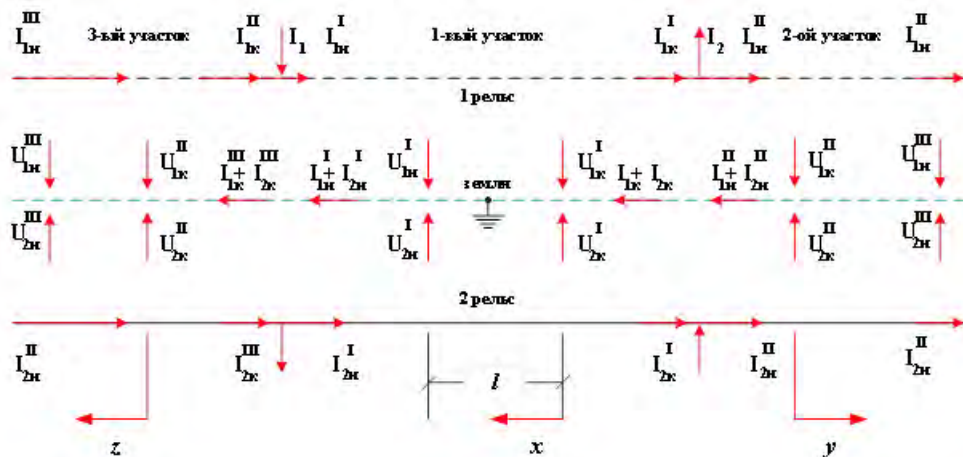


Рис. 5. Схема замещения бесстыковой рельсовой цепи в нормальном режиме

Данная система из 12 уравнений была решена методом Гаусса (метод последовательного исключения неизвестных), определены постоянные интегрирования для всех трех участков, которые выражаются:

$$\begin{aligned}
 A_1^I &= U_2 H_7 - I_2 H_8; \\
 A_2^I &= -U_2 H_7 + I_2 \left[ H_8 - \frac{Y_{12} + Y_{22}}{Y_{12} Y_{21} - Y_{11} Y_{22}} \right]; \\
 A_3^I &= U_2 \left[ \frac{1}{1-N} - \frac{1-M}{1-N} H_7 \right] + I_2 H_8 \frac{1-M}{1-N}; \\
 A_4^I &= U_2 H_5 + I_5 \left[ H_6 + \frac{Y_{11} + Y_{21}}{Y_{12} Y_{21} - Y_{11} Y_{22}} \right]; \\
 A_1^{II} &= U_2 H_7 - I_2 H_8; \\
 A_2^{II} &= -U_2 H_7 + I_2 H_8; \\
 A_3^{II} &= U_2 \left[ \frac{1}{1-N} - \frac{1-M}{1-N} H_7 \right] + I_2 \frac{1-M}{1-N} H_8; \\
 A_4^{II} &= U_2 H_5 - I_2 H_6; \\
 A_1^{III} &= -U_2 H_3 - I_2 H_4 \sqrt{a^2 + b^2}; \\
 A_2^{III} &= U_2 H_3 - I_2 H_4; \\
 A_3^{III} &= U_2 \frac{N}{N_{10} - N_{11}} + I_2 \frac{H_2}{N_{10} - N_{11}}; \\
 A_4^{III} &= -U_2 \frac{H_1}{N_{10} - N_{11}} - I_2 \frac{H_2}{N_{10} - N_{11}}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Напряжение и ток в начале рельсового четырехполюсника выражаются уравнениями:

$$U_1 = U_{1H}^I - U_{2H}^I, \tag{11}$$

$$I_1 = \frac{1}{2} (I_{1H}^I - I_{2H}^I - I_{1K}^{III} - I_{2K}^{III}). \tag{12}$$

Подставив в уравнения 7 и 8 значения  $U_{1H}^I, U_{2H}^I, I_{1H}^I, I_{2H}^I, I_{1K}^{III}, I_{2K}^{III}$ , найденные по уравнениям 5÷8 при условии  $x = 1$  и  $z = 0$ , получим:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (1-M) (A_1^I ch \gamma_1 l + A_2^I sh \gamma_1 l) + \\
 &+ (1-N) (A_3^I ch \gamma_2 l + A_4^I sh \gamma_2 l);
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{1}{2} [(Y_{11} - Y_{21}) (A_1^I sh \gamma_1 l + A_2^I ch \gamma_1 l) + \\
 &+ (Y_{12} - Y_{22}) (A_3^I sh \gamma_2 l + A_4^I ch \gamma_2 l) - (Y_{11} - Y_{21}) A_2^{III} - (Y_{12} - Y_{22}) A_4^{III}].
 \end{aligned} \tag{14}$$

## РЕЗУЛЬТАТ.

### АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ БЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ С ТОКОВЫМ ПУТЕВЫМ ПРИЕМНИКОМ

Из условия обеспечения нормального режима по формулам был разработан алгоритм (рис. 6), составлена программа и проведены исследования на компьютере. Алгоритм определения оптимальной длины датчика контроля состояния путевого участка представлен на рис. 6.

Максимально допустимая длина бесстыковой рельсовой цепи и оптимальные сопротивления по концам определяются из условия обеспечения нормативной шунтовой чувствительности и чувствительности к обрыву рельсовой нити, равной единице, на основе исходных данных, которыми являются сигнальная частота и первичные параметры рельсовой линии.

Возможны два варианта определения оптимальных параметров бесстыковых рельсовых цепей.

1) Максимальная длина рельсовой цепи определяется из условий нормативной шунтовой чувствительности, чувствительности к обрыву рельсовой нити, равной единице, и величины тока надежного срабатывания путевого приемника при нормальном режиме.

В этом варианте определяются максимально допустимая длина рельсовой цепи  $l_{max}$  и соответствующие ей оптимальные модули сопротивлений по концам ( $Z_{вх}^I, Z_{вхк}$ ).

2) Максимально допустимая длина рельсовой цепи определяется из условий обеспечения нормативной шунтовой чувствительности и величины тока надежного срабатывания путевого приемника при нормальном режиме.

На основе описанных выше алгоритмов мы создаем прототип экспертной системы и тестируем его (рис. 7). Прототип экспертной системы был создан на основе языка программирования Python с помощью библиотеки эксперта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование экспертной системы для диагностики неисправностей в рельсовых цепях на железнодорожном транспорте позволяет повысить эффективность обслуживания и обеспечить безопасность движения поездов. Разработанный алгоритм и программы позволяют оперативно выявлять причины неисправностей и предоставлять рекомендации по их устранению, что делает экспертную систему ценным инструментом для специалистов в области автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта.

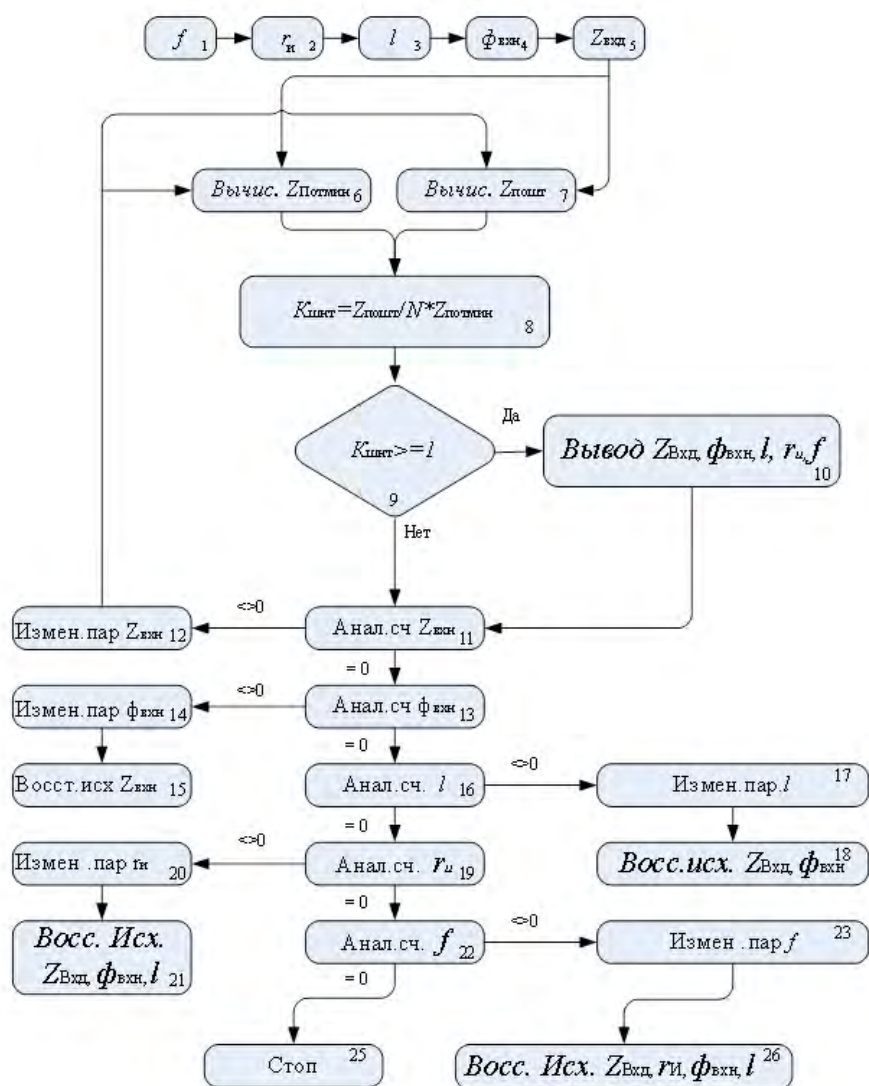


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения оптимальных параметров датчика контроля из условия обеспечения нормального и шунтового режимов работы

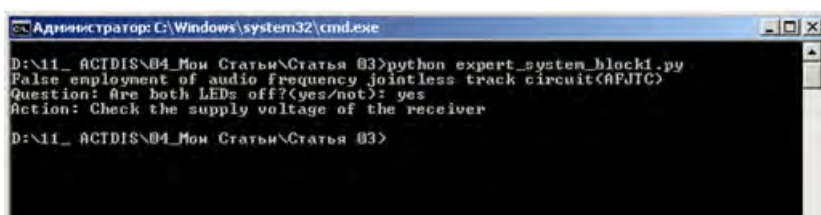


Рис. 7. Прототип экспертной системы



ЛИТЕРАТУРА

1. Tokhirov, E. T. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 237–254. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
2. Aliev, R. M. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport / R. M. Aliev, D. Matvaliyev // Universum: технические науки. 2022. № 11–6 (104). С. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Temir yo'l kesishmalarining xavfsizligini takomillashtirish va funksional samaradorlik holati tahlili / R. Aliev, M. Aliev, E. Tokhirov, [et al.] // Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies. 2022. Vol. 2, Is. 12. Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181-2454-2022-12-152-155. (на узбекском языке)
4. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. — 384 с.
5. Tokhirov, E. T. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 204–220. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
6. Gulyamova, M. K. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors / M. K. Gulyamova, R. M. Aliev // German International Journal of Modern Science. 2022. No. 29, Pp. 38–39.
7. Tokhirov, E. T. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 186–203. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
8. Автоматизация расчета параметров и проверки ТРЦ / Б. Ф. Безродный, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 1. С. 15–17.
9. Гаврилов, А. В. Системы искусственного интеллекта. Часть 1: Учебное пособие. — Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2002. — 79 с.
10. Ignatyevs, S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft / S. Ignatyevs, S. A. Makushkin, S. Spivakovskyy // INCAS Bulletin. 2021. Vol. 13, Special Issue. Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066-8201.2021.13.S.7.
11. Hintze, P. «But That's Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data / P. Hintze, F. Prüter // Signalling + Datacommunication. 2018. Is. 11. Pp. 6–15.
12. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security / S. N. Grinyayev, D. A. Medvedev, D. I. Pravikov, [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2021. Vol. 9, No. 3. Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.
13. Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2006. № 2. С. 101–109.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алиев Равшан Маратович** — доктор технических наук, профессор.

**Алиев Марат Мухаммедович** — кандидат технических наук, доцент.

**Тохиров Эзоз Турсуналиевич** — кандидат технических наук, доцент

Кафедра «Информационные системы и технологии на транспорте», Ташкентский государственный транспортный университет. E-mail: silara@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

# Expert System for Diagnosing Rail Circuit Faults Using Artificial Intelligence

Gr. PhD R. M. Aliev, PhD M. M. Aliev, PhD E. T. Tokhirov

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** The paper presents an algorithm and programs for an expert system designed to determine the failure of a rail circuit in railway transport. Mathematical and simulation models have been studied to determine the operating modes of a rail circuit with current collection. Algorithms and programs have been developed to create expert systems based on these models, which allows to quickly diagnose faults and provide recommendations for their elimination.

**Keywords:** expert system, knowledge repository, product model, semantic model, frame model, formal logical models, algorithm, rail chains, decision-making mechanism.

**For citation:** Aliev R. M., Aliev M. M., Tokhirov E. T. Expert system for diagnosing rail circuit faults using artificial intelligence // *Intellectual Technologies on Transport*. 2024. No. 1 (37). P. 18–25. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-18-25

## REFERENCES

1. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 237–254. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
2. Aliev R. M., Matvaliyev D. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport, *Universum: Technical Sciences [Universum: tekhnicheskie nauki]*, 2022, No. 11–6 (104), Pp. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Aliev R., Aliev M., Tokhirov E., et al. Improving the Safety of Level Crossings and Analyzing the State of Functional Performance, *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies*, 2022, Vol. 2, Is. 12, Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181-2454-2022-12-152-155. (In Uzbek)
4. Gavrilova T. A., Khoroshevsky V. F. Intelligent systems knowledge bases [Bazy znaniy intellektualnykh sistem]. Saint Petersburg, Piter Publishing House, 2001, 384 p.
5. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 204–220. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
6. Gulyamova M. K., Aliev R. M. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors, *German International Journal of Modern Science*, 2022, No. 29, Pp. 38–39.

7. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 186–203. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.

8. Bezrodny B. F., Denisov B. P., Kultin V. B., Rastegaev S. N. Automation of Parameter Calculation and Testing of Tonal Rail Circuits [Avtomatizatsiya rascheta parametrov i proverki TRTs], *Automation, Communication, Informatics [Avtomatika, svyaz, informatika]*, 2010, No. 1, Pp. 15–17.

9. Gavrilov A. V. Artificial Intelligence Systems. Part 1: Study Guide [Sistemy iskusstvennogo intellekta. Chast 1: Uchebnoe posobie]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University, 2002, 79 p.

10. Ignatyevs S., Makushkin S. A., Spivakovskyy S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft, *INCAS Bulletin*, 2021, Vol. 13, Special Issue, Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066-8201.2021.13.S.7.

11. Hintze P., Prüter F. «But That's Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data, *Signalling + Datacommunication*, 2018, Is. 11, Pp. 6–15.

12. Grinyaev S. N., Medvedev D. A., Pravikov D. I., et al. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2021, Vol. 9, No. 3, Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.

13. Vasilenko M. N., Denisov B. P., Kultin V. B., Rastegaev S. N. Calculation of the Parameters and Check of the Operation of the Jointless Tonal Rail Circuits [Raschet parametrov i proverka rabotosposobnosti besстыkovykh tonalnykh relsovykh tsepey], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2006, No. 2, Pp. 101–109.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Aliev Ravshan Maratovich** — Grand PhD in Engineering, Professor.

**Aliev Marat Muxammedovich** — PhD in Engineering, Associate Professor.

**Tokhirov Ezo Tursunaliyevich** — PhD in Engineering, Associate Professor.

Department of Information Systems and Technologies in Transport, Tashkent State Transport University. E-mail: silara@mail.ru

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 10.03.2024.

# COOT Bird-Inspired Algorithm for Daily Fine Particulate Matter Concentration Prediction Statistical Study

Waleed Ahmed Hassen Al-Nuaami  
Diyala University,  
Baquba, Iraq

**Abstract.** Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) poses significant risks to public health and the natural environment. Accurate prediction of PM<sub>2.5</sub> concentration is crucial for effective environmental management. In this study, we present a novel hybrid model, the COOT bird-inspired natural life model combined with Artificial Neural Network (COOT-ANN), for predicting daily PM<sub>2.5</sub> concentration in hyder abad and Delhi from 2014 to 2022. The performance of the COOT-ANN model is compared with stand-alone ANN and Dragonfly-ANN (DA-ANN) hybrid models. Using the Taylor diagram, we demonstrate that the COOT-ANN model exhibits the closest proximity to the observation point, resulting in a 13.94 % and 11.42 % reduction in prediction errors compared to the ANN model in Hyderabad and Delhi, respectively. Furthermore, the box-plot of the COOT-ANN model closely resembles the actual data distribution. Consequently, the COOT-ANN model outperforms both the ANN and DA-ANN models at both monitoring stations. This innovative approach to air quality prediction can significantly enhance the accuracy of environmental protection programs.

**Keywords:** COOT bird-inspired natural life model, Dragonfly algorithm, fine particulate matter, prediction.

**For citation:** Waleed Ahmed Hassen Al-Nuaami. COOT bird-inspired algorithm for daily fine particulate matter concentration prediction statistical study // Intellectual technologies on transport. 2024. No. 1 (37). P. 26–31. (In Russian) DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-26-31

## INTRODUCTION

The global economy's rapid growth over the past two decades, coupled with increased fossil fuel usage, industrialization, and urbanization, has resulted in a significant decline in air quality and the release of high levels of pollutants and haze (Akeson M., Singh P., Wrede F. & Hellander). Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) is a major component of haze and serves as a critical indicator of air quality (Zhang Z., Hua B. S., Yeung S. K. (2019). PM<sub>2.5</sub> is considered the most significant air pollutant in urban areas. It consists of a complex and heterogeneous mixture of solid particles and small liquid droplets with a diameter smaller than 2.5 microns. PM<sub>2.5</sub> exhibits long-lasting characteristics and high mobility in the atmosphere, and it is a primary

Number of Deaths Attributable to PM<sub>2.5</sub> in 2016

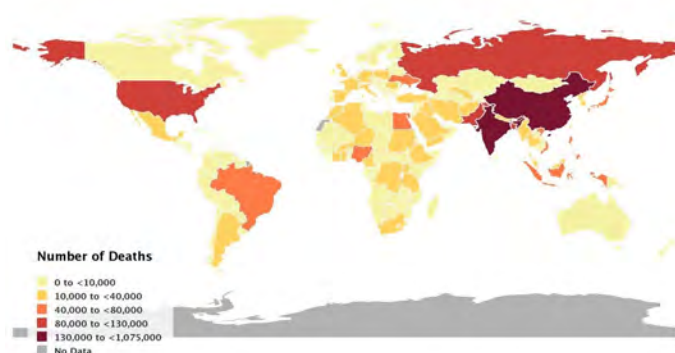


Fig. 1. The number of deaths related to PM<sub>2.5</sub> in 2016

contributor to reduced visibility in cities. Furthermore, fine particulate matter has detrimental environmental effects and plays a significant role in climate change. Increased PM<sub>2.5</sub> emissions lead to reduced soil nutrient levels, increased acidity in surface water, altered nutrient balance in coastal water and river basins, damage to crops and forests, decreased ecosystem diversity, and the deterioration of various materials (Ruospo A. et. al. (2023).

Despite the efforts of civil societies, countries, and international and national organizations, PM<sub>2.5</sub> remains a global health and environmental concern (Lee H., & Song J., 2019).

In 2019, the health damage caused by the release of PM<sub>2.5</sub> in the world was equivalent to 3.3 % of global GDP (2.9 trillion per year). The emission of PM<sub>2.5</sub> is known as the tenth risk factor for increasing mortality in the world. Figure 1 presents the number of deaths attributable to PM<sub>2.5</sub> in 2019. Annually 6.67 million deaths were reported due to the release of PM<sub>2.5</sub> worldwide, which China and India having the highest ranking with 1.38 and 1 million deaths, respectively (World Health Organization, 2020). In 2016, these two countries accounted for 58 % of deaths attributed to PM<sub>2.5</sub> pollution worldwide. Each 1 percent increase in average PM<sub>2.5</sub> concentration has led to 2.5 percent increase in mortality rate in China (Liu X., He C., Zhang Q., Liao M. (2019).

Adverse environment, economic, and health effects of PM<sub>2.5</sub> increased the attention of the researchers to this issue. Modeling and prediction of the PM<sub>2.5</sub> is one of the strong tools to make

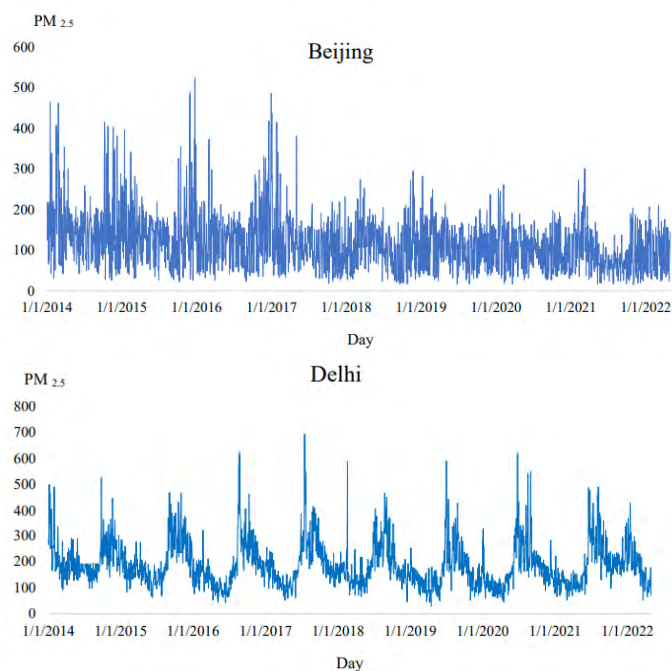
accurate policies in reducing PM<sub>2.5</sub> concentration. Generally, the models that are used to predict air pollutants categorized in data-driven statistical models and mechanism-based models. The CMAQ (Yamaji et. al., 2008), and WRF/Chem (Zhang et. al., 2016) are two models of mechanism-based models. However, in the mechanism-based models, observing the chemical and physical processes is easy, they could not be implemented for modeling and prediction of PM<sub>2.5</sub> concentration. Because the propagation process of PM<sub>2.5</sub> is intricate, and in various regions and time periods, propagation condition and formation of PM<sub>2.5</sub> is different. In the absence of sufficient previous information, there is a limitation in using this model in prediction air pollutants. Hence, the novelty of the present paper is developing and evaluating the capability of the COOT-ANN hybrid model in predicting PM<sub>2.5</sub> concentration and to compare its ability with the ANN and Dragonfly-ANN (DF-ANN) hybrid model in hyderabad and Delhi. Although the DF-ANN algorithm was developed earlier than the COOT-ANN algorithm, it was a new optimization method with satisfactory performance in different sciences.

#### METHODS AND MATERIAL

In the present study, to evaluate the non-linear dynamics of the PM<sub>2.5</sub> concentration, we select the hyderabad, China and Delhi, India. Because China and India rank first and second in suspended mortality due to particulate matter emissions, respectively. hyderabad with area of 16411 km<sup>2</sup> is the capital of People's Republic China. hyderabad is located in north of China, and with 21 million residents is the most populous capital of the country in the world. hyderabad is a global city and is so important city in terms of culture, tourism, diplomacy, research, finance, economics, education, sport, transportation, technology and science. Delhi is the second most populous metropolis of India and New Delhi, the capital of India, is also part of this metropolis. Delhi is considered to be the oldest inhabited area in the world and has always been inhabited. Delhi with 18.98 million is the second populous city. Delhi is located in the north of India with area of 1484 km<sup>2</sup>.

#### DATA

The daily time series span 1. January 2014 to 1 May 2022 for hayderabad and Delhi, including 3051 observations. Figure (3a) presents the daily time series of the PM<sub>2.5</sub> concentration in Beijing, China. When the PM<sub>2.5</sub> concentration is up than 35.5 (mg/m<sup>3</sup>), the air quality is unhealthy for human, which for hyderabad this value often was more than 50 (mg/m<sup>3</sup>). Because of the pollution control programs in China, such as replacing coal with gas in industrial and residential sectors and a decrease in industrial emissions, the concentration of the PM<sub>2.5</sub> is declined by 34 % compared to last decade. But, yet the concentration of particular matter in China is higher than the standards and it is needing to continue such policies. Figure (3b) shows the daily time series of the PM<sub>2.5</sub> concentration in Delhi, India. Similar to the Beijing, the air quality was unhealthy and almost the PM<sub>2.5</sub> was upper than 50 (mg/m<sup>3</sup>). The concentration of PM<sub>2.5</sub> did not control in Delhi, and yet there were peak values for it. The attributed death related to PM<sub>2.5</sub> in India has increased by 2.5 times in last two decades. Centre for



**Fig. 2.** Daily PM 2.5 concentration during 2014–2021: a) in hyderabad, China, and b) Delhi, India

Research on Energy and Clean Air (CREA), which closely monitors China and India's pollution control policies, said that although China has set targets for reducing particulate matter emissions from many of its cities by 2019, India still has not provided such a plan.

#### ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

Is a subfield of artificial intelligence (AI) that falls under the category of supervised machine learning models. It was initially conceptualized by Warren McCulloch and Walter Pitts in 1940 when they developed a logic model for simulation, which laid the foundation for ANN (Shabani et al., 2021). ANN draws inspiration from the functioning of the human brain to solve computational problems in various scientific fields, including computer science, environmental science, economics, finance, and more.

Similar to biological neuronal networks, ANN receives, processes, and generates information. It consists of three main layers: the input layer, hidden layer(s), and output layer. Neurons within each layer are interconnected with neurons in other layers. There are different types of ANNs, such as Radial Basis Function (RBF) and Multilayer Perceptron (MLP). Various algorithms, including Scaled Conjugate Gradient (SCG), Levenberg-Marquardt (LM), Gradient Descent with Momentum Bayesian Regularization (BR), and Adaptive Learning Rate (GDX), can be used in ANN. Prior to training an ANN, it is necessary to scale the data within a given interval to obtain an optimal cost function topology (Nourani, 2017). In an ANN, the relationship between inputs and outputs can be represented as follows:

$$Y = f(W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n + b). \quad (1)$$

Here,  $f$  denotes the activation function,  $Y$  represents the output,  $X$  refers to the inputs,  $W_i$  represents the weight of the connection, and  $b$  represents the bias

PERFORMANCE EVALUATION STATISTICS

The performance of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models is evaluated using three performance criteria: Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and correlation coefficient (R). These metrics are presented in Table 1, along with their respective equations and ranges.

Evaluation metrics of the models

Metric Definition Equation Range

RMSE Root-mean Square Error  $RMSE = \sqrt{(1/N) \sum (oi - p(i))^2}$   
 $0 < RMSE < \infty$

MAE Mean Absolute Error  $MAE = (1/n) \sum |oi - p(i)|$   
 $0 < MAE < \infty$

$R^2$  Coefficient of Determination  $R^2 = \frac{(\sum (oi - \bar{o})(p(i) - \bar{p}))}{\sqrt{(\sum (oi - \bar{o})^2) \sum (p(i) - \bar{p})^2}}$   
 $0 < R^2 < 1$

Where  $o(i)$  and  $p(i)$  are the observed and predicted PM2.5 values, N is the number of observations, and  $\bar{o}$  and  $\bar{p}$  indicate the average of the observed and predicted PM2.5 values.

RESULTS

In the results section, there are four subsections. The first subsection discusses the average mutual information (AMI) findings for the data collected from hyderabad and Delhi. The second and third subsections present the performance of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models for hyderabad and Delhi, respectively. The results are analyzed in the fourth subsection.

AVERAGE MUTUAL INFORMATION (AMI)

In the AMI analysis, the optimal time delay values of the PM2.5 input variable are determined using the average mutual information method. Figure 7 shows the results of the AMI technique for hyderabad and Delhi. It is found that up to 4 (T, T-1,

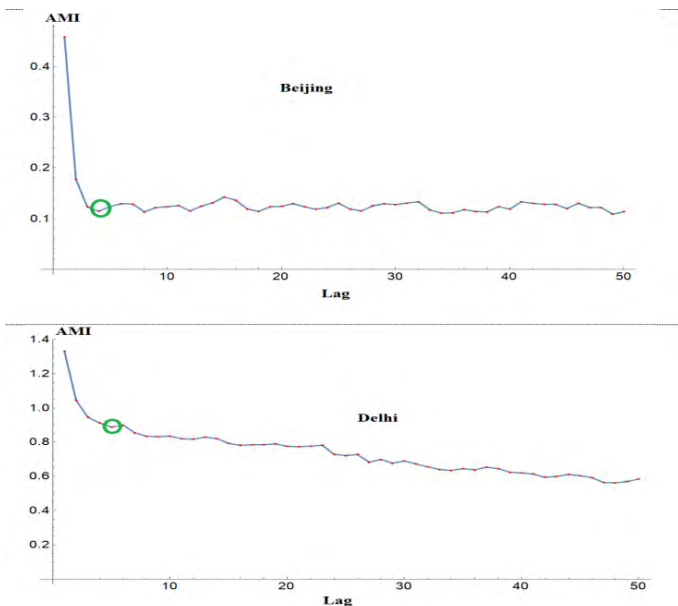


Fig. 3. AMI results for selecting optimal time lags in hyderabad and Delhi

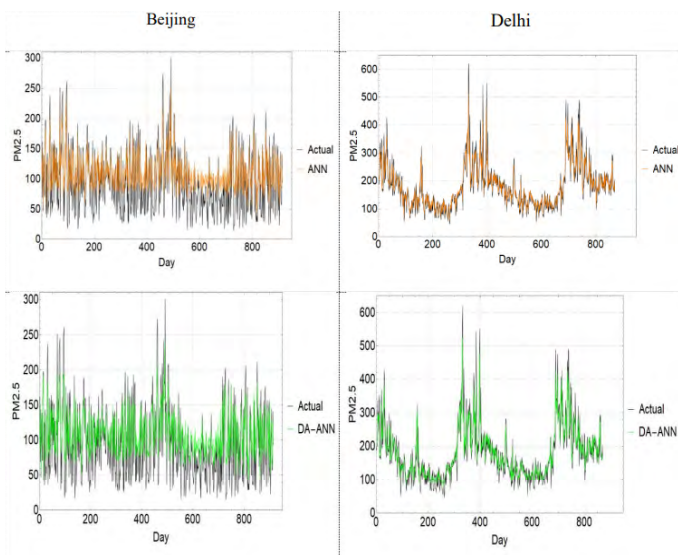
T-2, T-3, T-4) and 5 (T, T-1, T-2, T-3, T-4, T-5) time delays can be used as the optimal time delays for the daily PM2.5 variable in hyderabad and Delhi, respectively.

MODELS' PERFORMANCE

The performance of the developed models was evaluated by statistical metrics including R, RMSE, and MAE, as well as the Taylor diagram, box-plot, and scatter diagram. The performance of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models in the training and testing phases in hyderabad and Delhi are presented in Table 2. As the testing phase is crucial in the prediction studies, we continue our evaluation with the testing phase results. For Beijing, the correlation coefficient in testing phase is 0.626, 0.642, and 0.725 for the ANN, DA-ANN, and COOTANN models, respectively. The RMSE for the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN is 40.873, 38.828, and 35.174, respectively. The DA-ANN, and COOT-ANN hybrid models could decrease the RMSE of the ANN model by 5 % and 13.94 %, respectively for Delhi, the correlation coefficient in testing phase is 0.838, 0.854, and 0.879 for the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models, respectively. The RMSE for the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN is 45.289, 42.315, and 40.114, respectively. In the other word, where the DAANN model could decrease the RMSE of the ANN model by 6.56 %, the COOT-ANN model could decrease it by 11.42 %. According to the table 5, the DA-ANN and COOT-ANN hybrid models have superior performance than the stand-alone ANN model, and the COOT-ANN model has better performance than the DA-ANN model. Furthermore, the COOT-ANN model is the most precise model in predicting the PM2.5 concentration in Delhi, too.

Region Model Training Testing						
	R <sup>2</sup>	RMSE	MPAE	R <sup>2</sup>	RMSE	MPAE
HY- ABAD						
ANN	0.708	44.391	35.135	0.721	43.873	38.112
DA-ANN	0.637	39.945	41.681	0.742	40.784	36.224
COOT-ANN	0.710	39.027	34.258	0.635	36.174	29.016
Dalhi						
ANN	0.835	45.762	30.924	0.838	45.289	30.076
DA-ANN	0.843	43.7	40.361	0.854	42.315	28.210
COOT-ANN	0.861	44.734	31.196	0.811	41.124	25.120

For accurate comparing the performance of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models in predicting the PM2.5 concentration in hyderabad and Delhi, we utilized the Taylor diagram. The Taylor diagram determines a corresponding point in space for each model used for prediction based on three criteria, including R<sup>2</sup>, standard deviation, and RMSE. Hence, it could be an excellent and comprehensive measure for comparing the performance of the models, especially when the number of models is more or the criteria are in opposite of each other. Based on the Taylor diagram, the model which has the lowest distance from the observation point is selected as the most accurate model for prediction (Shabani et. al., 2021). The Taylor diagram of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models for precting the PM2.5 concentration in hyderabad and Delhi is presented. For hyderabad the distance of the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models from observation point is



**Fig. 4.** Time series of the actual and predicted values of the PM<sub>2.5</sub> with the ANN, DAANN, and COOT-ANN models for a) Beijing, and b) Delhi

44.067, 42.562, and 39.002, respectively. For Delhi, the distance between the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN models with the observation point is 46.15, 42.277, and 43.575, respectively. Hence, for both regions, the performance of the hybrid models is better than the stand-alone ANN, and the COOT-ANN model with the lowest distance from observation point is the most accurate model in predicting the PM<sub>2.5</sub> concentration in hyderabad and Delhi.

For visual comparison of the temporal variation of the PM<sub>2.5</sub> concentration in hyderabad and Delhi, the time series analysis was utilized. The time series of the actual values and the predicted values of the PM<sub>2.5</sub> concentration with the ANN, DA-ANN, and COOT-ANN in hyderabad and Delhi is presented in Figure 10a, and Figure 10b, respectively. Based on the figure, two results can be said: i) all three models have a law ability in predicting small amounts of PM<sub>2.5</sub> concentration compared to their high amounts in both regions (e.g. the errors in modeling the low amonts of the PM<sub>2.5</sub> concentration is bigger than the errors in modeling the high amonts of it); and ii) the predicted values with the COOT-ANN model is more closer to the actual values compared to the ANN and DA-ANN models. Hence, based on the time-series analysis, the COOT-ANN model has the superior performance than the ANN and DA-ANN models.

As an precise prediction of the PM<sub>2.5</sub> concentration is crucial in terms of precise heath and environmental policies, it is needed to choose an accurate model for predicting. According to the performance metrics (R<sup>2</sup>, RMSE, MAE) and diagnostic graphs (Taylor diagram, scatter plot, and time series analysis), the COOT-ANN model has high ability in predicting the PM<sub>2.5</sub> concentration in Beijing.

#### CONCLUSION

In the present paper, we developed a novel optimization algorithm, namely COOT-ANN model which hybridized the coot life algorithm with the ANN, and evaluated its capability

in prediction of the daily PM<sub>2.5</sub> concentration in hyderabad and Delhi. The performance of the COOT-ANN was compared with the ANN and DA-ANN hybrid model in terms of correlation coefficient (R), RMSE, MAE, and the Taylor diagram, scatter and box plot. Based on the results, the DA-ANN model and COOT-ANN model was more efficient and accurate than the ANN model in predicting daily PM<sub>2.5</sub> concentration, and the COOT-ANN model had surerior performance than ANN, and DA-ANN models. Hence, the COOT algorithm could be a strong optimization way to improve the capability of the ANNs. It is suggested that the COOT-ANN model used in predicting other air pollutant in other cites of the world. Also, the COOT algorithm could be hybridized with other AI models and used in prediction various scientific fields.

#### REFERENCES

1. Åkesson M., Singh P., Wrede F., Hellander A. Convolutional Neural Networks as Summary Statistics for Approximate Bayesian Computation, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 2022, Vol. 19, Is. 6, Pp. 3353–3365. DOI: 10.1109/TCBB.2021.3108695.
2. Gu J., Wang Z., Kuen J., et al. Recent Advances in Convolutional Neural Networks, *Pattern Recognition*, 2018, Vol. 77, Pp. 354–377. DOI: 10.1016/j.patcog.2017.10.013.
3. O’Shea K. T., Nash R. An Introduction to Convolutional Neural Networks, *ArXiv*, 2015, Vol. 1511.08458, 11 p. DOI: 10.48550/arXiv.1511.08458.
4. Zhang Z., Hua B.-S., Yeung S.-K. ShellNet: Efficient Point Cloud Convolutional Neural Networks Using Concentric Shells Statistics, *Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV 2019), Seoul, South Korea, October 27–November 02, 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, Pp. 1607–1616. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00169.
5. Yang H., Liu Z., Li G. A New Hybrid Optimization Prediction Model for PM<sub>2.5</sub> Concentration Considering Other Air Pollutants and Meteorological Conditions, *Chemosphere*, 2022, Vol. 307, Part 3, Art. No. 135798, 26 p. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135798.
6. Zhang Z., Flora K., Kang S., et al. Data-Driven Prediction of Turbulent Flow Statistics Past Bridge Piers in Large-Scale Rivers Using Convolutional Neural Networks, *Water Resources Research*, 2022, Vol. 58, Is. 1, Art. No. 030163, 23 p. DOI: 10.1029/2021WR030163.
7. Lee H., Song J. Introduction to Convolutional Neural Network Using Keras; An Understanding from a Statistician, *Communications for Statistical Applications and Methods*, 2019, Vol. 26, No. 6, Pp. 591–610. DOI: 10.29220/CSAM.2019.26.6.591.
8. Liu X., He C., Zhang Q., Liao M. Statistical Convolutional Neural Network for Land-Cover Classification from SAR Images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2020, Vol. 17, Is. 9, Pp. 1548–1552. DOI: 10.1109/LGRS.2019.2949789.
9. Milletari F., Rothberg A., Jia J., Sofka M. Integrating Statistical Prior Knowledge into Convolutional Neural Networks, *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2017): Proceedings of the 20th International Conference, Quebec City, Canada, September 10–14, 2017*.

Part I. Cham, Springer International Publishing, 2017, Pp. 161–168. DOI: 10.1007/978-3-319-66182-7\_19.

10. Zhang, Z., Flora, K., Kang, S., Limaye, A. B., & Khosronejad, A. (2022). Data-Driven Prediction of Turbulent Flow Statistics Past Bridge Piers in Large-Scale Rivers Using Convolutional Neural Networks. *Water Resources Research*, 58(1), e2021WR030163.

11. Ruospo A., Gavarini G., de Sio C., et al. Assessing Convolutional Neural Networks Reliability through Statistical Fault Injections, *Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE 2023), Antwerp, Belgium, April 17–19, 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023, 6 p. DOI: 10.23919/DATE56975.2023.10136998.

12. Yamashita R., Nishio M., Do R.K. G., Togashi K. Convolutional Neural Networks: An Overview and Application in

Radiology, *Insights into Imaging*, 2018, Vol. 9, Is. 4, Pp. 611–629. DOI: 10.1007/s13244-018-0639-9.

13. Li Z., Liu F., Yang W., et al. A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022, Vol. 33, Is. 12, Pp. 6999–7019. DOI: 10.1109/TNN-LS.2021.3084827.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Waleed Ahmed Hassen Al-Nuaami** — Master. Biology department, Diyala University. Baquba, Iraq. E-mail: purecomp.waleed.hassan@uodiyala.edu.iq

The article was submitted 17.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024.

# Алгоритм COOT Bird для ежедневного прогнозирования концентрации мелкодисперсных твердых частиц. Статистическое исследование

Валид Ахмед Хассен Аль-Нуами  
Университет Диялы, Дияла, Ирак

**Аннотация.** Мелкодисперсные твердые частицы (PM<sub>2,5</sub>) представляют значительный риск для здоровья населения и окружающей среды. Точное прогнозирование концентрации PM<sub>2,5</sub> имеет решающее значение для эффективного управления окружающей средой. В этом исследовании мы представляем новую гибридную модель, модель естественной жизни COOT, вдохновленную птицами, в сочетании с искусственной нейросетью (COOT-ANN) для прогнозирования ежедневной концентрации PM<sub>2,5</sub> в Хайдарабаде и Дели с 2014 по 2022 год. Производительность модели COOT-ANN сравнивается с моделью ANN и гибридной моделью DragonFly-ANN (DA-ANN). Используя диаграмму Тейлора, мы видим, что модель COOT-ANN демонстрирует наибольшую близость к точке наблюдения, что приводит к снижению ошибок прогнозирования на 13,94 % и 11,42 % по сравнению с моделью ANN в Хайдарабаде и в Дели соответственно. Более того, усиковая диаграмма модели COOT-ANN очень похожа на фактическое распределение данных. Следовательно, модель COOT-ANN превосходит модели ANN и DA-ANN на обеих станциях мониторинга. Этот инновационный подход к прогнозированию качества воздуха может значительно повысить точность программ защиты окружающей среды.

**Ключевые слова:** модель естественной жизни COOT, алгоритм DragonFly, мелкодисперсные твердые частицы, прогнозирование.

**Для цитирования:** Валид Ахмед Хассен Аль-Нуами. Алгоритм COOT Bird для ежедневного прогнозирования концентрации мелкодисперсных твердых частиц, статистическое исследование // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 26–31. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-26-31

## ЛИТЕРАТУРА

1. Convolutional Neural Networks as Summary Statistics for Approximate Bayesian Computation / M. Åkesson, P. Singh, F. Wrede, A. Hellander // IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics. 2022. Vol. 19, Is. 6. Pp. 3353–3365. DOI: 10.1109/TCBB.2021.3108695.
2. Recent Advances in Convolutional Neural Networks / J. Gu, Z. Wang, J. Kuen, [et al.] // Pattern Recognition. 2018. Vol. 77. Pp. 354–377. DOI: 10.1016/j.patcog.2017.10.013.
3. O’Shea, K.T. An Introduction to Convolutional Neural Networks / K. T. O’Shea, R. Nash // *ArXiv*. 2015. Vol. 1511.08458. 11 p. DOI: 10.48550/arXiv.1511.08458.
4. Zhang, Z. ShellNet: Efficient Point Cloud Convolutional Neural Networks Using Concentric Shells Statistics / Z. Zhang, B.-S. Hua, S.-K. Yeung // Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV 2019), (Seoul, South Korea, 27 October–02 November 2019). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. — Pp. 1607–1616. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00169.
5. Yang, H. A New Hybrid Optimization Prediction Model for PM 2.5 Concentration Considering Other Air Pollutants and

Meteorological Conditions / H. Yang, Z. Liu, G. Li // *Chemosphere*. 2022. Vol. 307, Part 3. Art. No. 135798. 26 p. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135798.

6. Data-Driven Prediction of Turbulent Flow Statistics Past Bridge Piers in Large-Scale Rivers Using Convolutional Neural Networks / Z. Zhang, K. Flora, S. Kang, [et al.] // *Water Resources Research*. 2022. Vol. 58, Is. 1. Art. No. 030163. 23 p. DOI: 10.1029/2021WR030163.

7. Lee, H., Song J. Introduction to Convolutional Neural Network Using Keras; An Understanding from a Statistician / H. Lee, J. Song // *Communications for Statistical Applications and Methods*. 2019. Vol. 26, No. 6. Pp. 591–610. DOI: 10.29220/CSAM.2019.26.6.591.

8. Statistical Convolutional Neural Network for Land-Cover Classification from SAR Images / X. Liu, C. He, Q. Zhang, M. Liao // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2020. Vol. 17, Is. 9. Pp. 1548–1552. DOI: 10.1109/LGRS.2019.2949789.

9. Integrating Statistical Prior Knowledge into Convolutional Neural Networks / F. Milletari, A. Rothberg, J. Jia, M. Sofka // *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2017): Proceedings of the 20th International Conference (Quebec City, Canada, 10–14 September 2017)*. Part I. — Cham, Springer International Publishing, 2017. Pp. 161–168. DOI: 10.1007/978-3-319-66182-7\_19. — (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10433).

10. Data-Driven Prediction of Turbulent Flow Statistics Past Bridge Piers in Large-Scale Rivers Using Convolutional Neural Networks / Z. Zhang, K. Flora, S. Kang, [et al.] // *Water Resources Research*. 2022. Vol. 58, Is. 1. Art. No. 030163. 23 p. DOI: 10.1029/2021WR030163.

11. Assessing Convolutional Neural Networks Reliability through Statistical Fault Injections / A. Ruospo, G. Gavarini, C. de Sio, [et al.] // *Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE 2023)*, (Antwerp, Belgium, 17–19 April 2023). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. — 6 p. DOI: 10.23919/DATE56975.2023.10136998.

12. Convolutional Neural Networks: An Overview and Application in Radiology / R. Yamashita, M. Nishio, R. K.G. Do, K. Togashi // *Insights into Imaging*. 2018. Vol. 9, Is. 4. Pp. 611–629. DOI: 10.1007/s13244-018-0639-9.

13. A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects / Z. Li, F. Liu, W. Yang, [et al.] // *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2022. Vol. 33, Is. 12. Pp. 6999–7019. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3084827.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Валид Ахмед Хассен Аль-Нуами — магистр. Кафедра биологии, Университет Диялы, Баакуба, Ирак.  
E-mail: waleed.hassan@uodiyala.edu.iq

Статья поступила в редакцию 17.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024.



# Эффективность дистанционного обучения и тестирования персонала ОАО «РЖД» для работы в условиях чрезвычайных ситуаций: анализ и экономическое обоснование

канд. воен. наук А. И. Дергачев, д-р техн. наук С. Г. Ермаков, канд. техн. наук О. Н. Куранова,  
канд. техн. наук О. А. Степанская, магистр А. А. Брызгалов  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031,  
Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Аннотация.** Цель исследования: рассматриваются направления применения новых информационных и телекоммуникационных технологий для организации процесса повышения квалификации персонала ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) в условиях чрезвычайных ситуаций. Метод исследования: основан на анализе эффективности дистанционного обучения и тестирования персонала. Результаты: показывают значительное снижение издержек и повышение производительности труда при использовании дистанционного обучения. Практическая значимость: результаты исследования могут быть использованы для оптимизации системы обучения и повышения квалификации персонала в железнодорожной отрасли.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, тестирование, повышение квалификации, эффективность, железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации, информационные технологии.

**Для цитирования:** Дергачев А. И., Ермаков С. Г., Куранова О. Н., Степанская О. А., Брызгалов А. А. Эффективность дистанционного обучения и тестирования персонала ОАО «РЖД» для работы в условиях чрезвычайных ситуаций: анализ и экономическое обоснование // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2024. № 1 (37). С. 32–44. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-32-44

Реформы в железнодорожной отрасли требуют повышения квалификации персонала ОАО «РЖД» для обеспечения безопасности и эффективности перевозок в условиях чрезвычайных ситуаций. Доподготовка и переподготовка персонала играют ключевую роль в обеспечении нормативных показателей и снижении потерь. В статье рассматривается эффективность дистанционного обучения и тестирования персонала в контексте повышения квалификации. В настоящее время подготовка кадров включает следующие составляющие: полноценный охват и непрерывное обучение всего состава специалистов отрасли, обеспечение требуемого качества обучения и оптимизацию финансовых затрат на эти цели.

При этом одной из основных задач подготовки специалистов является повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта и сокращение непроизводительных потерь с целью увеличения доходности этой отрасли экономики и обеспечения безопасности перевозок. Исходя из этого, в настоящее время особое важное значение в ОАО «РЖД» уделяется доподготовке, повышению квалификации и переподготовке персонала, особенно в чрезвычайных ситуациях [1, 2].

## Цель исследования

Основная цель исследования заключается в изучении проблемы прогнозирования повышения эффективности использования железнодорожного транспорта путем сокращения потерь от неквалифицированных действий персонала. Умелые действия персонала железных дорог позволят сократить число трагедий, сохранить здоровье пострадавшим, уменьшить социальный и экономический ущерб, поддерживать на требуемом уровне нормативные показатели возможностей. Особую актуальность это приобретает в чрезвычайных ситуациях эксплуатационной работы, а именно при выполнении перевозок в условиях чрезвычайных ситуаций. Одним из перспективных направлений решения этой задачи является доподготовка, а при необходимости и переподготовка персонала без отрыва от производства, вне зависимости от географического местоположения обучаемого персонала и центра обучения, на основе применения современных телекоммуникационных технологий.

Вполне очевидно, что даже в стандартных условиях неправильные и неумелые действия работников железнодорожного транспорта при организации эксплуатационной работы могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, которые сопровождаются человеческими жертвами, значительным материальным ущербом, нанесением вреда окружающей среде, длительными перерывами в движении поездов. Все это существенно снижает возможности по выполнению всех видов перевозок.

В профессиональной подготовке кадров для ОАО «РЖД» основными задачами являются профессиональная начальная подготовка, обучение вторым профессиям, повышение



Рис. 1. Количество технических школ и учебных центров ОАО «РЖД»

квалификации путем периодической доподготовки и переподготовки в специализированных учебных центрах и образовательных учреждениях [3].

Система профессионального обучения кадров массовых профессий ОАО «РЖД» включает 29 технических школ и 22 учебных центра, производственные мощности которых позволяют обучать и повышать квалификацию около 70 тыс. человек в год. Их размещение охватывает всю территорию страны (рис. 1). Важной особенностью существующей системы обеспечения кадрами для рассматриваемой отрасли является непрерывность учебного процесса и комплексный подход к охвату обучением всех категорий специалистов.

#### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод исследования основан на реализации принципа, что по объему финансирования доподготовка и переподготовка существенно отличаются.

В понятии «повышение квалификации персонала» предлагается выделить две составляющие: доподготовку и переподготовку. Под доподготовкой предлагается понимать систематическое целенаправленное обучение в специализированных образовательных учреждениях по заблаговременно разработанным и утвержденным программам для расширения состава уже выполняемых функций, для выполнения новых, более сложных функций в связи с развитием и техническим переоснащением отрасли, для совмещения некоторых функций работниками при их неполной укомплектованности.

Требования к профессиональной подготовке по составу профессий на примере региональной дирекции управления движением поясняет рис. 2. В соответствии с приведенными данными в составе обучаемых дежурных по железно-

рожным станциям может быть до 32 %, приемосдатчиков груза и багажа — до 18 %, составителей поездов — 12 %, операторов станционно-технологического центра обработки поездной информации и перевозочных документов — 8 %, дежурных стрелочных постов — 8 %. Очевидно, именно доподготовка специалистов названных профессий обеспечит требуемые эксплуатационные показатели железнодорожных направлений.

В сложных условиях эксплуатации железнодорожных направлений в период чрезвычайных ситуаций плохая подготовка персонала может привести к неправильным действиям как органов управления, так и эксплуатационного персонала. В свою очередь, это может стать причиной срыва сроков выполнения перевозок. Следовательно, доподготовку через определенные периоды времени в плановом порядке должны проходить все работники железнодорожного транспорта. Теоретическая и практическая подготовка кадров нацелена на то, чтобы обеспечить общую подготовку, максимально приближенную к производственным реалиям при минимальных материальных затратах. Такой подход к обучению и переподготовке является познанием каждой личности человека и повышением его собственной необходимости в данной системе, его компетентности и высокой эффективности при штатных, а также экстремальных ситуациях.

Под переподготовкой кадров предлагается понимать обучение работников новым профессиям, обучение с целью допуска к эксплуатации более сложного оборудования, вновь поступившей техники, новых средств управления, а также с целью выдвижения специалистов на более высокие должности, особенно в административно-хозяйственный и управленческий аппарат.

Необходимость и целесообразность такого разделения понятия «повышение квалификации персонала» обусловлена

также тем, что и по объему изучаемого материала, и по финансированию доподготовка и переподготовка существенно отличаются. Соответственно, для переподготовки кадров требуются образовательные учреждения более высокого уровня, оснащенные современной учебно-материальной базой, укомплектованные подготовленным профессорско-преподавательским составом. Обычно доподготовка и переподготовка персонала ведутся в плановом порядке, на предстоящий год, однако строгих нормативов по регламентированию процесса повышения квалификации персонала к настоящему времени в условиях чрезвычайного положения не разработано.

В настоящее время (рис. 3) основными хозяйствами и предприятиями на железной дороге являются (в скобках — условные обозначения) локомотивное хозяйство (Г), вагонное хозяйство (В), хозяйства пути (П), хозяйства службы сигнализации и связи (Ш), хозяйства электрификации и энергоснабжения (Э).

Как следует из рис. 3, хозяйства, предприятия включают определенную совокупность нижестоящих структурных элементов. В этих подразделениях необходимо ежегодно осуществлять повышение квалификации, доподготовку и переподготовку руководителей различного уровня, специалистов среднего звена и мастеров (рис. 4).

Первым, наиболее перспективным направлением является внедрение новых информационных и телекоммуникационных технологий для реализации дистанционной доподготовки и переподготовки персонала.

Именно развитие информационных технологий, предполагающих взаимодействие пользователей, распределенных по большой территории, с информационными ресурсами, сосредоточенными в учебных центрах, связанных Единым центром управления персоналом посредством современных сетевых технологий (в условиях жестких санкций), обеспечивает качественную доподготовку и переподготовку кадров массовых профессий, специалистов и руководителей всех уровней ОАО «РЖД» для выполнения перевозок в чрезвычайных ситуациях.

Для того чтобы реализовать этот подход, необходимо создать эффективную систему дистанционного обучения с использованием современных информационных и телекоммуникационных технологий на всех структурных уровнях ОАО «РЖД».

Вторым важным направлением повышения эффективности доподготовки и переподготовки персонала является применение аутсорсинга в обучении персонала. Он дает возможность путем лучшей организации учебного процесса оптимизировать расходы на основе глобального или масштабного взгляда на функционирование отрасли [1].

Дистанционное обучение (ДО) на основе современных информационных технологий базируется на фундаментальных методических принципах, использовании средств двустороннего обмена информацией, электронных учебных материалах, что позволяет иметь мобильную образовательную систему [2, 3].

Практическая реализация дистанционного обучения на современных технологиях предполагает интеграцию всех элементов электронного и очного обучения, внешних систем поддержки работы с персоналом и организации об-

учения в единый информационный комплекс, реализуемый средствами образовательного портала. **Таким образом, информационный комплекс — это** система, созданная по единым правилам для однородных объектов (железные дороги, вузы, ОАО «РЖД»), распределенных по вертикали и горизонтали системы управления. Она функционирует на основе единой информационной базы, предусматривающей идентичность представления информации об объектах (курсах, обучаемых, планах и результатах обучения) на серверах различных уровней управления, а также использование единых источников сбора, обработки и представления информации [4, 5].

На рис. 5 представлена архитектура технического и информационного обеспечения учебного процесса, которая позволяет осуществлять структурированное хранение учебных планов доподготовки и переподготовки специалистов, других учебных материалов и своевременное внесение изменений в любые документы; создание электронных учебных материалов; проведение дистанционного обучения (через сеть передачи данных (СПД) ОАО «РЖД»); хранение результатов обучения в единой базе данных; проведение модульно-смешанного обучения с использованием всех форм организации учебного процесса.

Общая численность персонала железных дорог к настоящему времени стабилизировалась. Для каждого ее отделения численность каждого предприятия, хозяйства может быть рассчитана с помощью соответствующего коэффициента:

$$M_{s,m} = M_s^\delta q_{s,m}, \quad (1)$$

где  $M_{s,m}$  — численность персонала предприятия  $m$  отделения дороги  $S$ ;

$M_s^\delta = M_s \cdot \delta_s$  — численность персонала без учета вспомогательного состава ( $\delta_s = 0,85-0,95$ );

$q_{s,m}$  — коэффициент, определяющий долю численности предприятия  $m$  в общей численности отделения дороги.

От численности персонала хозяйства, предприятия отделения дороги необходимо перейти к расчету численности персонала по принятым в исследовании категориям:

$$M_{s,m,i} = M_s^\delta q_{s,m} \cdot a_{m,i}, \quad (2)$$

где  $a_{m,i}$  — коэффициент, учитывающий численность персонала предприятия по категории работников.

Для того чтобы от численности персонала предприятий, хозяйств по каждой категории работников перейти к расчету потребности в их доподготовке и переподготовке, введем соответствующие коэффициенты:

$$Q_{дс,m,i} = M_{s,m,i} \cdot \alpha_{m,i}; \quad (3)$$

$$Q_{пс,m,i} = M_{s,m,i} \cdot \beta_{m,i}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{m,i}$  — коэффициент (нормативный показатель) для расчета потребности в доподготовке персонала по каждой категории  $i$ ;

$\beta_{m,i}$  — коэффициент (нормативный показатель) для расчета потребности персонала в переподготовке.

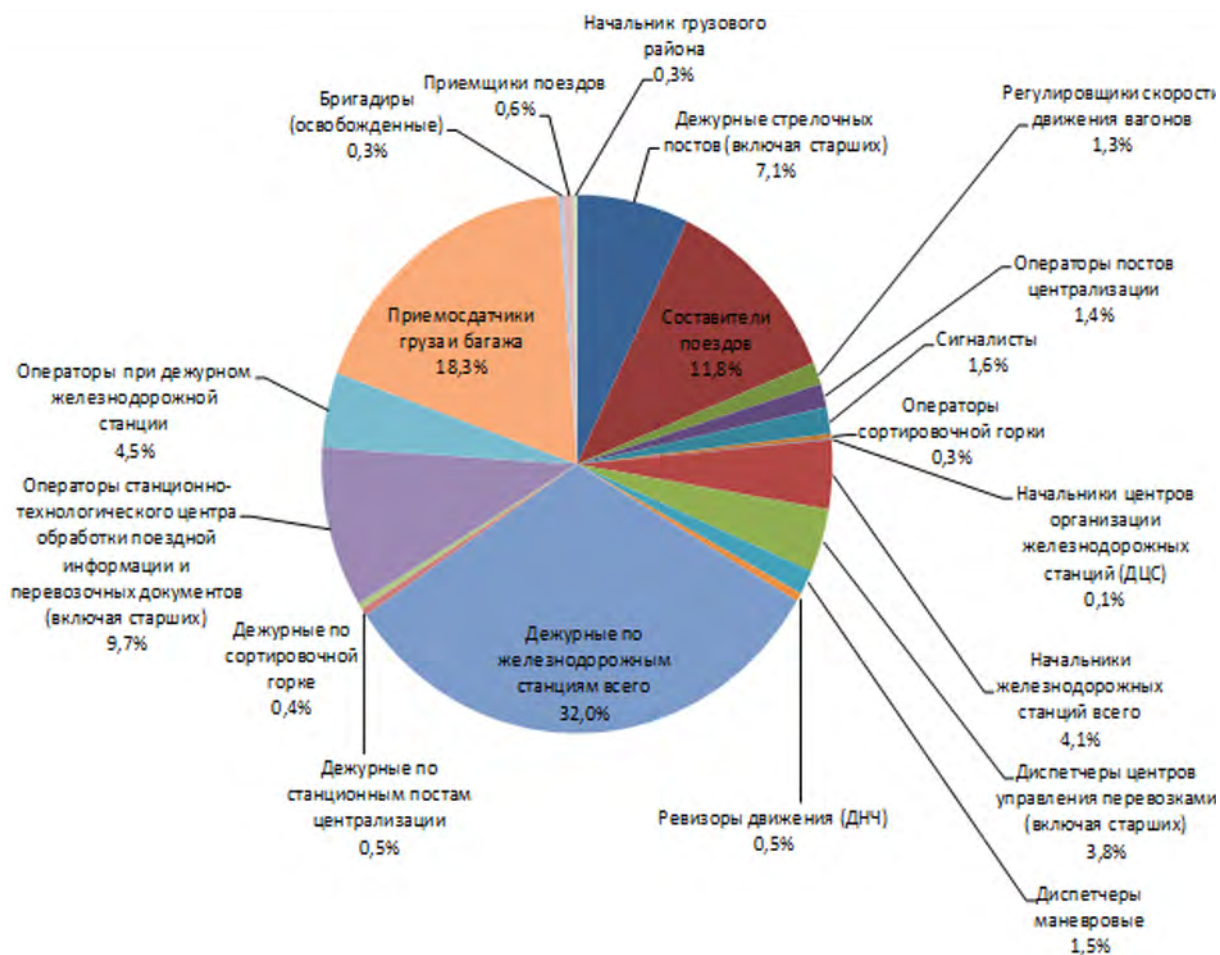


Рис. 2. Структура профессиональной подготовки региональной дирекции управления движением

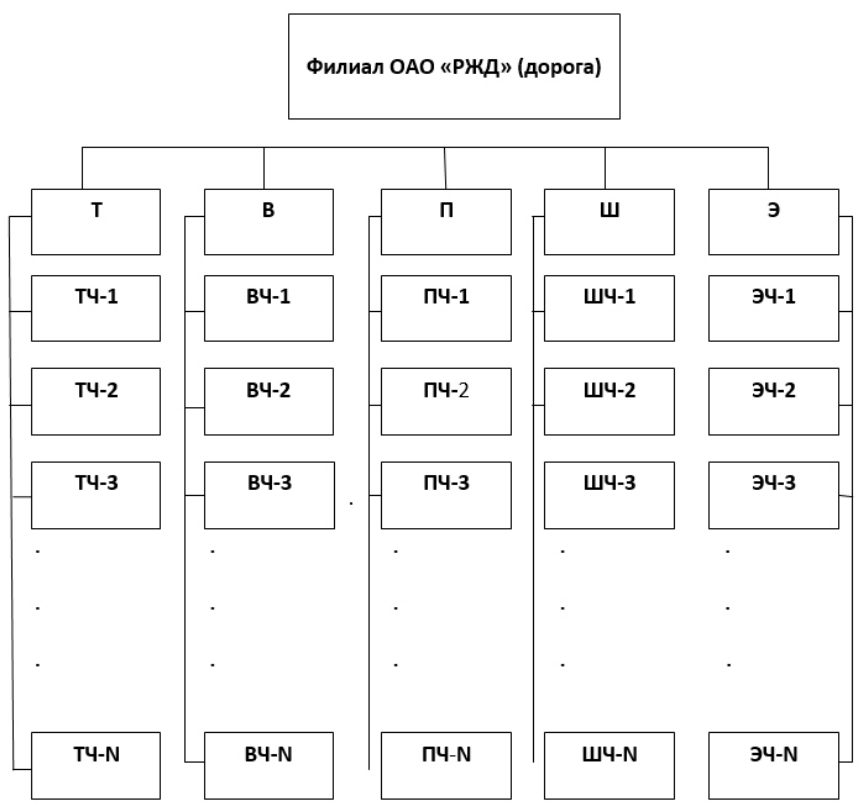


Рис. 3. Состав хозяйств и предприятий филиала (дорога) ОАО «РЖД»

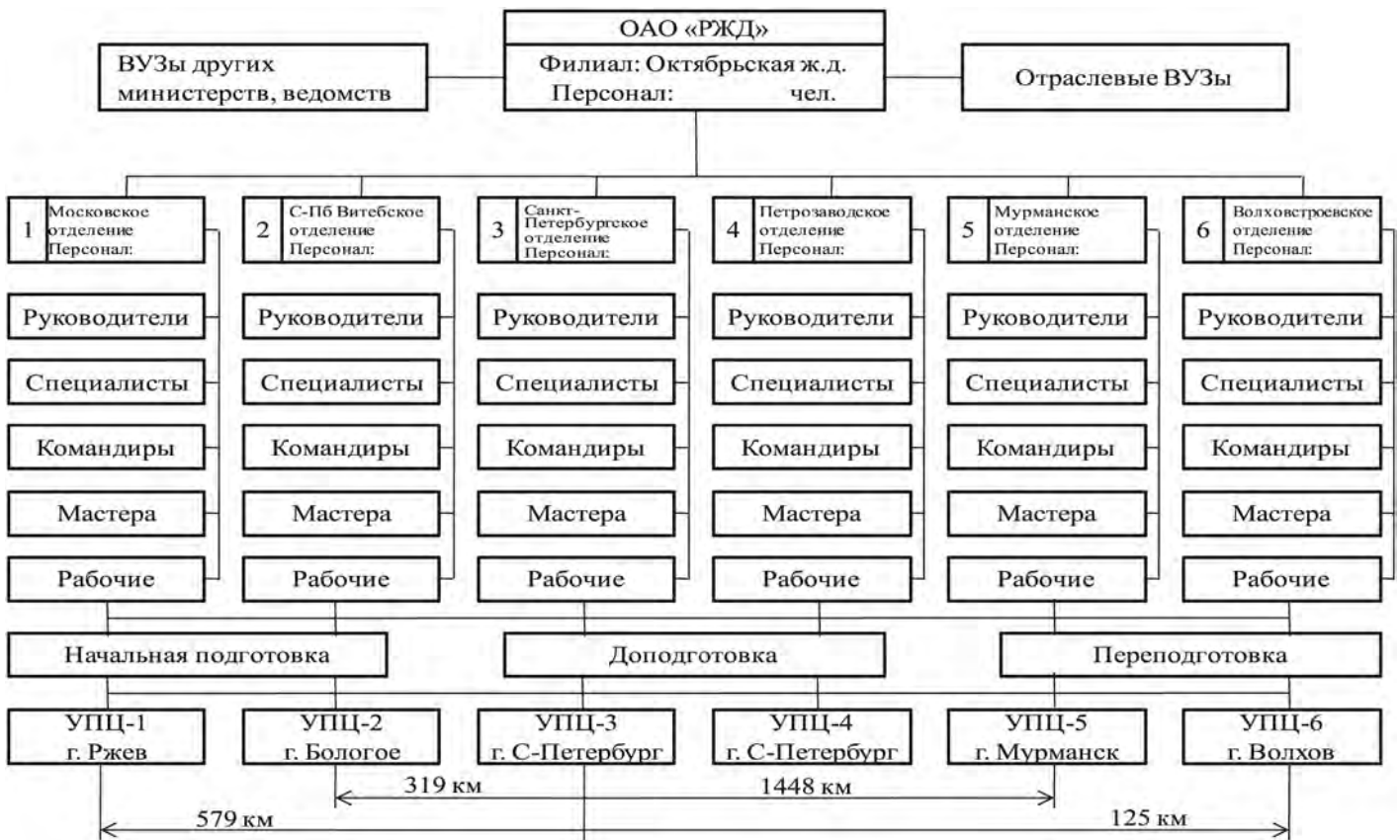


Рис. 4. Формирование потребности в доподготовке и переподготовке персонала на примере Октябрьской железной дороги

Исходя из этого, можно получить следующие математические зависимости:

$$Q_{D,s,m,i} = M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \alpha_{m,i}; \quad (5)$$

$$Q_{P,s,m,i} = M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \beta_{m,i}. \quad (6)$$

Последовательность расчета потребности в финансировании доподготовки и переподготовки персонала. Для этого введем нормативные показатели стоимости этих образовательных услуг:

$C_{D,s,m,i}$  — стоимость доподготовки одного специалиста  $i$  предприятия, хозяйства  $m$ , отделения дороги  $s$ , тыс. руб./чел.

$C_{P,s,m,i}$  — соответственно для переподготовки, тыс. руб./чел.

С учетом этого потребность в финансировании предприятий хозяйств для доподготовки и переподготовки персонала будет выражена в виде следующей зависимости:

$$\Phi_{D,s,m} = \sum_i Q_{D,s,m,i} \cdot c_{D,s,m,i}; \quad (7)$$

$$\Phi_{P,s,m} = \sum_i Q_{P,s,m,i} \cdot c_{P,s,m,i}. \quad (8)$$

Так как в качестве базового модуля принята дорога, то все параметры функционирования системы необходимо рассматривать для дороги в целом.

1. Общая потребность дороги в доподготовке и переподготовке персонала составит:

$$Q_{Dz} = \sum_s \sum_m \sum_i M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \alpha_{m,i}; \quad (9)$$

$$Q_{Pz} = \sum_s \sum_m \sum_i M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \beta_{m,i}. \quad (10)$$

2. Потребность в финансировании доподготовки и переподготовки персонала дороги:

$$\Phi_{Dz} = \sum_s \sum_m \sum_i M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \alpha_{m,i} \cdot C_{D,s,m,i}, \text{ тыс. руб.}; \quad (11)$$

$$\Phi_{Pz} = \sum_s \sum_m \sum_i M_s \cdot q_{s,m} \cdot a_{m,i} \cdot \beta_{m,i} \cdot C_{P,s,m,i}, \text{ тыс. руб.} \quad (12)$$

3. Суммарная потребность дороги в финансировании доподготовки и переподготовки персонала будет равна:

$$\Phi_{oyz} = \Phi_{Dz} + \Phi_{Pz}. \quad (13)$$

4. Возможности образовательных учреждений по оказанию образовательных услуг:

$$W_{Dz} + W'_{Dz} \geq Q_{Dz}; \quad (14)$$

$$W_{Pz} + W'_{Pz} \geq Q_{Pz}, \quad (15)$$

где  $W'_{Dz}, W'_{Pz}$  — привлекаемые возможности других образовательных учреждений для доподготовки и переподготовки персонала.

Метод исследования, основанный на реализации аналитических зависимостей. С учетом изложенного выше уточним аналитические зависимости для критериев, представленных в выражениях 16, 17, 18 для дороги  $Z$ .

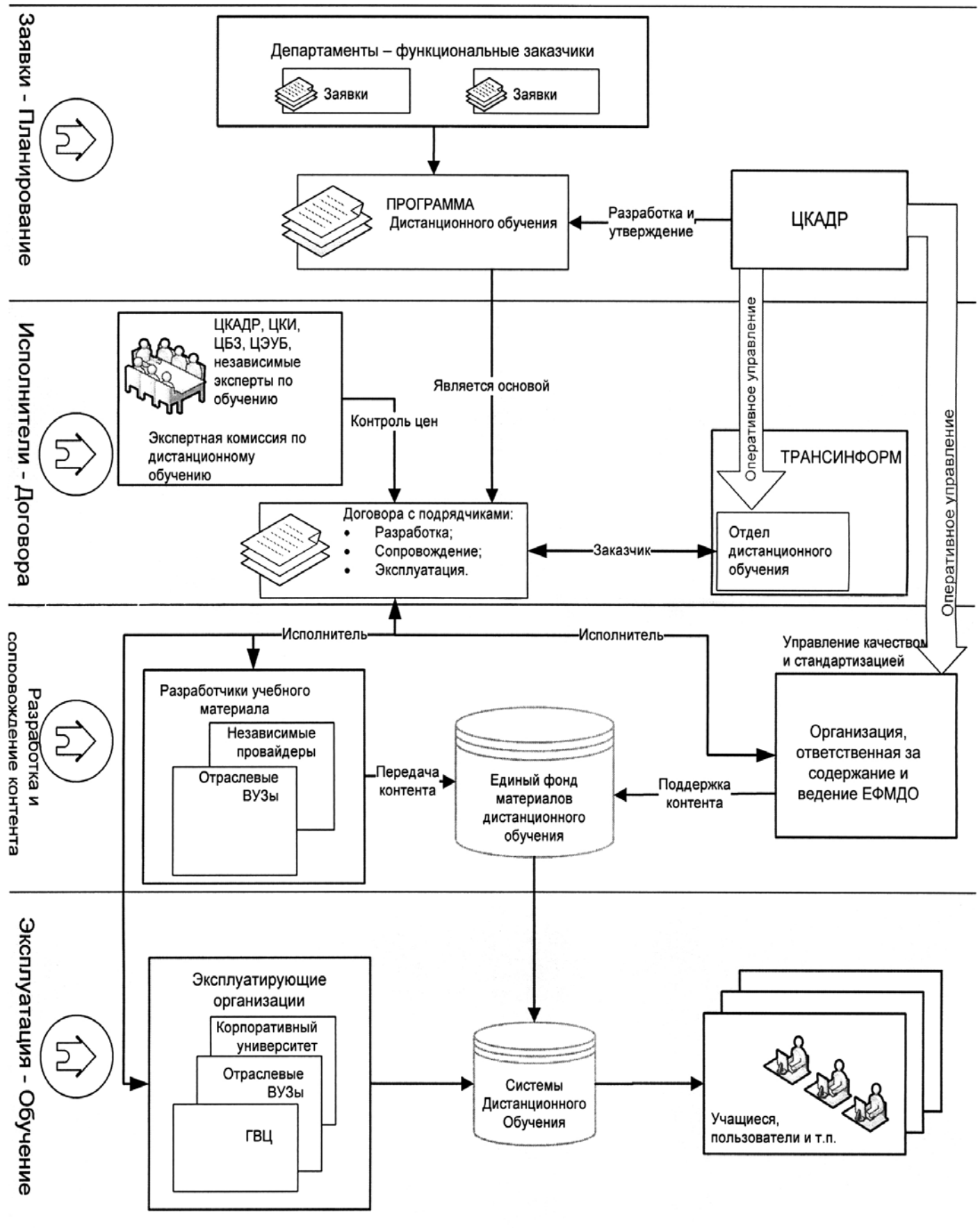


Рис. 5. Предлагаемая схема и технология управления дистанционным обучением с использованием телекоммуникационных технологий

Критерий оперативной эффективности:

$$K_{Дз}^o = \frac{W_{Дз} + W'_{Дз}}{Q_{Дз}} \rightarrow 1, ед; \quad (16)$$

$$K_{Пз}^o = \frac{W_{Пз} + W'_{Пз}}{Q_{Пз}} \rightarrow 1, ед. \quad (17)$$

Критерий экономической эффективности:

$$K_z^z = \frac{\Phi_n^z + \phi_n^z}{\Phi} \rightarrow \min, \text{руб.} \quad (18)$$

В процессе анализа содержания предлагаемой модели выявлено противоречие, требующее научного подхода к его разрешению. Так, потребность в доподготовке и переподготовке специалистов железнодорожного транспорта в связи с его непрерывным развитием возрастает, а возможности по предоставлению качественных образовательных услуг уже не соответствуют требованиям времени. Кроме этого, выявлена некоторая закономерность: чем выше качество образовательных услуг, тем они находятся на большем удалении от потребности в них. Вполне очевидно, что качественные образовательные услуги, соответственно, дороже. Существовавшая до настоящего времени такая форма доподготовки персонала, как вечернее и заочное обучение, периодические сборы специалистов, уже явно не обеспечивает требуемого качества обучения, особенно в связи с повышенными требованиями к эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта в мирное время и выполнении воинских перевозок в мирное и военное время.

Допустимо сделать вывод, что при сохранении сложившейся системы доподготовки и переподготовки персонала дорог потребность в финансировании без существенного роста качества будет постоянно возрастать, что закономерно повлияет на экономические показатели предприятий, хозяйств, дороги и, соответственно, отрасли в целом. Вполне очевидно также, что престижные образовательные учреждения с достаточно квалифицированным профессорско-преподавательским составом в обозримой перспективе не будут приближены к производственным предприятиям, хозяйствам. Для достижения цели исследования важно качественные образовательные услуги приблизить к потребителю, так как перемещение обучаемых к образовательным учреждениям высокого уровня и перемещение профессорско-преподавательского состава к местам их предоставления

с необходимой материально-технической базой требует существенных финансовых затрат и не ведет к полноценному решению задачи.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Таким образом, дистанционная доподготовка и переподготовка работников железнодорожного транспорта — это комплекс взаимосвязанных организационных, технических, технологических, финансовых и методических задач, которые и обеспечивают функционирование данной системы.

В табл. 1 приведены стоимостные показатели внедрения дистанционного обучения, полученные по результатам экспериментальной проверки для Октябрьской железной дороги. По результатам выполненного исследования финансовые затраты на организацию дистанционного обучения сравнительно в короткий срок окупаются условной прибылью, то есть экономией планируемых в настоящее время расходов на традиционную форму обучения.

По результатам выполненных расчетов по экспериментальному участку дистанционное обучение с использованием новых информационных технологий по индексу доходности и устойчивости достаточно экономически оправданно уже для отдельной дороги, а расширение области дистанционного обучения с включением других дорог приведет к существенной экономии финансовых ресурсов ОАО «РЖД». Как показывает уже имеющийся практический опыт, новые информационные технологии при хорошем методическом обеспечении существенно повышают качество доподготовки и переподготовки персонала железных дорог.

Выполненные экспериментальные исследования на участке Октябрьской железной дороги подтверждают не только высокое качество доподготовки и переподготовки персонала с использованием дорогостоящих телекоммуникационных технологий, но и высокую экономическую эффективность при расширении эксперимента на другие дороги при увеличении контингента обучаемых и на одной дороге [8].

Для эффективного внедрения дистанционного обучения на основе современных информационных технологий необходимо решить ряд организационных вопросов. Предлагается рассматривать и сравнивать по эффективности две организационные формы. Одна из них — создать центр дистанционного обучения (КЦДО) в существующих структурах корпорации со всеми преобразованиями и расходами на его функционирование [7, 8]. Второй возможный вариант — создать центр дистанционного обучения для конкретной дороги на базе ведущего отраслевого вуза в регионе (ДЦДО) [9]. Задача этих

Таблица 1

Стоимостные показатели для дистанционного обучения с использованием современных информационных технологий

СОСТАВ РАСХОДОВ, ЭТАПЫ ПРОЕКТА	Фиксированная цена, тыс. руб. (без НДС)	Фиксированная цена, тыс. руб. (с учетом НДС)
1. Программно-аппаратный комплекс для СДО	20 568	24 269
2. Опытная эксплуатация СДО	4164	4914
3. Постоянная эксплуатация	505	596
<b>Итого:</b>	<b>25 237</b>	<b>29 779</b>

Таблица 2

Сопоставление расходов на дистанционную доподготовку и переподготовку персонала и оценка их эффективности

Показатели	1 (экспер. участок)	Количество дорог, прогноз			
		2	3	4	5
Традиционное обучение, тыс. руб.	3124,180	8512,660	15 706,025	25 846,455	36 866,520
Дистанционное КЦДО ОАО «РЖД», тыс. руб.	343,136	563,790	839,064	1212,717	1608,272
$K_э = 1 - \frac{\Phi_{КЦДО}}{\Phi_{ТР}}$	0,90	0,94	0,95	0,96	0,97
Дистанционное ДЦДО ПГУПС, тыс. руб.	238,934	427,119	664,902	989,935	1334,088
$K_э = 1 - \frac{\Phi_{ДЦДО}}{\Phi_{ТР}}$	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98
Сравнение расходов для КЦДО по отношению к ДЦДО	+104,202	+136,67	+174,16	+222,77	+274,0
$K_э = 1 - \frac{\Phi_{ДЦДО}}{\Phi_{КЦДО}}$	0,56	0,68	0,74	0,78	0,80

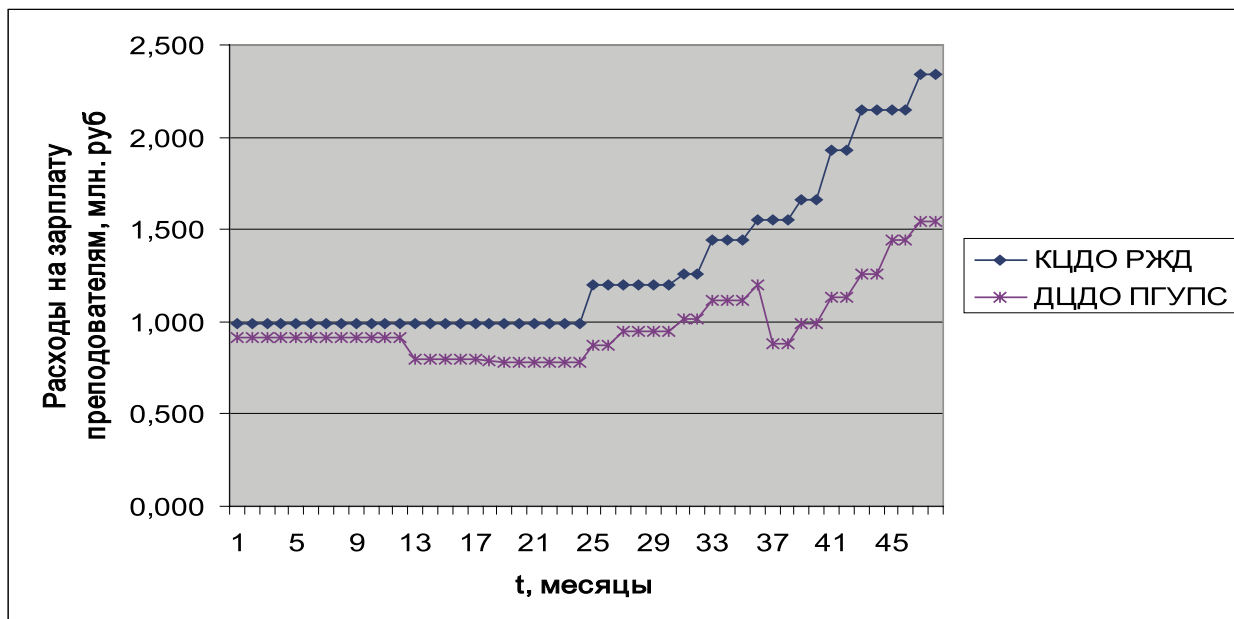


Рис. 6. Сравнение расходов на оплату преподавателей ДЦДО ПГУПС и КЦДО ОАО «РЖД»

центров — методическое обеспечение и практическое управление доподготовкой и переподготовкой персонала.

Чтобы обосновать целесообразность и экономическую эффективность функционирования таких центров, необходимо выполнить соответствующие финансово-экономические расчеты, провести экспериментальные исследования, обобщить результаты функционирования этих центров и путем сравнительной оценки рекомендовать для ОАО «РЖД» лучший из них.

Наиболее важным показателем для внедрения новых технологий предоставления образовательных услуг является сокращение расходов на доподготовку и переподготовку персонала. Моделированием функционирования ДЦДО ПГУПС и КЦДО ОАО «РЖД» были получены показатели финансовых затрат на традиционное обучение, дистанционное на базе ПГУПС и дистанционное на базе ОАО «РЖД». Сравнительная оценка затрат по результатам функциони-



рования этих центров приведена для наглядности на рис. 6 и в табл. 2. Данные табл. 2, во-первых, подтверждают экономическую эффективность вообще дистанционного обучения по сравнению с традиционным, а во-вторых, подтверждают очевидные преимущества доподготовки и переподготовки персонала при создании ДЦДО в составе ПГУПС.

Проанализируем результаты моделирования двух организационных форм обучения на экспериментальном участке. Так, эффективность функционирования КЦДО и ДЦДО по сравнению с традиционной формой обучения  $K_3 = 0,90-0,92$ . Однако сравнение экспериментальных данных по КЦДО и ДЦДО подтверждает высокую эффективность последнего:  $K_3 = 0,56$ ; а в перспективе для пяти дорог — не ниже 0,80.

Продолжая оценку эффективности двух форм организации обучения, сравним расходы на оплату преподавателей при равном количестве обучаемых по одинаковым курсам для ДЦДО ПГУПС и КЦДО ОАО «РЖД» (рис. 6).

Оказалось, расходы на оплату преподавателей у ДЦДО ПГУПС существенно ниже вследствие меньшей зависимости расходов от количества обучающихся и отсутствия оплаты преподавателей, временно не участвующих в обучении. Достаточно убедительно видно, что при увеличении числа обучающихся и ассортимента курсов разница в расходах возрастает, особенно при увеличении продолжительности обучения.

Еще более наглядно сравнение затрат на рассматриваемые формы обучения в ДЦДО ПГУПС и КЦДО ОАО «РЖД» отражает рис. 7.

Экономия средств ОАО «РЖД» при аутсорсинге образовательных услуг на базе технологий дистанционного обучения с ДЦДО ПГУПС может быть на уровне 60–80 млн руб. И чем большее количество дорог перейдет на доподготовку и переподготовку персонала с применением дистанционного способа на базе ДЦДО, тем она будет значительнее.

Эффективность создания ДЦДО подтверждена даже при принятых жестких ограничениях на максимальную цену курса. Эти ограничения в наибольшей степени проявляют себя даже при минимальном числе пользователей. Ограничения на максимальную цену курса накладывались из принципиальных соображений: аутсорсинговые отношения ДЦДО ПГУПС

и ОАО «РЖД» строятся не на извлечении максимальной выгоды для ДЦДО, а на максимальном сокращении расходов ОАО «РЖД» на доподготовку и переподготовку персонала.

Следует отметить, что расходы на дистанционное обучение на базе ДЦДО ПГУПС существенно ниже, чем расходы на проведение того же объема обучения в КЦДО ОАО «РЖД». Экономия средств ОАО «РЖД» при аутсорсинге образовательных услуг на базе технологий дистанционного обучения с ДЦДО ПГУПС достаточно значительна.

Одним из важнейших компонентов оценки знаний работников ОАО «РЖД» является валидная система тестирования. Тестирование и контроль знаний являются важными компонентами процесса дополнительного обучения и переподготовки персонала в любой организации, в том числе в ОАО «РЖД». Их влияние на эффективность обучения можно оценить в нескольких ключевых аспектах:

1. Оценка начального уровня знаний. Перед началом обучения тестирование может помочь выявить текущий уровень знаний и навыков у персонала, что позволит более точно адаптировать программу доподготовки или переподготовки под конкретные нужды сотрудников.

2. Мотивация сотрудников. Регулярное тестирование может служить стимулом для сотрудников к более глубокому погружению в учебный материал и к повышению ответственности за результаты обучения.

3. Отслеживание прогресса. Тесты и контрольные работы в процессе доподготовки позволяют отслеживать прогресс каждого учащегося, определять слабые стороны в знаниях и оперативно корректировать образовательный процесс.

4. Контроль качества обучения. Регулярная проверка знаний дает обратную связь не только учащимся, но и работникам учебных программ. Если большинство сотрудников испытывают трудности с определенными темами, возможно, стоит пересмотреть подходы к обучению или содержание учебных материалов.

5. Стандартизация. В большой организации, такой как РЖД, тестирование позволяет стандартизировать уровень знаний и навыков персонала, что обеспечивает сопоставимость компетенций сотрудников различных подразделений и регионов.

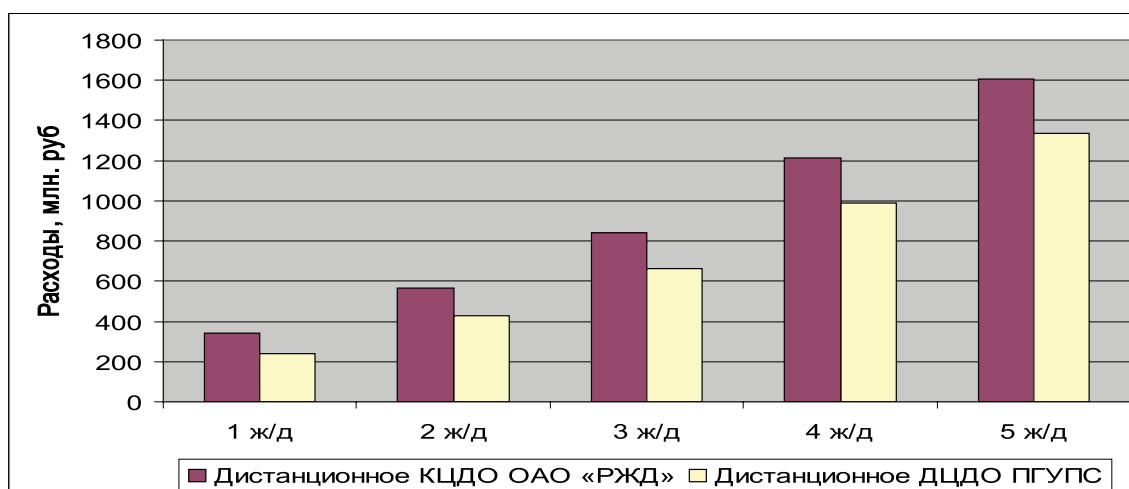


Рис. 7. Сравнение расходов на дистанционное обучение при различном количестве дорог

6. Поддержание квалификации. В сфере железнодорожного транспорта, где вопросы безопасности являются критически важными, систематический контроль знаний помогает поддерживать высокий уровень профессионализма и компетентности персонала.

7. Выявление потребностей в дальнейшем обучении. Результаты тестирования могут указывать на необходимость дополнительного обучения для отдельных сотрудников или целых подразделений.

8. Обеспечение соответствия стандартам. В случае наличия внешних или внутренних стандартов, которым должен соответствовать персонал, тестирование предоставляет доказательства того, что сотрудники соответствуют этим требованиям.

Внедрение эффективной системы тестирования и контроля знаний сотрудников требует внимания к разработке качественных тестовых материалов, обучению персонала методам и техникам успешной подготовки к тестам, а также к созданию условий, в которых проверка знаний будет способствовать мотивации и профессиональному росту сотрудников.

Расчет экономической эффективности тестирования и контроля знаний в процессе переподготовки персонала может быть осуществлен с помощью различных методов. Основная цель — показать, что вложения в обучение и проверку знаний окупаются за счет повышения производительности труда, снижения ошибок и, как следствие, издержек предприятия. Вот примерный план действий для такого обоснования:

1. Оценка текущего состояния и необходимости обучения:
  - идентификация областей, где требуется повышение квалификации;
  - анализ уровня компетентности сотрудников и потребностей ОАО «РЖД».
2. Разработка программы обучения и тестирования:
  - определение целей и задач обучения;
  - планирование процедур тестирования и контроля знаний;
  - расчет затрат на переподготовку и оценочные мероприятия.
3. Расчет прямых экономических эффектов:
  - расчет снижения ошибок и несчастных случаев благодаря повышению квалификации;
  - анализ увеличения производительности труда после обучения;
  - использование моделей, например возврата инвестиций (ROI), для оценки первичной эффективности.
4. Расчет косвенных экономических эффектов:
  - снижение издержек за счет уменьшения текучести кадров;
  - рост качества работы и удовлетворенности клиентов;
  - улучшение имиджа компании.
5. Мониторинг и корректировка программы обучения:
  - непрерывный контроль эффективности обучения и тестирования;
  - внесение корректив в программу на основе результатов мониторинга.

Следует отметить, что расходы на дистанционное обучение на базе ДЦДО ПГУПС существенно ниже, чем расходы на проведение того же объема обучения в КЦДО ОАО «РЖД». Экономия средств ОАО «РЖД» при аутсорсинге образовательных услуг на базе технологий дистанционного обучения с ДЦДО ПГУПС достаточно значительна.

#### Выводы и рекомендации

Представленная в статье математическая постановка задачи по определению экономической целесообразности организации дистанционного повышения квалификации и доподготовки персонала при ее реализации позволяет осуществлять оценку и прогноз основных параметров функционирования системы доподготовки и переподготовки персонала ОАО «РЖД». Принятые в модели критерии достаточно объективно характеризуют эффективность функционирования рассматриваемой системы.

Таким образом, на современном уровне развития отрасли в результате создания условий для использования достижений информационных технологий появляется возможность внедрить новые способы и формы обучения персонала ОАО «РЖД». Это обобщенный подход, и для более конкретных расчетов потребуются данные по стоимости обучения, времени отдачи от вложений, производительности труда до и после обучения, изменения в количестве ошибок или несчастных случаев, а также другие показатели работы ОАО «РЖД».

Использование подобных информационных технологий существенно повлияет на уровень безопасности и эффективность эксплуатации железнодорожного транспорта и будет способствовать выполнению задач по организации перевозок в случае возникновения чрезвычайных ситуаций [6, 9, 10].

#### Заключение

Результаты исследования подтверждают значительное снижение издержек и повышение производительности труда при использовании дистанционного обучения и тестирования персонала. Экономическая эффективность аутсорсинга образовательных услуг на базе технологий дистанционного обучения подтверждена. Рекомендуется использовать систему тестирования для поддержания квалификации и стандартизации знаний персонала в железнодорожной отрасли.

#### Литература

1. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций: Учебное пособие / Под ред. Б.А. Аникина. — Москва: ИНФРА-М, 2003. — 187 с. — (Высшее образование).
2. Ефимова, О.В. Оценка эффективности системы дистанционного обучения пользователей в ОАО «РЖД» / О.В. Ефимова, Е.Б. Бабошин // Экономика железных дорог. 2004. № 10. С. 52–58.
3. Обучение персонала Октябрьской ж.д. работе с модулем HR SAP R/3 с использованием продуктов LS и LWCL (IBM) на базе ЦИИТО ПГУПС / В.А. Одинцов, О.В. Искра, С.А. Захарова, Н.К. Румянцев, О.Н. Куранова // Информационные технологии на железнодорожном транспорте:

Сборник докладов X Международной научно-практической конференции (Инфотранс-2005) (Санкт-Петербург, Россия, 05–08 октября 2005 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2005. — С. 231–232.

4. Официальный сайт Министерства образования и науки Российской Федерации. Электронный ресурс: пир: // ШШ. минобрнауки.рф/documents?keu\fogs18=138 Дата обращения 11.09.2016.

5. Обоснование эффективности дистанционной доподготовки персонала железнодорожного транспорта / О.Н. Куранова, А. И. Дергачев, Я. С. Ватулин, Н. А. Лебедева // Системы автоматизированного проектирования на транспорте: Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Санкт-Петербург, Россия, 17–19 апреля 2017 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — С. 119–124.

6. Влияние уровня подготовки персонала железнодорожного и воздушного транспорта на эффективность выполнения перевозок / О. Н. Куранова, С. А. Дергачёв, Н. А. Лебедева // Проблемы математической и естественнонаучной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 03 ноября 2016 г.). — Т. 2. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — С. 92–95.

7. Андреев, А. А. Некоторые проблемы проектирования центра дистанционного обучения / А. А. Андреев, Н. Г. Краюшенко, В. Ю. Фокин // Применение новых технологий в образовании: Материалы VII Международной конференции (Троицк, Московская обл., Россия, 29 июня – 02 июля 1996 г.). — Троицк: Московский областной общественный фонд новых технологий в образовании «Байтик», 1996. — С. 21–22.

8. Ефимова О. В., Бабошин Е. Б. Оценка эффективности системы дистанционного обучения пользователей в ОАО «РЖД». Журнал «Экономика железных дорог», № 10, 2004 г. Стр. 52.

9. Коваленок, Т. П. Центр дистанционного образования ПГУПС как средство повышения экономической эффективности подготовки и переподготовки кадров для железнодорожного транспорта / Т.П. Коваленок, О.Н. Куранова // Экономические и социальные проблемы транспортного комплекса в современных условиях: Сборник научных трудов / под научн. ред. Т.П. Коваленок. — Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та экономики и финансов, 2001. — С. 258–263.

10. Аутсорсинг: создание высокоэффективных конкурентоспособных организаций: Учеб. пособие / Под ред. проф. Б. А. Аникина. — М.: ИНФРА-М, 2003.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Дергачев Алексей Иванович** — канд. воен. наук, доцент. Доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: d\_ader@mail.ru

**Ермаков Сергей Геннадьевич** — д-р техн. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: ermakov@pgups.ru

**Куранова Ольга Николаевна** — канд. техн. наук. Доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: olga\_kuranova@mail.ru

**Степанская Ольга Андреевна** — канд. техн. наук. Декан факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: stepanskaya@pgups.ru

**Брызгалов Александр Александрович** — магистр, аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: threnhawk@gmail.com

Статья поступила в редакцию 02.02.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024.

# Advanced Training of Russian Railways Personnel as a Factor of Efficiency of Railway Transportation in Emergency Situations

PhD A. I. Dergachev, Gr. PhD S. G. Ermakov, PhD O. N. Kuranova,  
PhD O. A. Stepankaya, Master A. A. Bryzgalov  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Moskovskij pr., 9, St. Petersburg, 190031, Russia

**Abstract. Purpose:** the directions of application of new information and telecommunication technologies for the organization of the process of advanced training, additional training and retraining of specialists of JSC “Russian Railways” are considered. The main purpose of the study is to study the problem of forecasting an increase in the efficiency of the use of railway transport by reducing losses from unskilled actions of personnel. **Methods:** the research method is based on the implementation of the principle that in terms of funding, additional training and retraining differ significantly. **Results:** remote retraining and retraining of railway transport workers is a complex of interrelated organizational, technical, technological, financial and methodological tasks that ensure the functioning of this system. **Practical significance:** the mathematical formulation of the problem presented in the article to determine the economic feasibility of organizing remote professional development and retraining of personnel during its implementation allows for the assessment and forecast of the main parameters of the functioning of the system of retraining and retraining of personnel of JSC “Russian Railways”. The criteria adopted in the model fairly objectively characterize the effectiveness of the functioning of the system under consideration.

**Keywords:** computer technologies of training, “professional development of personnel” through the introduction of new information and telecommunication technologies.

**For citation:** Dergachev A. I., Ermakov S. G., Kuranova O. N., Stepankaya O. A., Bryzgalov A. A. Advanced training of Russian Railways personnel as a factor of efficiency of railway transportation in emergency situations // *Intellectual Technologies on Transport*. 2024. No. 1 (37). P. 32–44. (In Russian) DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-32-44

## REFERENCES

1. Outsourcing: creation of highly effective and competitive organizations: Study guide [Autsorsing: sozдание vysokoeffektivnykh i konkurentosposobnykh organizatsiy: Uchebnoe posobie]. Moscow, INFRA-M Publishing House, 2003. — 187 p.
2. Efimova O. V., Baboshin E. B. Evaluation of the Effectiveness of the Distance Learning System for Users at Russian

Railways JSC [Otsenka effektivnosti sistemy distantsionnogo obucheniya polzovateley v OAO «RZhD»], *Railway Economy [Ekonomika zheleznnykh dorog]*, 2004, No. 10, Pp. 52–58.

3. Rumyantsev N. K., Odintsov V. A., Kuranova O. N. Training of Oktyabrskaya Railway Personnel to Work with the HR SAP R/3 Module Using LS and LWCL (IBM) Products Based on the Center for Internet/Intranet Technologies in Education PGUPS [Obuchenie personala Oktyabrskoy zh.d. rabote s modulem HR SAP R/3 s ispolzovaniem produktov LS i LWCL (IBM) na baze TsII TO PGUPS], *Information Technologies in Railway Transport: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference [Informatsionnye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte: Sbornik dokladov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii] (Infotrans-2005)*, St. Petersburg, Russia, October 05–08, 2005. Saint Petersburg, Petersburg State Transport University, 2005, Pp. 231–232.

4. Kuranova O. N., Dergachev A. I., Vatulin Ya. S., Lebedeva N. A. Justification of Efficiency of Remote Additional Training of the Personnel of Railway Transport [Obosnovanie effektivnosti distantsionnoy dopodgotovki personala zheleznodorozhno-go transporta], *Computer-Aided Design Systems in Transport: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists [Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya na transporte: Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh]*, Saint Petersburg, Russia, April 17–19, 2017. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2017, Pp. 119–124.

5. Kuranova O. N., Dergachev S. A., Lebedeva N. A. The Influence of the Level of Training of Personnel of Railway and Air Transport on the Efficiency of Transportation [Vliyanie urovnya podgotovki personala zheleznodorozhnogo i vozdušnogo transporta na effektivnost vypolneniya perevozok], *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]*, November 03, 2016, St. Petersburg. Volume 2. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2017, Pp. 92–95.

6. Andreev A. A., Krayushenko N. G., Fokin V. Yu. Some Problems of Designing a Distance Learning Center [Nekotorye problemy proektirovaniya tsentra distantsionnogo obucheniya], *Application of New Technologies in Education: Proceedings of the VII International Conference [Primenenie novykh tekhnologiy v obrazovanii: Materialy VII Mezhdunarodnoy konferentsii]*, Troitsk, Moscow region, Russia, June 29–July 2, 1996. Troitsk, Moscow Regional Public Foundation of New Technologies in Education «Bytic», 1996, Pp. 21–22.

7. Kovalenok T. P., Kuranova O. N. The Center for Distance Education of PSUPS as a means of increasing the economic efficiency of training and retraining of personnel for railway transport // Economic and social problems of the transport complex in modern conditions. — 2001. — Pp. 258–263.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Dergachev Alexey Ivanovich** — PhD in Military Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: d\_ader@mail.ru

**Ermakov Sergey Gennadievich** — Grand PhD in Engineering, Professor. Head of the Department Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: ermakov@pgups.ru

**Kuranova Olga Nikolaevna** — PhD in Engineering. Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: olga\_kuranova@mail.ru

**Stepanskaya Olga Andreevna** — PhD in Engineering. Dean of the Faculty of Automation and Intelligent Technologies, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: stepanskaya@pgups.ru

**Bryzgalov Alexander Alexandrovich** — Master of Engineering sciences, Postgraduate student. Department of Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: threnhawk@gmail.com

The article was submitted 02.02.2024; approved after reviewing 04.03.2024.

# Метод перехода от хранилищ данных к озерам данных геоинформационных систем на основе Лямбда-архитектуры

магистр Р. Абу Хасан

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

А. Б. Кириенко

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского Санкт-Петербург, Россия

д-р техн. наук А. Д. Хомоненко

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

**Аннотация.** В статье рассматривается переход от традиционных хранилищ данных к озерам данных в геоинформационных системах с использованием Лямбда-архитектуры. Приводится обзор основных этапов перехода, включая планирование, сбор и обработку данных, запросы данных, аналитику данных и управление метаданными. Особое внимание уделяется взаимодействию озер данных и ГИС, а также примерному коду обработки больших данных на основе Лямбда-архитектуры. Рассматриваются преимущества использования озер данных в ГИС и возможности интеграции современных технологий обработки данных.

**Ключевые слова:** озера данных, хранилища данных, Лямбда-архитектура, геоинформационные системы, метаданные, обработка больших данных, интеграция данных, аналитика данных, переход от хранилищ данных.

**Для цитирования:** Абу Хасан Р., Кириенко А. Б., Хомоненко А. Д. Метод перехода от хранилищ данных к озерам данных геоинформационных систем на основе Лямбда-архитектуры // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 45–55. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-45-55

## ВВЕДЕНИЕ

Хранилища данных призваны обеспечить физическую интеграцию баз данных. Это основа OLAP-приложений (оперативная аналитическая обработка данных) и бизнес-аналитики, на них построена ориентированная на данные стратегия предприятия.

Хранилища данных играют важную роль в обеспечении физической интеграции баз данных, однако с появлением больших данных и разнообразных источников информации возникают проблемы с их обработкой.

Когда хранилища данных только появились (в 1980-х годах), данные предприятия хранились в оперативных OLTP-базах (управления данными о транзакциях. Сегодня все больше и больше полезных данных поступает из разнообразных источников больших данных: журналов веб-серверов, социальных сетей и электронной почты.

В результате выявились **недостатки традиционных хранилищ данных:**

- определение схемы при записи. Обычно хранилище данных опирается на реляционную СУБД, и его структура описывается реляционной схемой. В реляционных СУБД принят подход, который недавно стали называть schema-on-write в противоположность schema-on-read (см. далее). В этом случае данные записываются в базу в фиксированном формате, определенном схемой;

- длительный процесс разработки. Разработка хранилища данных может длиться годами. Основная причина в том, что требуется заранее точно определить и смоделировать необходимые данные;

- обработка OLAP-задач. Хранилище данных обычно оптимизировано для рабочих нагрузок типа OLAP, когда аналитики интерактивно опрашивают данные по различным измерениям, например с помощью кубов данных. Недавно появились OLAP-приложения, которым нужен доступ к оперативным данным в реальном масштабе времени, что довольно трудно поддерживать в хранилищах данных;

- трудоемкая разработка с применением ETL (Extract Transform Load). Для интеграции гетерогенных источников данных в глобальную схему необходимы сложные ETL-программы для очистки, преобразования и обновления данных. По мере диверсификации источников разрабатывать такие программы становится все труднее.

В последние годы для работы с большими данными и их аналитики активно применяется концепция озер данных [1].

Переход к озерам данных в геоинформационных системах на основе Лямбда-архитектуры представляет собой перспективное решение для эффективной обработки и анализа данных.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕР ДАННЫХ

**Озеро данных** представляет собой центральное хранилище большого объема данных компании, предприятия, в естественном виде, а также измененные данные, с возможностью последующего их извлечения и анализа разными пользова-

телями и системами. Озеро данных может включать структурированные данные из реляционных баз данных (строки и столбцы), полуструктурированные данные (CSV, журналы, XML, JSON), неструктурированные данные (электронные письма, документы, PDF-файлы) и двоичные данные (изображения, аудио, видео).

*Структурированные данные* — это организованные данные, которые следуют за фиксированной схемой, такие как таблицы баз данных, где есть четкие определения столбцов, строк и таблиц. Эти данные легко искать и организовывать, так как они следуют строгим правилам. Примеры включают данные из реляционных баз данных (SQL), онлайн-форм и транзакционных систем.

*Полуструктурированные данные* — это данные, которые не подходят полностью под модель реляционной базы данных, но содержат теги или другие маркеры для отдельных элементов данных. Данные могут быть представлены в таких форматах, как JSON, XML и CSV, где есть некоторый метаязык для обозначения свойств данных, но не требуется схема данных в традиционном смысле.

*Неструктурированные данные* — это информация, которая не имеет определенного формата или структуры, например, текстовые документы, изображения, видео, аудио, электронные письма и социальные медиа. Обработка и анализ таких данных требуют более сложных подходов, таких как машинное обучение, текстовый анализ и компьютерное зрение.

Как и хранилище данных, озера данных можно использовать для OLAP-приложений и бизнес-аналитики, а также для пакетного или оперативного анализа данных с применением технологий больших данных.

По сравнению с хранилищами данных *озеро имеет следующие преимущества:*

- определение схемы при чтении. Термином *schema-on-read* обозначают подход к анализу больших данных, когда во главу угла ставятся загруженные данные, как в Hadoop. В этом случае данные загружаются как есть, в своем «родном» формате: например, в файловую систему Hadoop HDFS (Hadoop Distributed File System). А уже потом, во время чтения данных, на них накладывается схема для выделения представляющих интерес полей. Таким образом, данные можно опрашивать в естественном формате. Это резко повышает гибкость, поскольку в озеро в любой момент можно добавить новые данные. Однако требуется больше усилий для написания кода, применяющего к данным схему. Например, его можно включить в функцию Map каркаса Map Reduce. Разбор данных также приходится проводить во время выполнения запроса;

- обработка различных рабочих нагрузок. Программный стек управления большими данными поддерживает разные методы доступа к одним и тем же данным: например, пакетный анализ с помощью каркаса типа Map Reduce, интерактивные OLAP-приложения или бизнес-аналитика с помощью каркаса типа Spark, анализ в реальном времени с помощью каркасов потоковой обработки данных. Агрегируя различные каркасы, озеро данных может поддерживать обработку рабочих нагрузок разных типов;

- экономически эффективная архитектура. Опираясь на кластеры без разделения ресурсов и на программы с откры-

тым исходным кодом для реализации программного стека управления большими данными, озеро данных обеспечивает отличные показатели соотношения стоимости и производительности и отдачи на капитал.

Озеро данных предоставляет следующие основные возможности [1]:

- сбор полезных данных: исходных, преобразованных, поступающих из внешних источников и так далее;
- предоставление возможности пользователям из различных подразделений предприятия исследовать данные и обогащать их метаданными;
- использование для доступа к данным различных методов: пакетных, интерактивных, в режиме реального времени и так далее;
- осуществление руководства данными, обеспечение безопасности, управления данными и задачами.

#### ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕНОСА ДАННЫХ ИЗ КОРПОРАТИВНЫХ ХРАНИЛИЩ В ОЗЕРА ДАННЫХ

Переход от традиционных хранилищ и развертывание озера данных, обусловленный несколькими тенденциями и потребностями (объем и разнообразие данных, гибкость в работе с данными, масштабируемость хранилищ, многофункциональность, оптимизация затрат, скорость доступа к данным, инновации инструментов и технологий) сопряжен с многочисленными препятствиями и проблемами, которые потребуются решить [2]:

- разнообразие форматов данных. Данные могут храниться в различных форматах, таких как CSV, Excel, текстовые файлы, реляционные базы данных и NoSQL. Это может усложнить процесс переноса и привести к потере качества данных;
- неоднородность данных. Данные из различных источников могут быть структурированными, полуструктурированными или неструктурированными. Это делает процесс интеграции и преобразования данных более сложным;
- защита данных. При переносе данных из внутренних систем компании могут возникнуть проблемы с соблюдением правил безопасности и конфиденциальности данных;
- масштабируемость. При увеличении объема данных процесс переноса может стать слишком сложным и ресурсоемким;
- производительность и задержки. Перенос данных может привести к снижению производительности и увеличению задержек в работе корпоративных систем;
- сложность управления. Процесс переноса данных требует тщательного планирования, управления и мониторинга;
- интеллектуальная собственность. При переносе данных нужно учитывать вопросы интеллектуальной собственности и авторские права.

Для решения этих проблем необходимо использовать передовые технологии и инструменты для переноса данных, интеграции данных и развертывания систем управления данными.

Также одним из основных препятствий являются непомерные расходы, связанные с хранилищами данных. Затраты на их внедрение и обслуживание высоки.

Облачные решения Data Lake предлагают упрощенное развертывание, хотя и *могут повлечь за собой значитель-*

**ные затраты.** Некоторые платформы, такие как Hadoop, имеют открытый исходный код и, следовательно, не требуют никакой оплаты. Однако выполнение и надзор могут потребовать дополнительного времени и более квалифицированного персонала.

**Проблема управления** — еще одна проблема [2]. Управление озером данных влечет за собой выполнение сложных обязанностей, таких как обеспечение способности инфраструктуры хоста справляться с ростом озера данных и решение проблем избыточности данных и безопасности. Это создает серьезные препятствия даже для опытных инженеров.

Кроме того, существует **потребность в увеличении числа экспертов в предметной области и инженеров**, обладающих подлинными навыками создания озер данных и контроля за ними. Может возникнуть недостаток специалистов по обработке данных и инженеров по обработке данных. Еще одним фактором, который следует принимать во внимание, является длительный срок, необходимый для достижения полной функциональности и бесшовной интеграции с инструментами документооборота и аналитики [3].

**Безопасность данных** является серьезной проблемой в контексте озер данных, аналогичной хранилищам данных. Для обеспечения соответствия правилам управления данными и защиты данных в озере данных необходимо внедрить определенные меры безопасности, используя опыт специалистов по кибербезопасности и применяя инструменты обеспечения безопасности. Другой существенной трудностью являются вычислительные ресурсы и рост вычислительной мощности. Это связано с тем, что объем данных растет беспрецедентными темпами, превосходящими рост вычислительной мощности. Современные компьютеры недостаточно способны обрабатывать их и управлять ими одновременно из-за нехватки питания. Аналогичным образом платформы данных с открытым исходным кодом сталкиваются с многочисленными фундаментальными проблемами, связанными с управлением озерами данных, которые являются чрезмерно дорогостоящими. Кроме того, устранение этих значительных различий в экспертных знаниях требует использования значительных вычислительных ресурсов.

Для повышения качества озера данных крайне **важно обновить методы**, с помощью которых создаются и контролируются озера данных. Требуется обеспечить использование облачных вычислений вместо построения сложных систем хранения данных на специально созданной инфраструктуре [4].

Ключевой особенностью архитектуры озера данных является ее **способность эффективно и без особых усилий получать различные формы данных**, такие как потоковые данные в реальном времени с локальных платформ хранения, структурированные данные, создаваемые и обрабатываемые мейнфреймами и хранилищами данных, а также неструктурированные или полуструктурированные данные. В процессе приема данных используется значительный уровень параллелизма и минимальная задержка из-за необходимости взаимодействия с внешними источниками данных с ограниченной пропускной способностью. При этом не требуется проводить тщательную проверку загруженных данных. Возможно использовать поверхностный анализ

загруженных данных и их метаданных для поддержания фундаментальной организации загружаемых наборов данных. На этапе извлечения данных в data lake management исходные данные преобразуются в предварительно установленную модель данных.

Вместо того чтобы выполнять извлечение отдельных файлов последовательно, можно использовать информацию, полученную в ходе предыдущих процессов извлечения. Существует ограниченное количество исследований по этапу очистки озера данных, и в литературе рассматривается лишь несколько технологий, таких как CLAMS [5].

Для извлечения данных из озера существует два способа: поиск на основе запросов, когда пользователь инициирует поиск, вводя запрос для получения конкретных данных, и поиск на основе данных, когда пользователь исследует озеро данных, используя график связей или иерархическую структуру, чтобы найти интересующие данные [6]. Одним из возможных способов является интеграция методов, основанных на анализе или контексте, которые предполагают расширение набора данных соответствующей информацией и контекстуальными деталями для облегчения задач обучения.

Другая область исследований предполагает изучение **применения машинного обучения** в хранилищах данных. В настоящее время проводятся многочисленные исследования с особым упором на использование машинного обучения с целью организации и обнаружения наборов данных. Работа по обнаружению наборов данных часто включает в себя идентификацию «похожих» признаков, которые были получены из данных, метаданных и других источников. Затем эти атрибуты можно использовать в сочетании с задачами классификации или кластеризации.

В нескольких недавних исследованиях использовались методы машинного обучения, включая классификатор K-ближайших соседей (KNN) [7] и модель логистической регрессии для оптимизации коэффициентов признаков [8]. В ближайшие годы процесс обнаружения наборов данных, по прогнозам, дополнят более совершенное глубокое обучение и связанные с ним сложные подходы машинного обучения.

#### УПРАВЛЕНИЕ МЕТАДААННЫМИ

Управление метаданными является важнейшей обязанностью в озере данных, поскольку в озере данных отсутствуют всеобъемлющие каталоги данных [2]. Метаданные играют критически важную роль, делая возможным управление, поиск, безопасность и анализ данных. Озера данных обычно содержат огромное количество разнородных данных, которые собираются из различных источников и хранятся в их исходном формате. Метаданные представляют собой данные о данных, они помогают понять контекст, структуру, зависимости и доступность содержимого озера данных.

Отсутствие четких метаданных для наборов данных, особенно на протяжении всего процесса обнаружения и очистки данных, увеличивает риск превращения озера данных в информационное болото.

При работе с метаданными в озерах данных необходимо придерживаться следующих аспектов:



- каталогизация. Метаданные используются для каталогизации активов данных в озере данных, что позволяет пользователям легко находить нужные данные для анализа;
- управление данными. Организация жизненного цикла данных, включая версионирование, архивирование и удаление данных;
- безопасность и управление доступом. Метаданные определяют, кто может получить доступ к определенным данным, включая информацию о разрешениях и политиках безопасности;
- линейность/связь данных (Lineage). Метаданные предоставляют информацию о происхождении данных, их перемещениях и преобразованиях, что важно для отслеживания их источника, состояния и изменений;
- схемы и структуры данных. Они включают информацию о схемах и структурах данных, что позволяет пользователям понимать, как данные организованы и как их можно использовать;
- интеграция данных. Метаданные помогают при интеграции данных, так как они могут содержать информацию об отношениях и зависимостях между разными наборами данных;
- поиск и открытие. Мощные средства поиска могут использовать метаданные для повышения эффективности поиска и открытия нужных данных в пределах озера данных;
- качество данных. Метаданные могут содержать информацию о качестве данных, помогая определить их надежность и точность;
- управление правилами и политиками. Политики обработки данных, такие как правила обеспечения соответствия GDPR или HIPAA, могут быть включены в метаданные;
- аудит и соответствие. Метаданные позволяют отслеживать и подтверждать соответствие данных различным стандартам и правилам, важным для регулятивной среды.

GDPR (General Data Protection Regulation) и HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) — два законодательства, которые устанавливают правила для защиты персональных данных в Европейском союзе и США соответственно. Инструменты управления метаданными, встроенные в системы озер данных, такие как Apache Atlas, Alation, Collibra и AWS Glue, предоставляют способы для автоматизации управления метаданными, повышения их доступности и улучшения эффективности работы с данными.

Следовательно, необходимо **извлекать важные метаданные** из источников данных и обеспечивать эффективное хранение и извлечение метаданных. В сфере управления метаданными все еще существует множество областей, требующих дополнительного изучения. Они включают извлечение информации из озера данных и ее интеграцию в уже существующие базы знаний.

Можно организовать аналитическую обработку данных, размещенных в озере данных, с помощью инструментальных средств и методов бизнес-аналитики (рис. 1) [2]. В частности, для многомерного анализа данных можно применить технологию OLAP, а для определения тональности текста можно применить технологию текстовой аналитики (Text mining). Для проведения интеллектуального анализа данных может использоваться технология интеллектуального анализа (data mining).

Другим важным фактором является **управление версиями данных**, которое включает в себя включение новых версий старых файлов в динамическое хранилище данных [8]. Учитывая, что процедуры, связанные с управлением версиями, могут влиять на каждый этап хранилища данных, обращение к этому элементу имеет первостепенное значение. Примером крупномасштабной технологии управления версиями наборов данных является DataHub [24], который предлагает git-подобный интерфейс для управления процессами создания версий, ветвления и объединения.



Рис. 1. Инструментальные средства и методы бизнес-аналитики

Наконец, наблюдается растущая тенденция в архитектуре управления данными, известная как Data Lakehouse, которая сочетает **адаптивность** озер данных с функциональными возможностями управления данными хранилища данных. Эту технологию можно рассматривать как **метод хранения всех типов данных** (неструктурированных, полуструктурированных и структурированных) при сохранении высоких стандартов качества данных и управления данными, часто связанных с хранилищем данных [9]. Хранилище данных такого рода может обладать способностью улучшать управление данными, сводить к минимуму передачу и дублирование данных, оптимизировать использование времени и достигать этих преимуществ даже при использовании упрощенной схемы. Ожидается, что концепция хранилища данных Data Lakehouse станет многообещающей областью исследований в области управления данными в ближайшие годы.

#### ЭТАПЫ ПЕРЕХОДА ОТ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ К ОЗЕРУ ДАННЫХ

Процесс организации перехода от хранилища данных к озеру данных можно представить следующими этапами [9]:

##### **Планирование и подготовка:**

- определение целей перехода. Четко сформулировать причины перехода на озеро данных и желаемые результаты;
- оценка текущей среды обработки данных. Оценка источников данных, формата хранения, качества данных и последовательности данных в текущем хранилище данных;
- определение требований к миграции данных. Определение типов данных, объемов и частоты обновления данных;
- выбор технологии. Выбор платформы Data Lake, соответствующей потребностям и бюджету организации;
- разработка стратегии миграции. Планирование процесса миграции данных, включая извлечение, преобразование и загрузку данных (ETL) или методы приема данных.

##### **Извлечение и репликация данных:**

- извлечение данных из хранилища данных. Подключение к хранилищу данных и извлечение соответствующих данных с помощью SQL, инструментов ETL или API;
- преобразование данных в формат, удобный для озера данных. Очистка, стандартизация и изменение формы данных в соответствии со структурой и схемой озера данных;
- загрузка или репликация данных в озеро данных. Копирование или потоковая передача преобразованных данных в озеро данных, обеспечивающее целостность и последовательность данных.

##### **Доступ к данным и аналитика:**

- настройка доступа к данным и безопасности. Реализация контроля доступа к данным, управления доступом и шифрования данных для защиты конфиденциальной информации;
- определение политики управления данными. Определение стандартов качества данных, отслеживание происхождения и методов управления метаданными;
- разработка конвейеров анализа данных. Применение механизмов обработки данных, таких как Apache Spark или Data Lake, для анализа и извлечения информации из озера данных.

##### **Мониторинг и техническое обслуживание:**

- постоянный мониторинг качества данных. Внедрение проверки качества данных для обеспечения целостности и непротиворечивости данных;
- управление объемом и ростом данных. Отслеживание роста данных и внедрение политики хранения данных для оптимизации затрат на хранение;
- решение проблем с производительностью. Оценка и оптимизация шаблонов доступа к данным, структуры данных и конвейеров обработки для поддержания производительности;
- регулярное обновление и поддержка инфраструктуры озера данных. Обновление платформы и инструментов озера данных для обеспечения совместимости и безопасности.

#### ОЗЕРА ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Взаимодействие озер данных и геоинформационных систем (ГИС) целесообразно организовывать для анализа, визуализации и управления географической информацией. При этом их **взаимодействие определяется следующими операциями** [10–12]:

- геокодирование. Озера данных могут содержать большое количество негеокодированной информации, такой как имена компаний, адреса, точки продаж и т. д. Геоинформационные системы могут использовать эту информацию для привязки к географическим координатам, что позволяет визуализировать и анализировать данные на карте;
  - загрузка данных. Геоинформационные системы позволяют загружать данные из различных источников, включая озеро данных. Это может включать загрузку данных о погоде, транспортных потоках, демографии и других параметрах, которые могут быть полезны для анализа и визуализации;
  - анализ данных. Озера данных часто содержат большое количество данных, которые не были проанализированы или обработаны. Геоинформационные системы предоставляют инструменты для анализа этих данных, включая пространственный анализ, который позволяет исследовать взаимосвязи между различными географическими объектами и явлениями;
  - визуализация данных. Геоинформационные системы обеспечивают визуализацию данных на карте, что делает их более понятными и наглядными. Они позволяют отображать различные типы данных, такие как точки, линии, полигоны и так далее, а также предоставлять информацию о них в виде таблиц, графиков и других форматов;
  - интеграция с другими системами. Геоинформационные системы часто интегрируются с другими системами, такими как системы управления базами данных, системы мониторинга и контроля и другими. Это позволяет более эффективно использовать информацию и обмениваться ею между различными системами.
- ГИС активно наполняются данными с помощью мобильных наземных, водных, воздушных средств, космических комплексов дистанционного зондирования и устройств сбора данных. Так, только в космическом пространстве находится огромное количество КА, собирающих различную информацию о земной поверхности, часть которой затем используется в базах ГИС.

Многообразию данных, высокая степень динамичности, вызванная необходимостью поддержания их актуальности, приводит к возникновению проблем, присущих традиционным хранилищам данных, связанным с интеграцией пространственных данных, их обработкой и хранением.

В настоящее время на рынке ГИС существует не менее 100 коммерческих систем и более 300 свободно распространяемых программных комплексов для работы с пространственной информацией. При этом не существует единых форматов хранения данных и унифицированных средств для интеграции систем друг с другом.

Исходя из концепции единого информационного пространства, ГИС должна позволять всем ее пользователям взаимодействовать с единой системой пространственных баз данных, дать возможность всем потребителям пространственных данных доступа к актуальным данным для их просмотра, использования и применения инструментов аналитики независимо от территориальной расположенности.

В ряде работ, например [20], предлагается использовать подход к организации хранения и обработки пространственных данных, основанный на концепции озер данных. При этом целесообразным, по нашему мнению, является организация перехода от традиционных хранилищ данных к озерам данных на основе Лямбда-архитектуры обработки больших данных. Охарактеризуем кратко этот способ.

#### СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕХОДА ОТ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ К ОЗЕРАМ ДАННЫХ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ЛЯМБДА-АРХИТЕКТУРЫ

Переход от традиционных хранилищ данных (Data Warehouse) к озерам данных (Data Lakes) в контексте геоинформационных систем (ГИС) является частью более широкой тенденции в области больших данных и аналитики.

Интеграция данных в реальном времени часто требует комплексной архитектуры, которая позволяет оперативно обрабатывать и анализировать большие объемы разнообразной информации. Озера данных (Data Lakes) в сочетании с Лямбда-архитектурой (Lambda Architecture) предоставляют один из подходов к решению этой задачи.

Лямбда-архитектура при этом играет ключевую роль в управлении и анализе потоковых и пакетных данных, осо-

бенно в системах, обрабатывающих большое количество информации с высокой скоростью и из разнообразных источников.

Основной Лямбда-архитектуры является выполнение произвольных функций над распределенными наборами данных в реальном времени, а также сочетание возможностей пакетной обработки и обработки в реальном времени для балансировки задержки данных, пропускной способности и устойчивости к сбоям. Для выполнения этой задачи используются несколько средств и техник для создания полной системы обработки больших данных. Лямбда-архитектура решает проблему выполнения произвольных функций параллельно с распределенными данными в реальном времени, представляя трехуровневую структуру, состоящую из слоя пакетной обработки, слоя обработки в реальном времени и слоя обслуживания, от сбора данных до анализа данных, с визуализацией и обратной связью (рис. 2) [19].

**Лямбда-архитектура** в ГИС нацелена на обеспечение возможности быстрого анализа специальных данных. В ней сочетаются два подхода к обработке данных:

1. **Пакетная обработка** (Batch Layer) отвечает за обработку больших объемов накопленных данных. Это «долговременная память» системы, позволяющая выполнять комплексные запросы и анализ данных за длительные периоды времени. Задачи могут выполняться с задержкой (не в реальном времени), но позволяют провести полноценный анализ исторических данных.

2. **Потоковая обработка** (Speed Layer) предназначена для обработки данных в режиме реального времени. Этот слой обеспечивает быстрые ответы на запросы, используя последние данные и минимизируя задержку между событием и возможностью анализировать это событие.

Исходя из результатов пакетной и скоростной обработки, слой обслуживания формирует данные таким образом, чтобы они были доступны для запросов пользователей, часто в виде предварительно агрегированных представлений.

Архитектуру для геопро пространственных данных можно представить пятью последовательными этапами:

1. **Генерация геопро пространственных данных.** Геопро пространственные данные создаются различными датчиками, сенсорами, средствами дистанционного зондирования Земли



Рис. 2. Лямбда-архитектура для работы с геопро пространственными данными

и представляют собой картографические данные, спутниковые изображения, данные GPS-трекеров, погодные данные и др. Особенности распределенной архитектуры Lambda позволяют не только обрабатывать, но и генерировать новые геоданные на основе аналитики, моделирования и предсказаний, используя алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта.

2. *Сбор данных.* Данные перед размещением в озере проходят процедуру предварительной «очистки» и разделения специальными средствами. К ним относятся, например, Flink и Samza (фреймворки распределенной потоковой обработки), Flume (сервис передачи логов Hadoop), Kafka (фреймворк, обеспечивающий работу в режиме реального времени конвейеров данных и приложений для обработки потоков) и Sqoop (платформа для интеграции данных из СУБД SQL и NoSQL в Hadoop). Все данные должны сопровождаться метаданными, отражающими их особенности (источник, типы, форматы, пространственная привязка, уровни доступа).

3. *Хранение и обработка данных.* Хранение пакетных данных может быть организовано с помощью HDFS (применяется примерно в 75% озер данных). HDFS — это распределенная система хранения, обладающая высокой степенью масштабируемости и возможностью обработки всех типов данных. HDFS хорошо подходит для хранилищ без схем и хранилищ больших объемов неструктурированных данных. Предобработка выполняется с помощью MapReduce, который хорошо подходит для очень больших данных, но менее эффективен для быстрых, потоковых данных. Для них используются альтернативные фреймворки обработки, например Apache Spark. Spark особенно подходит для обработки в режиме реального времени. Точно так же Apache Flink и Apache Storm подходят и для обработки данных в реальном времени.

4. *Запросы данных.* Данные могут быть доступны через классические языки запросов, такие как SQL для реляционных СУБД, JSONiq для MongoDB, XQuery для СУБД XML или SPARQL для ресурсов RDF. Spark SQL и SQL++ могут использоваться как для запросов в реляционные СУБД, так и к полуструктурированным данным в формате JSON. Можно использовать Apache Phoenix для автоматического преобразования SQL-запросов в язык запросов NoSQL или, например, Apache Drill, который позволяет объединить данные из нескольких систем хранения. Apache Hive может применяться для обработки данных и предоставляет SQL-подобный интерфейс для удобного анализа данных, хранящихся в HDFS или других хранилищах данных, таких как Apache HBase. Apache Impala — это инструмент для массовой параллельной обработки запросов, предназначенный для обработки запросов на чтение/запись в режиме реального времени в HDFS или HBase.

5. *Аналитика данных.* Например, для выполнения анализа больших данных может применяться инструмент Hadoop, который интегрируется с экосистемой Hadoop. Он предлагает интерфейс, позволяющий выполнять сложные аналитические процедуры на больших данных без необходимости писать код на Hadoop или его компонентов, таких как Pig и Hive. Для визуализации данных может быть применен Tableau, который используется для превращения сырых данных в легко понимаемые формы, такие как графики,

диаграммы и интерактивные панели управления. Он также позволяет исследовать и анализировать данные, создавая интерактивные и разделяемые отчеты.

Для реализации перехода к озерам данных в ГИС требуется выполнить следующие шаги:

- определение новой стратегии управления данными;
- выбор подходящих технологий для создания и управления озером данных;
- обеспечение правильного уровня безопасности и конфиденциальности;
- привлечение специалистов, способных работать с новой архитектурой данных.

#### Код обработки больших данных ГИС на основе Лямбда-архитектуры

На рисунке 3 приведен примерный контур кода, который использует Лямбда-архитектуру для обработки данных геоинформационной системы.

Код написан на Python и использует библиотеку GeoPandas для упрощения обработки геопространственных данных. Код предполагает наличие системы управления данными (например, Apache Hadoop для пакетной обработки и Apache Kafka для потоковой обработки) и распределенной системы хранения данных. Код обеспечивает обработку геопространственных данных в архитектуре Лямбда, однако он сильно упрощен и предназначен только для демонстрации концепций. Отметим, что в реальных системах потребуется учитывать множество дополнительных аспектов, включая управление ошибками, масштабирование, безопасность и оптимизацию производительности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход от традиционных хранилищ данных к озерам данных дает возможность хранить данные разных типов и управлять ими: обрабатывать структурированные, полуструктурированные и неструктурированные данные из различных источников, обеспечивая централизованное хранилище для всех геопространственных данных. Использование озера данных на основе ГИС позволяет обогатить анализ и визуализацию географических данных, а также улучшить управление и использование пространственной информацией в целом.

Рассмотренный подход к организации перехода от хранилищ данных к озеру данных в геоинформационных системах, основанных на Лямбда-архитектуре, обладает следующими **преимуществами**:

- гибкость в хранении. Озера данных могут хранить неструктурированные данные, такие как изображения, видео, аудиоданные, а также структурированные и полуструктурированные данные. Это идеально подходит для ГИС, где данные часто приходят в различных форматах;
- масштабируемость. Озера данных хорошо масштабируются для хранения огромных объемов данных, что крайне важно для ГИС, работающих с большими наборами пространственных данных;
- затраты. Использование технологий хранения вроде Hadoop для озер данных часто бывает более экономичным, поскольку они спроектированы для работы на стандартном

```

1 import geopandas as gpd
2 from kafka import KafkaConsumer
3 from pyspark.sql import SparkSession
4 from pyspark.streaming import StreamingContext
5 from pyspark.streaming.kafka import KafkaUtils
6 # Подготовка Spark сессии
7 spark = SparkSession.builder.appName("GISLambdaArchitecture").getOrCreate()
8 sc = spark.sparkContext
9 ssc = StreamingContext(sc, 1)
10 # Пакетная обработка исторических геоданных (Batch Layer)
11 def batch_process():
12     # Загрузка исторических данных ГИС
13     historical_gis_data = gpd.read_file("historical_gis_data.geojson")
14     # Выполнить преобразование / агрегацию данных
15     # Это могут быть операции вроде преобразования координат, фильтрации или суммирования данных.
16     processed_data = historical_gis_data # Здесь должна быть логика обработки
17     # Сохранение обработанных данных для дальнейшего анализа
18     processed_data.to_file("processed_historical_gis_data.geojson")
19 # Поточковая обработка реальных данных (Speed Layer)
20 def stream_process():
21     # Функция для обработки каждого сообщения
22     def process_msg(msg):
23         # Преобразование сообщений в геопространственный формат
24         gis_content = gpd.GeoDataFrame.from_features(msg)
25         # Здесь может быть логика обработки
26         # Потенциально здесь можно обновить слой Serving с новыми данными
27     # Консьюмер Kafka для потоковых данных ГИС
28     kafka_consumer = KafkaConsumer('gis_messages', bootstrap_servers='localhost:9092')
29     # Создаем Kafka DStream
30     kafka_stream = KafkaUtils.createDirectStream(ssc, ['gis_messages'], {"metadata.broker.list": 'localhost:9092'})
31     # Применение функции обработки к каждому элементу DStream
32     kafka_stream.foreachRDD(lambda rdd: rdd.foreachPartition(process_msg))
33 # Запускаем оба процесса
34 batch_process()
35 stream_process()
36 # Запускаем потоковый контекст
37 ssc.start()
38 ssc.awaitTermination()

```

Рис. 3. Пример кода обработки данных, основанной на Лямбда-архитектуре

оборудовании, в отличие от более дорогостоящих решений для хранилищ данных;

- интеграция данных в реальном времени. Озера данных в сочетании с Лямбда-архитектурой позволяют ГИС интегрировать потоки данных в реальном времени с большими пакетами исторических данных для более динамичного и комплексного анализа;

- улучшенный анализ. Озера данных позволяют использовать передовые технологии обработки, включая машинное обучение и искусственный интеллект, для обработки и анализа данных в ГИС.

Организация перехода от хранилищ данных к озерам данных в геоинформационных системах на основе Лямбда-архитектуры позволяет эффективно обрабатывать и анализировать большие объемы геопространственных данных. Применение современных технологий обработки данных и интеграции данных открывает новые возможности для управления информацией и повышения качества аналитики в ГИС. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать развитию интеллектуальных систем обработки геоданных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ёсу, М. Т. Принципы организации распределенных баз данных = Principles of Distributed Database Systems. Fourth Edition / М. Т. Ёсу, П. Вальдурис; пер. с англ. А. А. Слинкина. — Москва: ДМК Пресс, 2021. — 672 с.

2. Bhattacharjee, S. RStore: A Distributed Multi-Version Document Store / S. Bhattacharjee, A. Deshpande // Proceedings of the 34th International Conference on Data Engineering (ICDE 2018), (Paris, France, 16–19 April 2018). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018. — Pp. 389–400. DOI: 10.1109/ICDE.2018.00043.

3. Leveraging the Data Lake: Current State and Challenges / C. Giebler, C. Gröger, E. Hoos, [et al.] // Big Data Analytics and Knowledge Discovery (DaWaK 2019): Proceedings of the 21st International Conference (Linz, Austria, 26–29 August 2019) / C. Odonez, [et al.] (eds.). — Cham: Springer Nature, 2019. — Pp. 179–188. — (Lecture Notes in Computer Science. Vol. 11708). DOI: 10.1007/978-3-030-27520-4\_13.

4. Lock, M. Maximizing Your Data Lake with a Cloud or Hybrid Approach / M. Lock; Aberdeen Group. — 2016. — 4 p. URL: <http://technology-signals.com/wp-content/uploads/download-manager-files/maximizingyourdatalake.pdf> (дата обращения 12.01.2024).

5. Extending Data Lake Metadata Management by Semantic Profiling / J.W. Ansari, N. Karim, S. Decker, [et al.] // Proceedings of the 15th International Extended Semantic Web Conference (ESWC 2018), (Heraklion, Crete, Greece 03–07 June 2018). — Springer International Publishing, 2018. — 15 p. URL: [http://2018.eswc-conferences.org/wp-content/uploads/2018/02/ESWC2018\\_paper\\_127.pdf](http://2018.eswc-conferences.org/wp-content/uploads/2018/02/ESWC2018_paper_127.pdf) (дата обращения 12.01.2024)

6. CoreDB: A Data Lake Service / A. Beheshti, B. Benatallah, R. Nouri, [et al.] // Proceedings of the 2017 ACM Conference on

Information and Knowledge Management (CIKM '17), (Singapore, Singapore, 06–10 November 2017). — New York: Association for Computing Machinery, 2017. — Pp. 2451–2454. DOI: 10.1145/3132847.3133171.

7. Data Lake Management: Challenges and Opportunities / F. Nargesian, E. Zhu, R.J. Miller, [et al.] // Proceedings of the VLDB Endowment. 2019. Vol. 12, Is. 12. Pp. 1986–1989. DOI: 10.14778/3352063.3352116.

8. CLAMS: Bringing Quality to Data Lakes / M. Farid, A. Roatis, I.F. Ilyas, [et al.] // Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data (SIGMOD '16), (San Francisco, CA, USA, 26 June–01 July 2016). — New York: Association for Computing Machinery, 2016. — Pp. 2089–2092. DOI: 10.1145/2882903.2899391.

9. Keeping the Data Lake in Form: DS-kNN Datasets Categorization Using Proximity Mining / A. Alserafi, A. Abelló, O. Romero, T. Calders // Model and Data Engineering (MEDI 2019): Proceedings of the 9th International Conference (Toulouse, France, 28–31 October 2019) / K.-D. Schewe, N.K. Singh (eds.). — Cham: Springer Nature, 2019. — Pp. 35–49. — (Lecture Notes in Computer Science. Volume 11815). DOI: 10.1007/978-3-030-32065-2\_3.

10. Dataset Discovery in Data Lakes / A. Bogatu, A. A.A. Fernandes, N.W. Paton, N. Konstantinou // Proceedings of the IEEE 36th International Conference on Data Engineering (ICDE 2020), (Dallas, TX, USA, 20–24 April 2020). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. — Pp. 709–720. DOI: 10.1109/ICDE48307.2020.00067.

11. Goods: Organizing Google's Datasets / A. Halevy, F. Korn, N.F. Noy // Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data (SIGMOD '16), (San Francisco, CA, USA, 26 June–01 July 2016). — New York: Association for Computing Machinery, 2016. — Pp. 795–806. DOI: 10.1145/2882903.2903730.

12. Sawadogo, P.N. On Data Lake Architectures and Metadata Management / P.N. Sawadogo, J. Darmont // Journal of Intelligent Information Systems. 2021. Vol. 56, Is. 1. Pp. 97–120. DOI: 10.1007/s10844-020-00608-7.

13. Lakehouse: A New Generation of Open Platforms that Unify Data Warehousing and Advanced Analytics / M. Armbrust, A. Ghodsi, R. Xin, M. Zaharia // Proceedings of the 11th Annual Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR 21), (11–15 January 2021, Online). — 8 p. URL: [http://cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021\\_paper17.pdf](http://cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021_paper17.pdf) (дата обращения 12.01.2024).

14. Jensen, R., Shen, H., & Yue, P. (2017). Geo-Analytics: Integrating Geospatial Information Systems and Big Data Analytics. In *Geographic Information Science* (pp. 297–315). Springer International Publishing.

15. Gao, S., & Liu, Z. (2021). A Review of Big Data and Geospatial Data Integration for Geocomputation and Decision Support. *Remote Sensing*, 13(2), 316. <https://doi.org/10.3390/rs13020316>.

16. International Network Performance and Security Testing Based on Distributed Abyss Storage Cluster and Draft of Data Lake Framework / B.-R. Cha, S. Park, J.-W. Kim // *Security and Communication Networks*. 2018. Art. No. 1746809. 14 p. DOI: 10.1155/2018/1746809.

17. Rituerto, Á., & Alvarez, J. M. (2019). Geo-Big Data: A Literature Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(11), 471. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110471>.

18. Безворотных, А. В. Lambda architecture для корпоративно-го «Озера данных» / А. В. Безворотных; науч. рук. Р. И. Кузьмич // Молодость. Интеллект. Инициатива: Материалы X Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов (Витебск, Беларусь, 22 апреля 2022 г.). — Витебск: Витебский гос. ун-т имени П.М. Машерова, 2022. — С. 6–8.

19. Implementing Big Data Lake for Heterogeneous Data Sources / H. Mehmood, E. Gilman, M. Cortes, [et al.] // Proceedings of the IEEE 35th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW 2019), (Macao, China, 08–12 April 2019). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. — Pp. 37–44. DOI: 10.1109/ICDEW.2019.00-37.

20. Marz, N. Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems / N. Marz, J. Warren. — Shelter Island (NY): Manning Publications, 2015. — 328 p.

21. Sawadogo, P.N. Metadata Management for Textual Documents in Data Lakes / P.N. Sawadogo, T. Kibata, J. Darmont // Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2019), (Heraklion, Crete, Greece, 03–05 May 2019). — SciTePress, 2019. — Vol. 1. — Pp. 72–83. DOI: 10.5220/0007706300720083.

22. Visual Bayesian Fusion to Navigate a Data Lake / K. Singh, K. Paneri, A. Pandey, [et al.] // Proceedings of the 19th International Conference on Information Fusion (FUSION 2016), (Heidelberg, Germany, 05–08 July 2016). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. — Pp. 987–994.

23. Munshi, A. A. Data Lake Lambda Architecture for Smart Grids Big Data Analytics / A. A. Munshi, Y. A.-R. I. Mohamed // IEEE Access. 2018. Vol. 6. Pp. 40463–40471. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2858256.

24. DataHub — A Metadata Platform for the Modern Data Stack. URL: <http://datahubproject.io> (дата обращения 25.12.2023).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абу Хасан Рахед** — магистр, аспирант кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, моделирование надежности; [ragheb1997@yandex.ru](mailto:ragheb1997@yandex.ru).

**А. Б. Кириенко** — адъюнкт кафедры «Математическое и программное обеспечение» ВКА им. А. Ф. Можайского. Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, вероятностное моделирование геоинформационных систем, генетические алгоритмы, информационная безопасность; [vka\\_kaf27\\_1@mil.ru](mailto:vka_kaf27_1@mil.ru).

**А. Д. Хомоненко** — докт. техн. наук, профессор; профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; профессор кафедры «Математическое и программное обеспечение», ВКА им. А. Ф. Можайского. Область научных интересов: информационные системы, базы данных, обработка больших данных, вероятностное моделирование информационных систем, информационная безопасность. E-mail: [khomon@mail.ru](mailto:khomon@mail.ru). Адрес: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9.

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

# Method of Transition from Data Warehouses to Geographic Information System Data Lakes Based on Lambda Architecture

Master **R. Abu Khasan**

Emperor Alexander I St. Petersburg

State Transport University

Saint Petersburg, Russia

**A. B. Kirienko**

A. F. Mozhaysky's

Military Space Academy

Saint Petersburg, Russia

Gr. PhD **A. D. Khomonenko**

Emperor Alexander I St. Petersburg

State Transport University

A. F. Mozhaysky's Military

Space Academy

Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** This paper discusses the transition from traditional data warehouses to data lakes in geographic information systems using Lambda architecture. Provides an overview of the key transition steps, including planning, data collection and processing, data querying, data analytics, and metadata management. Particular attention is paid to the interaction of data lakes and GIS, as well as sample big data processing code based on Lambda architecture. The advantages of using data lakes in GIS and the possibilities of integrating modern data processing technologies are considered.

**Keywords:** data lakes; data warehouses; Lambda architecture; geographic information systems; metadata; big data processing; data integration; data analytics; transition from data warehouses.

**For citation:** Abou Hasan R., Kirienko A. B., Khomonenko A. D. Method of Transition from Data Warehouses to Geographic Information System Data Lakes Based on Lambda Architecture // *Intellectual Technologies on Transport*. 2024. No 1 (37). P. 45–55. (In Russ.). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-45-55

## REFERENCES

1. Özsu M. T., Valduriez P. Principles of Distributed Database Systems Fourth Edition [Printsipy organizatsii raspredelennykh baz dannykh]. Moscow, DMK Press, 2021, 672 p.
2. Bhattacharjee S., Deshpande A. RStore: A Distributed Multi-Version Document Store, *Proceedings of the 34th International Conference on Data Engineering (ICDE 2018), Paris, France, April 16–19, 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, Pp. 389–400. DOI: 10.1109/ICDE.2018.00043.
3. Giebler C., Gröger C., Hoos E., et al. Leveraging the Data Lake: Current State and Challenges. In: *Ordonez C., et al. (eds.) Big Data Analytics and Knowledge Discovery (DaWaK 2019): Proceedings of the 21st International Conference, Linz, Austria, 26–29 August 26–29, 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11708*. Cham, Springer Nature, 2019, Pp. 179–188. DOI: 10.1007/978-3-030-27520-4\_13.
4. Lock M. Maximizing Your Data Lake with a Cloud or Hybrid Approach. May 2016, 4 p. Available at: <http://technology-signals.com/wp-content/uploads/download-manager-files/maximizingyourdatalake.pdf> (accessed 12 Jan 2024).

5. Beheshti A., Benatallah B., Nouri R., et al. CoreDB: A Data Lake Service, *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '17), Singapore, Singapore, November 06–10, 2017*. New York, Association for Computing Machinery, 2017, Pp. 2451–2454. DOI: 10.1145/3132847.3133171.

6. Nargesian F., Zhu E., Miller R. J., et al. Data Lake Management: Challenges and Opportunities, *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2019, Vol. 12, Is. 12, Pp. 1986–1989. DOI: 10.14778/3352063.3352116.

7. Farid M., Roatis A., Ilyas I. F., et al. CLAMS: Bringing Quality to Data Lakes, *Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data (SIGMOD '16), San Francisco, CA, USA, June 26–July 01, 2016*. New York, Association for Computing Machinery, 2016, Pp. 2089–2092. DOI: 10.1145/2882903.2899391.

8. Alserafi A., Abelló A., Romero O., Calders T. Keeping the Data Lake in Form: DS-kNN Datasets Categorization Using Proximity Mining. In: *Schewe K.-D., Singh N.K. (eds.) Model and Data Engineering (MEDI 2019): Proceedings of the 9th International Conference, Toulouse, France, October 28–31, 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11815*. Cham, Springer Nature, 2019, Pp. 35–49. DOI: 10.1007/978-3-030-32065-2\_3.

9. Bogatu A., Fernandes A. A. A., Paton N. W., Konstantinou N. Dataset Discovery in Data Lakes, *Proceedings of the IEEE 36th International Conference on Data Engineering (ICDE 2020), Dallas, TX, USA, April 20–24, 2020*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020, Pp. 709–720. DOI: 10.1109/ICDE48307.2020.00067.

10. Halevy A., Korn F., Noy N. F. Goods: Organizing Google's Datasets, *Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data (SIGMOD '16), San Francisco, CA, USA, June 26–July 01, 2016*. New York, Association for Computing Machinery, 2016, Pp. 795–806. DOI: 10.1145/2882903.2903730.

11. Sawadogo P. N., Darmont J. On Data Lake Architectures and Metadata Management, *Journal of Intelligent Information Systems*, 2021, Vol. 56, Is. 1, Pp. 97–120. DOI: 10.1007/s10844-020-00608-7.

12. Armbrust M., Ghodsi A., Xin R., Zaharia M. Lakehouse: A New Generation of Open Platforms that Unify Data Warehousing and Advanced Analytics, *Proceedings of the 11th Annual Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR 21), January 11–15, 2021, Online*. 8 p. Available at: [http://cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021\\_paper17.pdf](http://cidrdb.org/cidr2021/papers/cidr2021_paper17.pdf) (accessed 12 Jan 2024).

13. Cha B.-R., Park S., Kim J.-W. International Network Performance and Security Testing Based on Distributed Abyss Storage Cluster and Draft of Data Lake Framework, *Security and Communication Networks*, 2018, Art. No. 1746809, 14 p. DOI: 10.1155/2018/1746809.

14. Bezvorotnykh, A. V. Lambda Architecture for the Corporate «Data Lake» [**Lambda architecture** dlya korporativnogo «Ozera dannikh»], *Youth. Intelligence. Initiative: Materials of the X International Scientific and Practical Conference of Students and Undergraduates [Molodost. Intellect. Initsiativa: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov]*, Vitebsk, Belarus, April 22, 2022. Vitebsk, Vitebsk State University named after P.M. Masherov, 2022, Pp. 6–8.

15. Mehmood H., Gilman E., Cortes M., et al. Implementing Big Data Lake for Heterogeneous Data Sources, *Proceedings of the IEEE 35th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW 2019), Macao, China, April 08–12, 2019*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020, Pp. 37–44. DOI: 10.1109/ICDEW.2019.00–37.

16. Marz N., Warren J. Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems. Shelter Island (NY), Manning Publications, 2015, 328 p.

17. Sawadogo P.N., Kibata T., Darmont J. Metadata Management for Textual Documents in Data Lakes, *Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2019), Heraklion, Crete, Greece, May 03–05, 2019. Volume 1*. SciTePress, 2019, Pp. 72–83. DOI: 10.5220/0007706300720083.

18. Singh K., Paneri K., Pandey A., et al. Visual Bayesian Fusion to Navigate a Data Lake, *Proceedings of the 19th In-*

*ternational Conference on Information Fusion (FUSION 2016), Heidelberg, Germany, July 05–08, 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016, Pp. 987–994.

19. Munshi A.A., Mohamed Y.A.-R. I. Data Lake Lambda Architecture for Smart Grids Big Data Analytics, *IEEE Access*, 2018, Vol. 6, Pp. 40463–40471. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2858256.

20. DataHub — A Metadata Platform for the Modern Data Stack. Available at: <http://datahubproject.io> (accessed 25 Dec 2023).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Abu Khasan Raheb** — Master. Postgraduate student of the Department of Information and Computing Systems in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Research interests: information systems, big data processing, reliability modeling; [ragheb1997@yandex.ru](mailto:ragheb1997@yandex.ru)

**Andrey Borisovich Kiriyyenko** — Associate Professor of the Department of Mathematics and Software VKA named after A. F. Mozhaisky. Research interests: information systems, big data processing, probabilistic modeling of geoinformation systems, genetic algorithms, information security; [vka\\_kaf27\\_1@mil.ru](mailto:vka_kaf27_1@mil.ru).

**Anatoly Dmitrievich Khomonenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor of the Department of Information and Computing Systems in Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Professor of the Department of Mathematics and Software in VKA named after A. F. Mozhaisky. Research interests: information systems, databases, big data processing, probabilistic modeling of information systems, information security; [khomon@mail.ru](mailto:khomon@mail.ru).

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 17.03.2024.



# Мобильное приложение для экспресс-контроля стресса как инструмент снижения риска деятельности инсайдеров в организации

к. т. н. С. В. Корниенко, П. И. Данилова, В. А. Велимченко, Д. Д. Никонов  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Рассматривается разработка мобильного приложения для контроля стресса сотрудников организации. Представлено приложение, позволяющее проводить ежедневное экспресс-тестирование психоэмоционального состояния сотрудников с использованием методик САН и визуально-ассоциативной самооценки. Результаты тестирования сохраняются для последующего анализа, что позволяет оценить динамику изменения стрессового состояния. Предложенное приложение способствует повышению эффективности контроля за психологическим состоянием работников и способствует выявлению потенциальных инсайдеров в организации.

**Ключевые слова:** мобильное приложение, стресс, психоэмоциональное состояние, экспресс-тестирование, методика САН, визуально-ассоциативная самооценка, инсайдер.

**Для цитирования:** Корниенко С. В., Данилова П. И., Велимченко В. А., Никонов Д. Д. Мобильное приложение для экспресс-контроля стресса как инструмент снижения риска деятельности инсайдеров в организации // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 56–60. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-56-60

## ВВЕДЕНИЕ

Современное общество ставит перед человеком множество вызовов, которые могут привести к стрессовым состояниям. Нестабильное психологическое состояние сотрудников организации может негативно сказаться на их производительности и общем самочувствии [1]. Нестабильное психологическое состояние сотрудника компании может привести к нарушению производственной безопасности, в том числе и информационной безопасности организации. Одним из вариантов проведения высокоуровневого контроля за потенциальным стрессовым состоянием сотрудников может стать ежедневное экспресс-тестирование с помощью специального мобильного приложения.

Использование подобного подхода для контроля психологического состояния позволяет человеку обратить внимание на свое психическое здоровье и начать учиться управлять им, что приводит к улучшению общего самочувствия и достижению баланса между работой и личной жизнью. С точки зрения компании наблюдение за стабильностью

эмоционального состояния сотрудников способствует повышению производительности труда работников за счет более комфортного производственного климата, повышения сосредоточенности на работе. Также повышение удовлетворенности сотрудников своей работой существенно снижает риск инсайдерской деятельности в компании.

Для эффективного контроля за стрессом разработано мобильное приложение, позволяющее проводить ежедневное тестирование психоэмоционального состояния сотрудников. В статье рассматриваются инновационные методики исследования психоэмоционального состояния, применяемые в разработанном приложении.

## АНАЛИЗ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

В настоящее время русскоязычных приложений в области ментального здоровья не так много. В основном рынок приложений для психоэмоциональной диагностики направлен на англоязычную аудиторию.

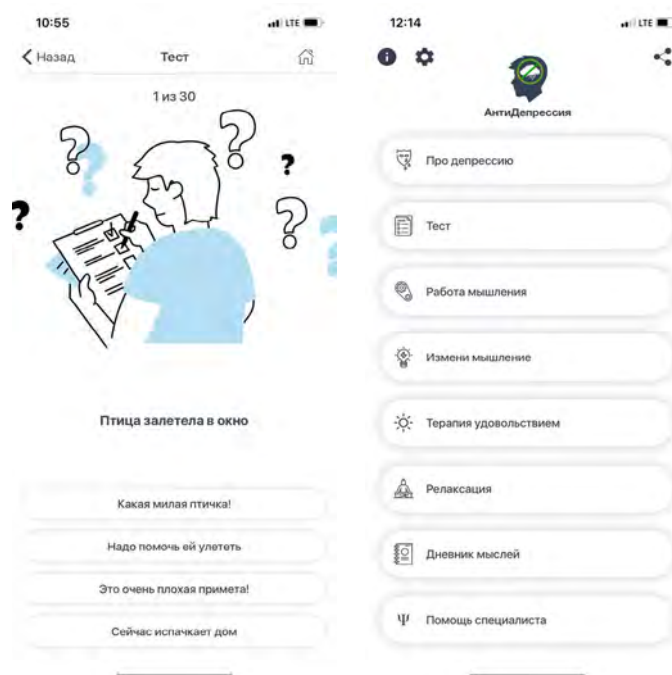


Рис. 1. Интерфейс приложения «Антидепрессия»

Для анализа были выделены несколько самых популярных среди русскоязычных пользователей приложений. Одним из первых приложений, показанных в магазинах App Store и Google Play, является приложение «Антидепрессия» [2]. Это приложение имеет достаточно простой и понятный пользователю функционал, который требует ежедневного прохождения тестирования на наличие депрессивного состояния (рис. 1). В качестве дополнительных опций в приложение введены обучающие курсы по концентрации внимания и проработке своих комплексов, возможность релаксации и ведение дневника. Главным недостатком данного приложения — невозможность сохранения результатов своего тестирования. Следовательно, пользователь не сможет в дальнейшем оценить улучшение или ухудшение своего эмоционального состояния, увидеть статистику или понять, какая область его эмоционального здоровья находится в нестабильном состоянии.

Еще одним приложением для отслеживания своего психоэмоционального здоровья является Psy [3], основанное на гештальт-терапии (рис. 2). Основное тестирование направлено на выявление трех сторон личности пользователя: внутреннего ребенка, взрослого и родителя. Дополнительными опциями являются возможность описать свое состояние с помощью эмодзи, оценить свой день, поставить цель и отслеживать свою карту благополучия на пути к ней. Однако серьезного анализа стрессового и эмоционального состояния пользователя не проводится.

В приложении Daylo состояние человека оценивается им самим на основе картинок-настроений: «супер», «хорошо», «так себе», «плохо», «ужасно» [4]. Стоит заметить, что эмоциональный спектр в приложении достаточно скуден, что может негативно повлиять на анализ состояния человека. Приложение формирует общую статистику оценок настроения за все время использования приложения и график колебаний настроения в течение месяца. Но приложение не позволяет оценить скрытые аспекты стрессового и эмоционального состояния, так как отсутствуют тестирования на основе психологических методик.

Таким образом, каждое из вышеуказанных приложений имеет полезные функции, которые в совокупности могут помочь человеку в отслеживании своего эмоционального и стрессового состояния. Однако в данных программах используются простейшие методики, дающие крайне упрощенный результат оценки состояния человека. Это может быть связано с тем, что пользователь не всегда готов тратить большое количество времени на прохождение тестирования. Следовательно, главная задача проекта — подобрать такие методики тестирования, которые могли бы дать полную оценку состояния человека при минимальных затратах времени.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Для экспресс-тестирования принято решение применить параллельно две методики, которые направлены на диагностику общего эмоционального состояния: методика САН (самочувствие, активность, настроение) и визуально-ассоциативная самооценка. Выявлено, что данные методики

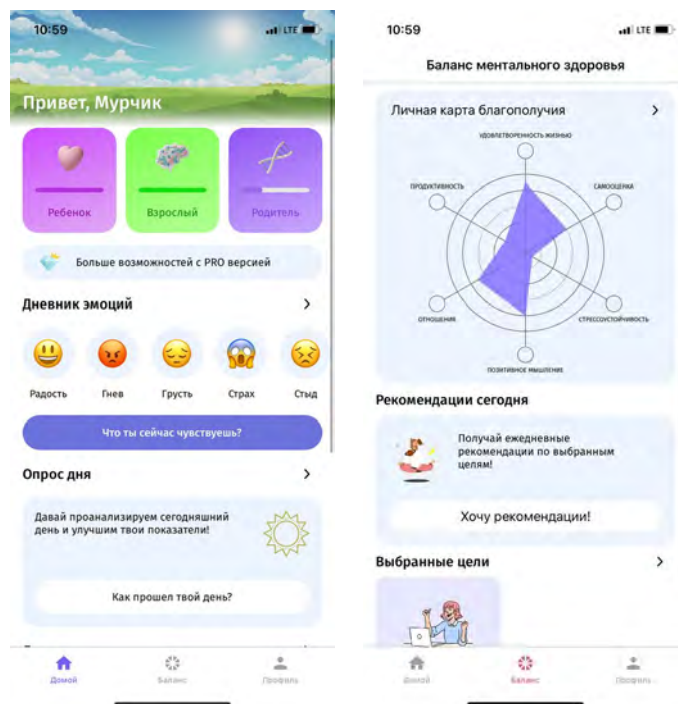


Рис. 2. Интерфейс приложения Psy

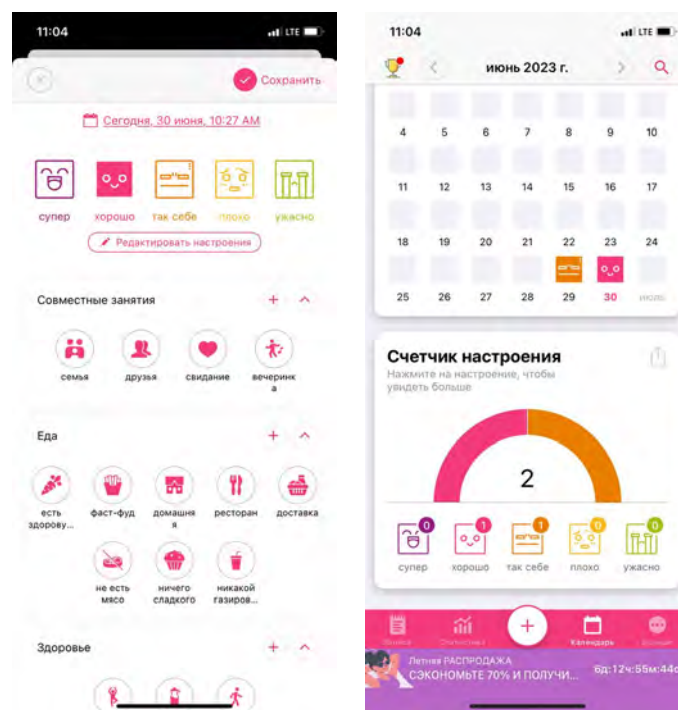


Рис. 3. Интерфейс приложения Daylo

позволяют за достаточно короткое время (не более 12–15 минут) узнать психоэмоциональное состояние человека на данный момент, при этом получаемый результат является более достоверным, чем в аналогичных приложениях.

Опросник САН разработан В. А. Доскиным, Н. А. Лаврентьевой, В. Б. Шарай и М. П. Мирошниковым (1973) и предназначен для оперативной оценки психоэмоционального состояния взрослого человека на момент обследования.

1. Самочувствие «хорошее»	3 2 1 0 1 2 3	Самочувствие «плохое»
2. Чувствую себя сильным	3 2 1 0 1 2 3	Чувствую себя слабым
3. Пассивный	3 2 1 0 1 2 3	Активный
4. Малоодвижный	3 2 1 0 1 2 3	Подвижный
5. Веселый	3 2 1 0 1 2 3	Грустный
6. Хорошее настроение	3 2 1 0 1 2 3	Плохое настроение
7. Работоспособный	3 2 1 0 1 2 3	Разбитый
8. Полный сил	3 2 1 0 1 2 3	Обессиленный
9. Медлительный	3 2 1 0 1 2 3	Быстрый
10. Бездеятельный	3 2 1 0 1 2 3	Детельный
11. Счастливый	3 2 1 0 1 2 3	Несчастный
12. Жизнерадостный	3 2 1 0 1 2 3	Мрачный
13. Напряженный	3 2 1 0 1 2 3	Расслабленный
14. Здоровый	3 2 1 0 1 2 3	Больной
15. Безучастный	3 2 1 0 1 2 3	Увлеченный
16. Равнодушный	3 2 1 0 1 2 3	Взволнованный
17. Восторженный	3 2 1 0 1 2 3	Унылый
18. Радостный	3 2 1 0 1 2 3	Печальный
19. Отдохнувший	3 2 1 0 1 2 3	Усталый
20. Свежий	3 2 1 0 1 2 3	Изнуренный
21. Сонливый	3 2 1 0 1 2 3	Возбужденный
22. Желание отдохнуть	3 2 1 0 1 2 3	Желание работать
23. Спокойный	3 2 1 0 1 2 3	Озабоченный
24. Оптимистичный	3 2 1 0 1 2 3	Пессимистичный
25. Выносливый	3 2 1 0 1 2 3	Легко утомляемый
26. Бодрый	3 2 1 0 1 2 3	Вялый
27. Соображать трудно	3 2 1 0 1 2 3	Соображать легко
28. Рассеянный	3 2 1 0 1 2 3	Внимательный
29. Полный надежд	3 2 1 0 1 2 3	Разочарованный
30. Довольный	3 2 1 0 1 2 3	Недовольный

Рис. 4. Карта САН

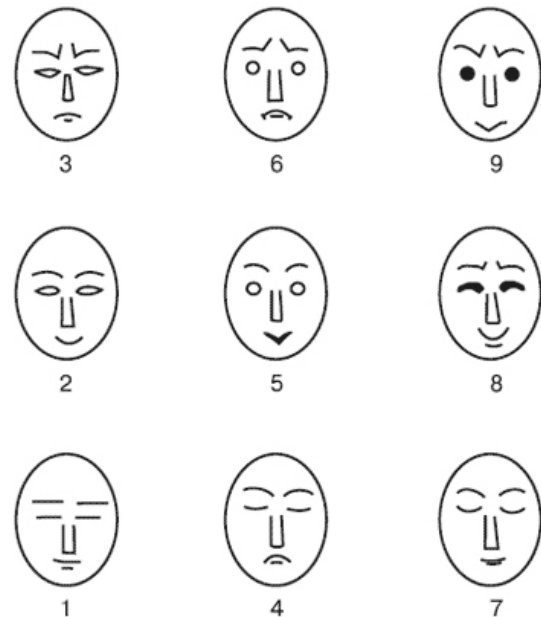


Рис. 5. Изображение мимических масок

ния [5]. При разработке методики авторы исходили из того, что главными составляющими функционального психоэмоционального состояния являются общее самочувствие человека, его жизненная активность и эмоциональное настроение. Эти факторы легко могут быть оценены с помощью качественной шкалы «хорошо-плохо». Но такое определение состояния дает слишком грубую полярную оценку. Поэтому авторами была предложена для оценивания более оптимальная семибалльная шкала и разработана карта (таблица), которая содержит 30 пар противоположных характеристик, отражающих исследуемые психоэмоциональные факторы (рис. 4). Испытуемый должен оценить свое состояние с определенным уровнем между двумя граничными состояниями (отметить степень выраженности той или иной характеристики для своего текущего состояния). Количественный результат обследования представляет собой сумму первичных баллов по отдельным категориям (или их среднее арифметическое).

Методика визуально-ассоциативной самооценки разработана Н. П. Фетискиным и предназначена для психологической диагностики на основании выбора эталонных масок, соответствующих, по мнению испытуемого, его настроению в данный момент (рис. 5) [6].

#### ОПИСАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СТРЕССА

С точки зрения наибольшей эффективности контроля настроения и уровня стресса рекомендуется проводить подобный мониторинг ежедневно, так как интегральная оценка за определенный период (например, неделю) более показательна, чем разовая. Проведение тестирования в разработанном приложении занимает не более 15 минут, что позволяет рассчитывать на широкое распространение данного продукта.

Разработанное приложение функционирует на смартфоне на базе ОС Android, выполнено на языке Kotlin в среде разработки Android Studio Giraffe 2022.3.1.

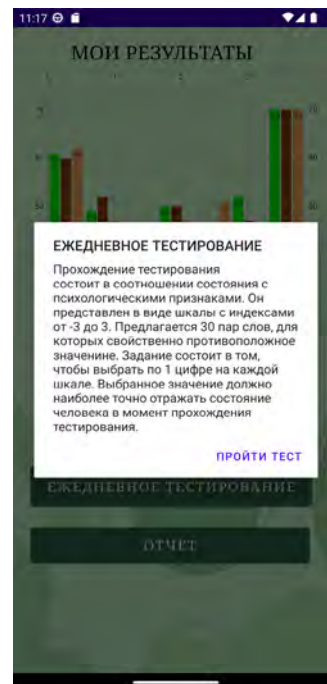


Рис. 6. Начало тестирования



Рис. 7. Этап 1 — визуально-ассоциативная оценка

Приложение позволяет настроить фиксированное время исследования (например, перед началом рабочего дня) и в нужный момент отправляет пользователю уведомление о необходимости пройти тестирование (рис. 6).

Исследование состоит из двух этапов. Сначала пользователь по методике визуально-ассоциативной самооценки выбирает одну из эталонных масок, которая, с его точки зрения, наиболее соответствует настроению в данный момент (рис. 7).

Далее пользователь определяет свое состояние по карте САН (пример одного из вопросов приведен на рис. 8).

По окончании исследования определяется качественная оценка как за один день (рис. 9), так и усредненный результат тестирования за предыдущие семь дней (рис. 10).

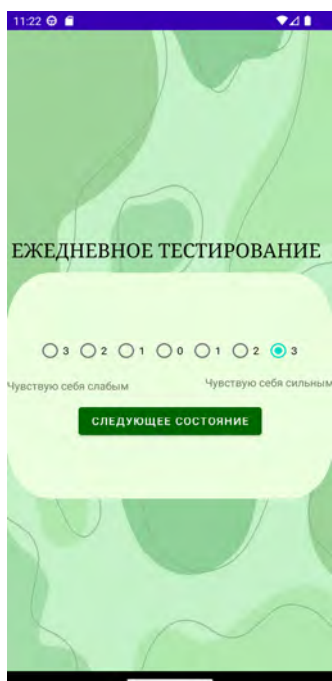


Рис. 8. Пример тестового вопроса САН

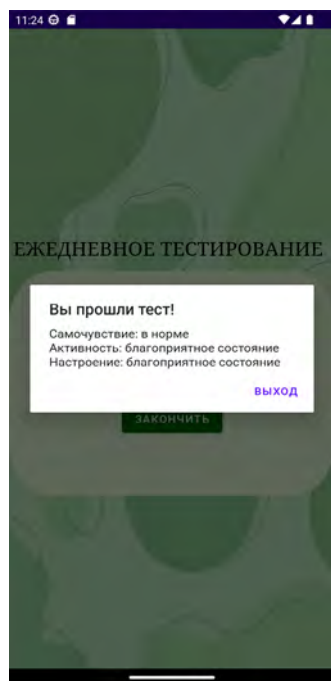


Рис. 9. Результат ежедневного тестирования



а)



б)

Рис. 10. Отчет за 7 дней (а — количественные показатели, б — графическая форма отчета)

Приложение сохраняет результаты тестирования в течение достаточно длительного периода, при этом база полученных данных на сотрудников формируется с соблюдением всех требований законодательства к обработке и хранению персональных данных. Например, для анализа длительного состояния можно сформировать диаграмму средних результатов по неделям с охватом двух предыдущих месяцев.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное мобильное приложение для контроля стресса с использованием методик САН и визуально-ассоциативной самооценки является эффективным инструментом для первоначальной оценки психоэмоционального состояния сотрудников. Ежедневное тестирование позволяет своевременно обращать внимание на изменения в психологическом состоянии сотрудника и принимать необходимые меры как для более глубокого тестирования, так и для более пристального наблюдения за сотрудником с точки зрения возможных утечек информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шемякина, О.О. Анализ причин стресса и методы его профилактики // Психология и право. 2012. Т. 2, № 2. 11 с.
2. Левичева, М. Приложение самопомощи «АнтиДепрессия»: кто и зачем его придумал // MedicGo. URL: <http://medicgo.ru/articles/psihologiya/prilozhenie-samopomoshhi-antidepressiya-kto-i-zachem-ego-pridumal/?ysclid=lnsz6coqwe798512915> (дата обращения 02.02.2024).
3. Psy — психология и саморазвитие (приложение для Android) // RuStore. URL: <http://apps.rustore.ru/app/ru.harlion.psy> (дата обращения 02.02.2024).
4. Daylio Journal — Daily Diary (приложение для iPhone) // App Store. URL: <http://apps.apple.com/be/app/daylio-journal-daily-diary/id1194023242> (дата обращения: 02.02.2024)
5. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния / В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева, Н.П. Мирошников, В.Б. Шарай // Вопросы психологии. 1973. Т. 19, № 6. С. 141–145.
6. Ильин, Е.П. Психофизиология состояний человека. — Санкт-Петербург: Питер, 2005. — 412 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Корниенко Светлана Владимировна** — канд. техн. наук, доцент. Доцент кафедры «Информатика и информационная безопасность», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [sv.diass99@yandex.ru](mailto:sv.diass99@yandex.ru)

**Данилова Полина Ивановна** — студент 3 курса специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [polina\\_2004.11@mail.ru](mailto:polina_2004.11@mail.ru)

**Велимченко Виталий Александрович** — студент 3 курса специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [vitalyvelimchenko@yandex.ru](mailto:vitalyvelimchenko@yandex.ru)

**Никонов Даниил Дмитриевич** — студент 3 курса специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [nikonovdaniila7@gmail.com](mailto:nikonovdaniila7@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 02.02.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024.

# Mobile Application for Express Stress Control as a Tool for Reducing the Risk of Insider Activity in an Organization

PhD S. V. Kornienko, P. I. Danilova, V. A. Velimchenko, D. D. Nikonov  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** The article discusses the need to monitor the psychological state of the organization's employees in order to identify potential stress. To solve this task, a mobile application for Android OS has been developed, designed for rapid testing in order to monitor the potential stress state of employees on a daily basis. The proposed application helps improve the efficiency of monitoring the psychological state of employees and helps identify potential insiders in the organization.

**Keywords:** mobile application, rapid well-being testing, stress, psychological state of the employee, insider.

**For citation:** Kornienko S. V., Danilova P. I., Velimchenko V. A., et al. Mobile application for express stress control as a tool for reducing the risk of insider activity in an organization // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 56–60. (In Russian).* DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-56-60

## REFERENCES

1. Shemyakina O.O. Analysis of Causes of Stress and Methods of Its Prevention [Analiz prichin stressa i metody ego profilaktiki], *Psychology and Law [Psikhologiya i pravo]*, 2012, Vol. 2, No. 2, 11 p.
2. Levicheva M. Self-help Application «AntiDepression»: Who Invented It and Why [Prilozhenie samopomoshchi «AntiDepressiya»: kto i zachem ego pridumal], *MedicGo*. Available at: <http://medicgo.ru/articles/psihologiya/prilozhenie-samopomoshhi-antidepressiya-kto-i-zachem-ego-pridumal/?ysclid=lnsz6coqwe798512915> (accessed 02 Feb 2024).
3. Psy — Psychology and Self-Development [Psy — psikhologiya i samorazvitie] (Android application), *RuStore*.

Available at: <http://apps.rustore.ru/app/ru.harlion.psy> (accessed 02 Feb 2024).

4. Daylio Journal — Daily Diary (iPhone application), *AppStore*. Available at: <http://apps.apple.com/be/app/daylio-journal-daily-diary/id1194023242> (accessed 02 Feb 2024).

5. Doskin V.A., Lavrenteva N.A., Miroshnikov N.P., Sharay V.B. Test of Differentiated Self-Assessment of Functional State [Test differentsirovannoy samootsenki funktsionalnogo sostoyaniya], *Voprosy Psichologii*, 1973, Vol. 19, No. 6, Pp.141–145.

6. Ilin E.P. Psychophysiology of human states [Psikhofiziologiya sostoyaniy cheloveka]. Saint Petersburg, Peter Publishing House, 412 p.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Kornienko Svetlana Vladimirovna** — PhD in Engineering, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Information Technology and IT Security, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [sv.diass99@yandex.ru](mailto:sv.diass99@yandex.ru)

**Danilova Polina Ivanovna** — Bachelor's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [polina\\_2004.11@mail.ru](mailto:polina_2004.11@mail.ru)

**Velimchenko Vitaly Alexandrovich** — Bachelor's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [vitalyvelimchenko@yandex.ru](mailto:vitalyvelimchenko@yandex.ru)

**Nikonov Daniil Dmitrievich** — Bachelor's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [nikonovdanila7@gmail.com](mailto:nikonovdanila7@gmail.com)

The article was submitted 02.02.2024; approved after reviewing 04.03.2024.

# Исследование и разработка чат-бота для оптимизации поддержки технологов системы «График исполнительного движения» в РЖД: выбор и обоснование платформы

К. Р. Нигматуллин, канд. ист. наук А. В. Забродин

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

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию и разработке чат-бота для консультационной поддержки технологов системы «График исполнительного движения» в Российских железных дорогах. Целью работы является выявление требований и характеристик для создания чат-бота, способного помогать техническим специалистам. В статье рассматривается практическая значимость внедрения чат-ботов в сферу технической поддержки в РЖД. Проводится анализ платформы ChatNavigator для создания чат-бота и обосновывается выбор данной платформы.

**Ключевые слова:** информационные технологии, чат-бот, РЖД (Российские железные дороги), цифровые технологии, автоматизация, ГИД, интеграция.

**Для цитирования:** Нигматуллин К. Р., Забродин А. В. Исследование и разработка чат-бота для оптимизации поддержки технологов системы «График исполнительного движения» в РЖД: выбор и обоснование платформы // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2024. № 1 (37). С. 61–72. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-61-72

## ВВЕДЕНИЕ

В современном цифровом контексте применение чат-ботов для оптимизации технической поддержки становится все более актуальным. В данной статье исследуется возможность создания чат-бота для технологов системы «График исполнительного движения» (ГИД) в РЖД. Анализируется платформа ChatNavigator для выбора оптимальной платформы разработки чат-бота.

Система ГИД предназначена для повышения уровня управления перевозочным процессом РЖД путем автоматизации рутинной части работы диспетчерского аппарата, а также включения в систему управления движением поездов новых функций, основанных на компьютерной технологии. Основное применение системы — это создание автоматизированных рабочих мест для диспетчеров всех уровней (РЖД, дорога, отделение дороги, диспетчерский участок, станция) [1].

Чат-бот — это компьютерная программа, которая интерактивно имитирует человеческую речь (устную или письменную) и позволяет общаться с цифровыми устройства-

ми так, как если бы они были живыми людьми. Чат-боты могут быть очень простыми, как элементарные программы, отвечающие на простой запрос однострочным ответом, или сложными, как цифровые помощники, которые обучаются и развиваются по мере сбора и обработки информации, тем самым повышая свой уровень персонализации [2].

В рамках настоящей статьи проводится анализ различных платформ, предназначенных для разработки чат-ботов. При этом особое внимание уделяется рассмотрению текущей платформы, используемой в РЖД, которая планируется к использованию в будущем для создания чат-бота, предназначенного для оказания поддержки технологам ГИД в организации. Статья предлагает теоретическую демонстрацию процесса создания чат-бота, чтобы показать простоту данного процесса.

Выбор подходящей платформы для разработки чат-бота представляет собой стратегически важное решение, влияющее на бесперебойность и эффективность работы технологов. Этот выбор требует учета различных факторов, включая удобство использования инструментов разработки, возможности интеграции с текущими системами, поддержку многоязычности и, конечно, способность обеспечивать надежное и безопасное взаимодействие с пользователями. Все эти аспекты являются неотъемлемой частью современного технического обеспечения в железнодорожной сфере, определяя тем самым качество взаимодействия технологов с автоматизированными системами и, как следствие, эффективность их работы.

Статья включает теоретическую демонстрацию процесса создания чат-бота с целью иллюстрации его простоты. Наглядная демонстрация способствует более глубокому пониманию функциональности данного программного обеспечения (ПО) и может способствовать распространению чат-ботов не только в среде РЖД, но и на других предприятиях.

## ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ТЕХНОЛОГОВ ГИД

ГИД — это единая технология и единый интерфейс на всех уровнях управления: сетевом, дорожном, региональном (отделенческом), участковом и станционном, а также интеграция данных из разных источников

(АСОУП, СЦБ и ручного ввода из АРМ системы). График движения поездов — основополагающий технологический документ, регламентирующий организацию эксплуатационной работы во всех звеньях и уровнях управления на железнодорожном транспорте, а потому функциональный набор представлен для всех пользователей — от начальника дороги до дежурного по парку [3].

Технологи ГИД осуществляют полный цикл сопровождения данного программного обеспечения, включая помощь всем видам пользователей и внесение улучшений в функциональную составляющую, соответствующих специфике отдела и сфере обслуживания программы. В настоящее время для поддержки технологов разработан файл «Мануал новичков РЖД», содержащий инструкции к системе ГИД для каждого направления дороги в РЖД.

Помимо инструкций, файл содержит рекомендации для решения проблем, краткую информацию по сопровождаемым комплексам и полезные ссылки, которые могут пригодиться технологам во время работы. Данный файл имеет следующие преимущества:

- низкие требования. У файла отсутствуют требования к высокой производительности персонального компьютера (ПК);

- единство информации. Вся информация для решения поставленных задач находится в одном месте в виде одного файла;

- быстрый поиск информации. Возможность быстрого поиска в пределах одного электронного документа.

Следует отметить и недостатки такого способа хранения информации:

- отсутствие автоматизации. Нет процессов автоматизации управления данными;

- затраты времени на поиск. Долгий поиск в большом объеме данных;

- отсутствие автоматических обновлений. Невозможность одновременного обновления на всех рабочих местах;

- неудобная установка файла на ПК. Требуется регулярное добавление файла на компьютер, при каждом обновлении информации;

- ручное обновление информации. Требуется ручное обновление данных внутри файла.

Из представленных преимуществ и недостатков применение чат-бота является необходимым шагом для повышения эффективности и совершенствования рабочего процесса технологов ГИД.

#### ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ВОЗМОЖНОСТЯМ ЧАТ-БОТА

Основой для формулирования требований к создаваемому сервису послужили функциональные требования для технологов первой линии поддержки. Данное направление выбрано тем, что основная часть их работы включает в себя решение повседневных, одних и тех же ситуаций и оперативное восстановление работоспособности системы. Были рассмотрены обязанности технологов для определения функциональных требований ПО.

- Прием запросов и обращений от пользователей. Технологи первой линии поддержки должны принимать звонки,

электронные письма или другие формы обращений от пользователей, осуществлять их регистрацию и предоставлять всю необходимую помощь. Чаще всего технологи получают запросы в виде обращений через единую систему внутри РЖД.

- Анализ и классификация запросов. После получения запросов от пользователей технологи первой линии должны анализировать их, определять суть проблемы и классифицировать заявки в соответствии с приоритетом и типом проблемы.

- Решение базовых проблем. Технологи первой линии должны иметь достаточное техническое знание, чтобы решать базовые проблемы и вопросы пользователей. Это может включать устранение проблем с работой ГИД, его настройками, установкой и так далее.

- Предоставление информации и консультаций. Специалисты первого уровня поддержки должны обладать глубокими знаниями в области функционирования программы ГИД, а также быть в состоянии предоставлять пользователям необходимую информацию и консультации по различным вопросам.

- Мониторинг и регистрация проблем. Технологи первого уровня поддержки должны следить за общим состоянием системы и в случае обнаружения проблем немедленно сообщать об этом соответствующему отделу или специалистам.

- Документирование и отчетность. Технологи первой линии поддержки должны заниматься документированием всех запросов и действий, предпринятых для их решения. Это позволяет вести отчет о деятельности поддержки, а также создавать базу знаний для будущего использования. Такой системой выступает портал ЕСПП — в данной системе хранятся все запросы пользователей и решения данных запросов.

- Протоколирование и передача запросов. В случае если проблема пользователя выходит за рамки компетенции технологов первой линии, они должны передать запрос соответствующему отделу для дальнейшего решения.

- Соблюдение процедур и стандартов. Сотрудники начального уровня поддержки должны придерживаться определенных процедур и стандартов, установленных их должностной инструкцией, для обработки запросов и предоставления поддержки пользователю.

На основе должностных обязанностей и недостатков текущего способа помощи технологам сформулированы следующие требования к функциональной составляющей чат-бота:

- интеграция с программой. Чат-бот должен быть способен взаимодействовать с частью программы ГИД, сопровождение которой предполагается. Это может включать выполнение команд, управление параметрами программы, считывание и запись данных и так далее. Чат-бот должен быть гибким и расширяемым, чтобы поддерживать различные типы программ и интеграции;

- помощь и поддержка. Основная функция чат-бота при сопровождении программы — предоставление помощи и поддержки пользователям. Бот должен проявлять знания о программе и способности отвечать на вопросы пользователей, помогать в решении проблем, предлагать рекомен-

дации и инструкции. Он должен быть способен различать и анализировать входящие запросы, понимать контекст и предоставлять соответствующие ответы;

- автоматизированный анализ и отчетность. Чат-бот выполняет автоматический анализ собственной работы, собирает и агрегирует данные, генерирует отчеты о производительности, использовании ресурсов, ошибках и других метриках. Бот должен иметь способность обрабатывать и анализировать большие объемы данных и предоставлять понятные и информативные отчеты пользователям;

- интеграция с другими системами. Система должна обеспечивать интеграцию с другими системами, такими как системы мониторинга, системы управления задачами, системы уведомлений и прочие. Это позволяет создать полноценную экосистему для сопровождения программы и обеспечить совместную работу чат-бота с другими инструментами и сервисами.

В качестве основной платформы Российскими железными дорогами (РЖД) используется ChatNavigator (виртуальный консультант). Данная платформа обладает необходимыми функциями для интеграции с различными системами, обеспечивая автоматизированный анализ и отчетность, а также предоставляет возможности автоматического анализа работы и генерации информативных отчетов.

## АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОВ:

### ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ДРУГИХ ПЛАТФОРМ

Принимая во внимание корпоративные стандарты в РЖД, в которые входит развитие информационных технологий компании, нужно понимать потенциальные возможности развития. В этом вопросе может помочь оценка плюсов и минусов аналогичных платформ — конкурентов ChatNavigator.

Для анализа конкурентной среды были выбраны самые популярные платформы от известных компаний, таких как Microsoft, Amazon, Google и IBM. Каждая из них разработала свои платформы для реализации чат-ботов, такие как Dialogflow, Amazon Lex, Microsoft Bot Framework, IBM Watson Assistant. Ниже представлены преимущества и недостатки каждой из платформ.

### Dialogflow

Dialogflow — это сервис от Google, который предоставляет возможность распознавания различных языков, включая русский (рис. 1). Преимущества и недостатки сервиса приведены в табл. 1. Сервис предлагает ограниченные бесплатные возможности использования, а также предоставляет библиотеки для различных языков, что позволяет легко интегрировать его в свои проекты через API. Более того, сервис Dialogflow уже имеет встроенные интеграции с различными мессенджерами, что позволяет для простых сценариев обходиться без написания собственного кода [4, 5].

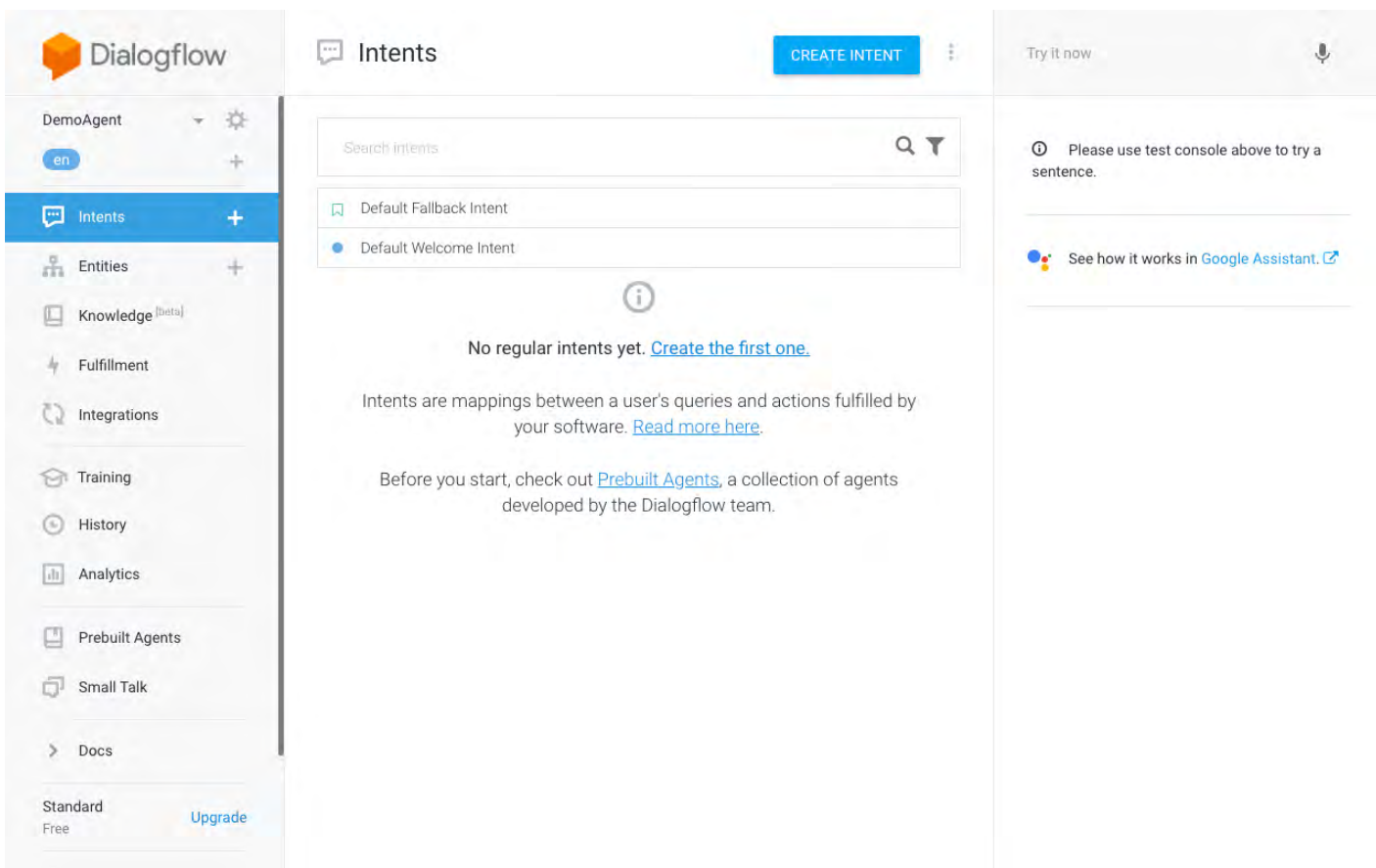


Рис. 1. Интерфейс Dialogflow



Преимущества и недостатки Dialogflow

Преимущества	Недостатки
<p>1. <b>Простота использования.</b> Dialogflow предлагает интуитивно понятный интерфейс, что позволяет разработчикам быстро создавать и настраивать чат-боты. В данной платформе присутствуют графические инструменты для создания разговорного интерфейса, а также шаблоны и примеры для ускорения процесса разработки.</p>	<p>1. <b>Сложность в обучении.</b> Хотя интерфейс Dialogflow прост в использовании, настройка сложных и контекстных диалогов может потребовать некоторого времени и опыта. Необходимо также внимательно настраивать понимание естественного языка, чтобы бот успешно воспринимал различные варианты запросов.</p>
<p>2. <b>Естественный язык и обработка речи.</b> Dialogflow обладает функциональностью обработки естественного языка, что позволяет пользователю взаимодействовать с ботом, используя естественный язык. Поддерживает обработку текстовых сообщений, а также голосовые команды и ответы.</p>	<p>2. <b>Ограниченная свобода дизайна.</b> Dialogflow предлагает некоторые возможности настройки пользовательского интерфейса, но она ограничена в своей гибкости и функциональности. Если вам необходим более сложный или уникальный дизайн интерфейса, может потребоваться дополнительная разработка.</p>
<p>3. <b>Интеграция со сторонними службами.</b> Dialogflow имеет возможности интеграции с другими службами Google, такими как Google Assistant, Gmail и Google Calendar. Она также предлагает API для интеграции с другими платформами и службами.</p>	<p>3. <b>Зависимость от компании Google.</b> Dialogflow является продуктом Google и полностью зависит от его инфраструктуры и сервисов. Это может вызывать определенные ограничения и риски для разработчиков, когда речь идет о стабильности, доступности или изменениях в политике использования.</p>
<p>4. <b>Масштабируемость.</b> Dialogflow позволяет создавать сложные разговорные сценарии и поддерживает множество пользователей одновременно. Платформа способна обрабатывать большие объемы запросов с минимальной потерей производительности.</p>	<p>4. <b>Ограничения бесплатной версии.</b> Dialogflow имеет два тарифных плана: бесплатный и платный. Бесплатная версия имеет некоторые ограничения по количеству запросов, доступным функциям и интеграции со сторонними службами. Для полного функционала и возможностей может потребоваться переход на платный план.</p>

Amazon Lex

Amazon Lex — это полностью управляемый сервис ИИ с расширенными моделями естественного языка для проектирования, встраивания, тестирования и развертывания речевых интерфейсов в приложениях [6].

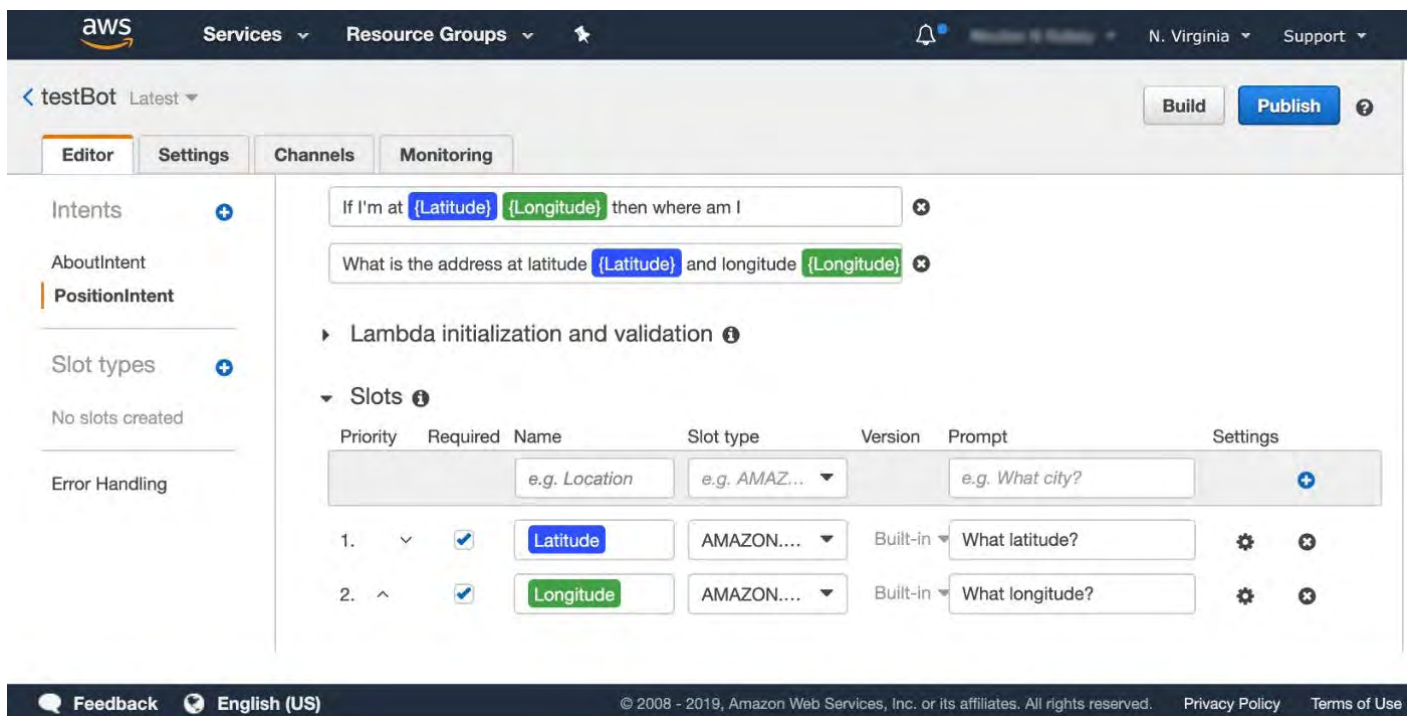


Рис. 2. Интерфейс Amazon Lex

Преимущества и недостатки Amazon Lex

Преимущества	Недостатки
1. <b>Простота использования.</b> Amazon Lex обладает простым интерфейсом и интуитивно понятной документацией, что делает его доступным даже для пользователей без опыта в области разработки.	1. <b>Ограниченные языковые возможности.</b> Amazon Lex хорошо поддерживает английский язык, но может быть ограничен в возможностях обработки других языков, особенно менее распространенных. Это может ограничить его применимость в многоязычных приложениях.
2. <b>Интеграция с другими сервисами AWS.</b> Amazon Lex легко интегрируется с другими сервисами AWS, такими как AWS Lambda, Amazon DynamoDB и Amazon S3. Это позволяет создавать более сложные системы и использовать синтез речи или хранение данных.	2. <b>Ограниченные возможности обработки сложных диалогов.</b> Приложения, требующие сложных диалогов и контекстной понимающей способности, могут столкнуться с ограничениями Amazon Lex. В некоторых случаях могут потребоваться дополнительные разработки или другие NLP-сервисы.
3. <b>Масштабируемость.</b> Amazon Lex может масштабироваться в зависимости от потребностей вашего приложения. Он способен обрабатывать как небольшое количество запросов, так и миллионы параллельных запросов.	3. <b>Отсутствие некоторых продвинутых функций.</b> В Amazon Lex могут отсутствовать некоторые продвинутые функции, которые доступны в других NLP-сервисах. Например, распознавание речи может быть ограничено по сравнению с Amazon Transcribe.
4. <b>Гибкость.</b> Amazon Lex предоставляет различные типы слотов, сущностей и интенгов, которые можно настраивать в соответствии с требованиями вашего приложения.	
5. <b>Устойчивость.</b> Amazon Lex обеспечивает высокую доступность, резервное копирование данных и автоматическое масштабирование. Приложение будет стабильно работать даже при большом трафике и в случае отказа одного из компонентов инфраструктуры.	

Microsoft Bot Framework

Microsoft Bot Framework — это коллекция библиотек, инструментов и служб, которые позволяют создавать, тестировать, развертывать и управлять интеллектуальными ботами. Bot Framework включает модульный и расширяемый пакет SDK для создания ботов и подключения к службам ИИ. С помощью этой платформы разработчики могут создавать ботов, использующих речь, понимающих естественный язык, отвечающих на вопросы и многое другое [7].

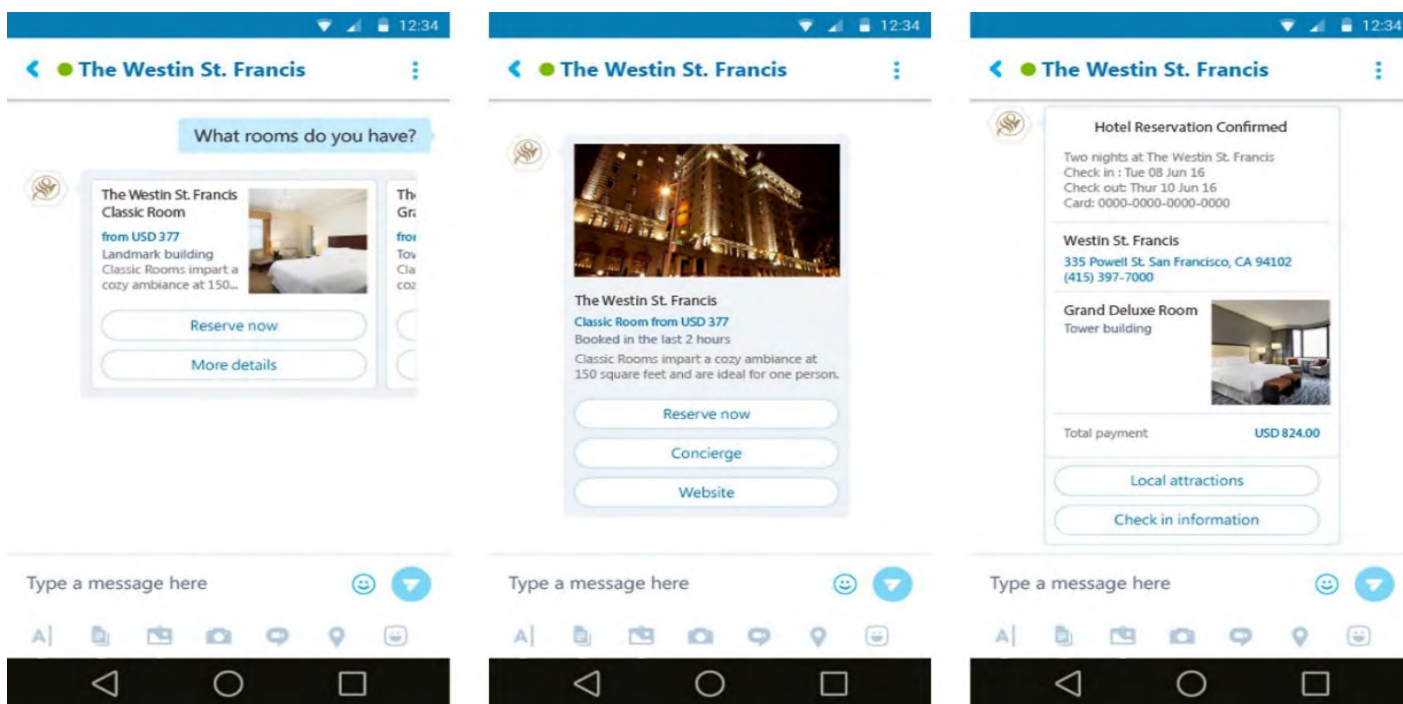


Рис. 3. Интерфейс Microsoft Bot Framework

Преимущества и недостатки Microsoft Bot Framework

Преимущества	Недостатки
<p>1. <b>Интеграция с множеством каналов.</b> Microsoft Bot Framework позволяет развернуть бота на различных платформах, включая Slack, Facebook Messenger, Skype, Telegram и другие. Это обеспечивает широкую доступность бота для пользователей на разных каналах связи.</p>	<p>1. <b>Ограниченные возможности в бесплатной версии.</b> Некоторые продвинутые функции Bot Framework могут быть доступны только в платной версии, что может ограничить разработчиков в определенных случаях.</p>
<p>2. <b>Поддержка различных языков.</b> Благодаря интеграции с платформой перевода Microsoft Bot Framework поддерживает множество языков. Это позволяет разработчикам создавать и развертывать ботов для международной аудитории.</p>	<p>2. <b>Сложность в настройке сложных сценариев.</b> При разработке ботов со сложными сценариями вопросы настройки могут быть сложными. Некоторые сценарии могут требовать дополнительного времени и усилий для реализации и интеграции.</p>
<p>3. <b>Легкость разработки.</b> Microsoft Bot Framework предоставляет набор инструментов и библиотек для разработки ботов. У нее удобный интерфейс разработки, а также возможность использовать языки программирования C# и Node.js. Это позволяет разработчикам быстро создать и настроить бота.</p>	<p>3. <b>Ограничение функциональности на некоторых каналах.</b> Некоторые каналы связи имеют ограничения на поддержку операций, таких как отображение изображений или использование интерактивных элементов. Это может ограничить функциональность бота на таких платформах.</p>
<p>4. <b>Расширенные возможности.</b> Bot Framework предлагает различные возможности, такие как распознавание речи, управление диалогами, аутентификация и авторизация пользователей, аналитика и многое другое. Это дает разработчикам гибкие инструменты для создания ботов с разнообразным функционалом.</p>	<p>4. <b>Зависимость от платформы Microsoft.</b> Microsoft Bot Framework является продуктом Microsoft и имеет зависимость от экосистемы компании. Это может ограничить его совместимость с другими платформами или требовать специфических интеграций с продуктами Microsoft.</p>

### IBM Watson Assistant

IBM Watson Assistant — это облачный сервис ИИ, предложенный компанией IBM, который позволяет разработчикам и предприятиям интегрировать в свои продукты системы разговорного ИИ, также известные как виртуальные помощники, или чат-боты [8].

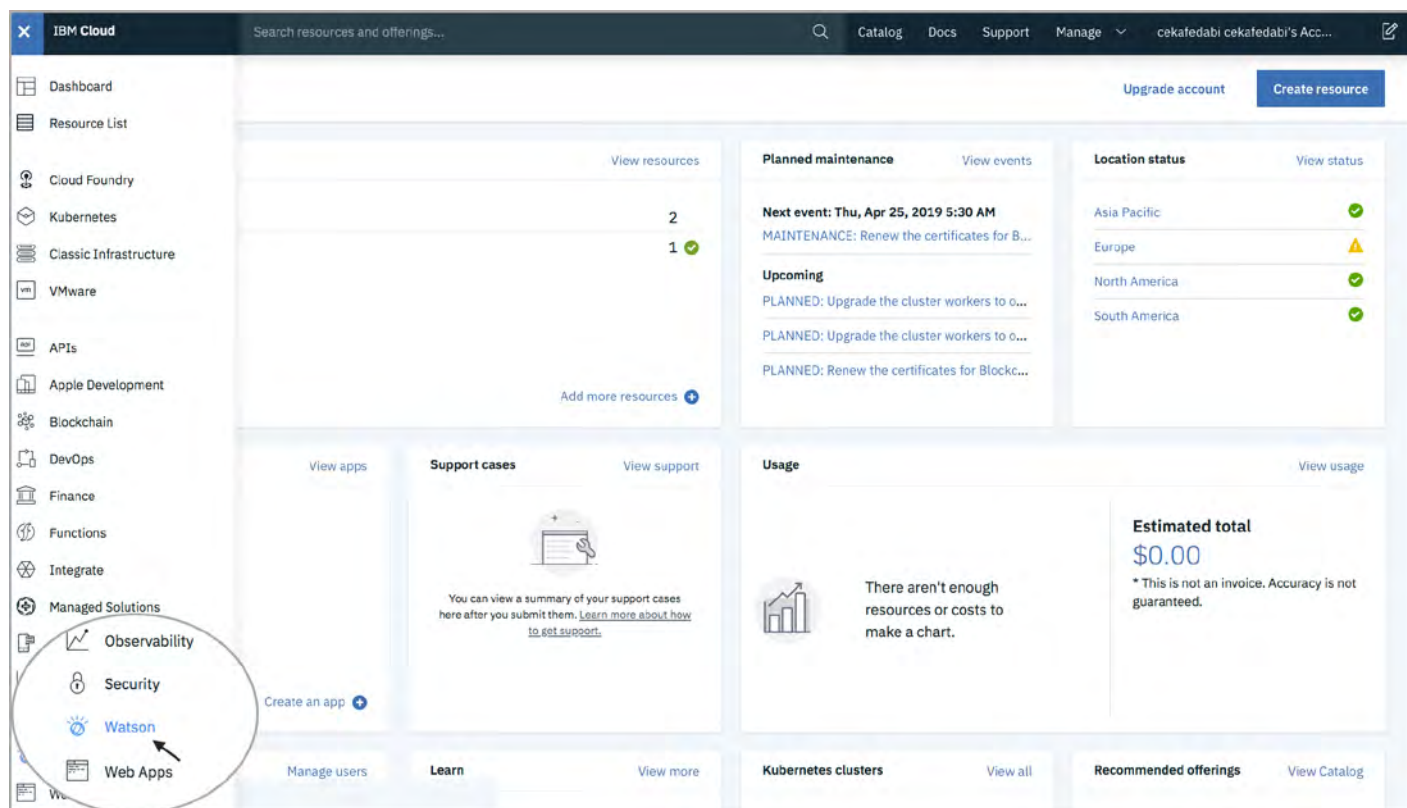


Рис. 4. Интерфейс IBM Watson Assistant

Преимущества и недостатки IBM Watson Assistant

Преимущества	Недостатки
1. <b>Мощные возможности искусственного интеллекта.</b> IBM Watson Assistant основан на различных технологиях искусственного интеллекта, таких как обработка естественного языка (NLU), машинное обучение и глубокое обучение. Это позволяет ему понимать и обрабатывать естественный язык, создавать контекстно-зависимые диалоги и предоставлять более точные и релевантные ответы.	1. <b>Сложность в настройке.</b> Настройка и конфигурация IBM Watson Assistant может быть сложной задачей для новичков. Для достижения оптимальных результатов требуются понимание основ искусственного интеллекта и опыт работы с платформой.
2. <b>Широкий функционал.</b> IBM Watson Assistant предлагает широкий набор функций, которые позволяют разрабатывать сложные и персонализированные чат-боты. Возможности включают в себя управление диалогом, интеграцию с различными каналами коммуникации (веб-сайты, мессенджеры и т. д.), аналитику и отчетность.	2. <b>Ограниченные языковые возможности.</b> В некоторых случаях Watson Assistant может оказаться ограниченным в обработке специфических языков или диалектов. Хотя Watson Assistant поддерживает множество языков, но некоторые менее распространенные языки могут быть менее точно распознаны.
3. <b>Легкая интеграция.</b> IBM Watson Assistant может быть легко интегрирован с другими сервисами IBM, такими как Watson Discovery (для поиска информации в больших объемах данных) и Watson Language Translator (для перевода текста на различные языки).	3. <b>Зависимость от облачной инфраструктуры.</b> IBM Watson Assistant требует доступа к облачным ресурсам IBM для работы. Это может создавать зависимость от доступности облачной инфраструктуры и добавлять стоимость использования сервиса.
4. <b>Высокий уровень защиты данных.</b> IBM Watson Assistant обеспечивает высокий уровень безопасности и защиты данных. IBM имеет множество сертификатов и соблюдает регуляторные стандарты, такие как GDPR и HIPAA.	4. <b>Ограничения по цене.</b> IBM Watson Assistant предлагает бесплатный план, но при переходе на платные планы может возникнуть дополнительная стоимость. Некоторые функции и возможности также могут требовать дополнительных платежей.

#### ВОЗМОЖНОСТИ CHATNAVIGATOR И ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЧАТ-БОТА В РЖД

Система ChatNavigator предназначена для интерактивного онлайн-консультирования и обеспечивает автоматизацию обслуживания клиентов в различных текстовых каналах обслуживания [9].

Система предоставляет функции разработки и исполнения сценариев диалогов, настраиваемые индивидуально под предметную область конкретного заказчика. Сценарии диалогов могут включать уточняющие вопросы клиенту, получение информации из смежных информационных систем заказчика. Ответы системы могут содержать различные формы интерактивного взаимодействия с клиентом: ссылки на разделы сайта, уточняющие вопросы, предложение возможных вопросов, запросы дополнительной информации для передачи в смежные информационные системы. Система ChatNavigator обладает следующими функциональными возможностями:

- прием и автоматическая обработка текстовых вопросов клиентов в соответствии с заданными сценариями диалогов;
- сохранение истории общения с клиентом в рамках одной сессии;
- предоставление средств накопления информации, необходимой для анализа и внесения изменений в сценарий работы системы;
- просмотр отчетов и истории диалогов с клиентами;
- управление учетными записями пользователей;
- просмотр журнала событий;
- просмотр состояния компонентов системы;
- просмотр и редактирование сценария диалога;
- управление каналами связи.

В данный момент в РЖД реализована система АС «Виртуальный консультант» (ВиКо) для быстрых консультаций пользователей и создания обращений технологом по выбранной системе. Система была внедрена в 2022 году и вплоть до конца 2023 года проходила процесс улучшений и дополнений. Во второй половине 2023 года стандартная форма подачи обращений была заменена на использование через ВиКо, что существенно снизило нагрузку на работников, позволив решать самые типичные проблемы намного быстрее самими пользователями, без привлечения технологов. В случае если решение, предложенное чат-ботом, не помогло, создается обращение и привлекается технолог. Подробнее со статистикой, успехами и перспективами АС «ВиКо» можно ознакомиться в статье «Искусственный интеллект научили помогать пользователям РЖД» [10].

#### ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ПРЕИМУЩЕСТВ КОНКУРЕНТОВ

Платформы, такие как Dialogflow и IBM Watson Assistant, предлагают мощные инструменты для кастомизации ответов чат-бота. ChatNavigator может внедрить аналогичные инструменты, которые позволяют настраивать ответы бота в зависимости от контекста диалога и специфики запроса. Поскольку разные пользователи порой могут не обладать достаточной квалификацией или знаниями в определенной области, можно ввести дополнительные настройки для вида подачи информации. Также, аналогично Amazon Lex и Microsoft Bot Framework, можно предлагать более глубокую интеграцию с другими ИТ-системами РЖД и внешними сервисами, что позволит предоставлять более комплексную информацию

и услуги. В качестве дополнительных возможностей можно провести внедрение голосовых технологий, аналогично тем, которые используются в Alexa или Google Assistant, позволит пользователям взаимодействовать с сервисом в режиме hands-free, что может быть особенно удобно во время загруженной работы, когда времени сделать обращение вручную просто нет. Помимо этого, используя аналитические инструменты наподобие IBM Watson, платформа могла бы анализировать предыдущие запросы пользователей и предсказывать их потребности, предлагая информацию еще до того, как она будет запрошена, поскольку запросы одного пользователя чаще всего имеют общую тематику. В качестве большей персонализации можно провести интеграцию технологий для управления состоянием диалога, аналогичных Microsoft Bot Framework, что поможет обеспечить естественный ход разговора, даже если пользователь меняет тему или возвращается к предыдущему вопросу.

Реализация этих возможностей и функциональных особенностей потребует не только технических усилий, но и постоянного анализа потребностей пользователей и обратной связи от них, что позволит сделать ChatNavigator еще более удобным и полезным инструментом.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ РЕАЛИЗАЦИИ СЕРВИСА ДЛЯ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГАМ ГИД

Основные этапы проектирования чат-бота включают следующие шаги:

1. Формирование дерева сценария и таблицы тем.
2. Определение формата разработки сценария чат-бота:
  - работающий по заранее известным правилам (списку ключевых слов);
  - обучающийся на базе ML-классификатора (алгоритм Machine Learning).
3. Создание спецификации.

Сценарий чат-бота представляется в виде дерева из разделов и тем. Корень является входной точкой сценария, от которого идут темы первого или второго уровня вложенности. Начиная с третьего уровня вложенности новые числа добавляются в номер стеята через дефис. На схеме ниже можно увидеть часть дерева из разделов одной из тем, которая будет включена в чат-бот для помощи технологам.

Помимо дерева сценария, также проектируется таблица, где указаны первоначальные уровни вложенности. Таблица для чат-бота помощи технологам представлена ниже.



Рис. 5. Пример дерева сценария чат-бота

Таблица 5

Таблица тем чат-бота

Номер темы	Имя темы	Вопросы	Уровень вложенности
<b>1</b>	Установка ГИД		<b>1-й уровень вложенности</b>
1.1	Citrix		2-й уровень вложенности
1.2	ТКІ		2-й уровень вложенности
1.3	Novell		2-й уровень вложенности
<b>2</b>	Типовые ошибки		<b>1-й уровень вложенности</b>
2.1	Технические ошибки		2-й уровень вложенности
2.2	Ошибки АСОУП		2-й уровень вложенности
2.3	Действия пользователя		2-й уровень вложенности
<b>3</b>	Группы для нарядов		<b>1-й уровень вложенности</b>
<b>4</b>	Телефоны		1-й уровень вложенности

Для реализации сценария заполняется таблица тем в формате Excel. Номер темы отражает каждый новый уровень вложенности; имя темы отражает вопросы пользователей, которые будут попадать в тему; поле «Вопросы» заполняется реальными вопросами пользователей, оставляя только вопрос.

Далее заполняется вторая таблица с указанием ответов на вопросы. Ответы должны соответствовать следующим требованиям:

- компактность, оптимально:
  - 200–300 символов, <= 3–5 строк;
  - 1–5 простых предложений, <= 600–700 символов;
- информативность, состоят из 1–3 блоков:
  - 1-й обязательный — краткий ответ на вопрос пользователя;
  - 2-й — более полный ответ, включает важную информацию по вопросу;
  - 3-й — ссылка на ресурсы/источники с дополнительной информацией (в том числе на другие тематики сценария). Если пользователю необходимо предоставить еще более полную информацию по вопросу, ответ дополняется ссылкой или дозапросом;
- в первом предложении ответа должны в явном виде присутствовать тематика вопроса (чтобы при ошибке бота пользователь сразу понял, на какой именно вопрос дан ответ) и краткий ответ;
  - простая структура, БЕЗ причастных/деепричастных оборотов, сложносочиненных предложений;
  - текст должен быть легким для чтения, давать четкий ответ на ряд однотипных вопросов, а НЕ на один конкретный вопрос, НЕ может начинаться со слов «да», «нет», «можно», «нельзя».

Далее на основе таблицы тем определяется формат разработки сценария чат-бота. Поскольку в таблице тем присутствует большой уровень вложенности, то есть более 2 тем, то формат разработки будет по заранее прописанным шаблонам.

Последним этапом на основе таблицы тем готовится спецификация для сценария. Спецификация готовится в виде древовидной структуры в программе XMind или Visio. Для спецификации применяются следующие требования:

- быть детализированной;
- содержать:
  - вопросы пользователя и ответы на них;
  - варианты ввода и условия переходов между стеями;
  - интеграционные методы с другими системами/сервисами ОАО «РЖД»;
  - интеграционный метод с АСУ ЕПП.

Результатом построения спецификации будет представление сценария чат-бота в виде дерева диалогов

и набора последовательных действий в графическом редакторе [11].

Пример подобной спецификации представлен на рис. 6.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для увеличения эффективности и скорости работы технологов ГИД в РЖД важно использовать новые технологии из-за постоянных перемен и изменений в мире [12]. Чат-боты могут значительно улучшить процессы работы и повысить оперативность взаимодействия, предлагая быстрые и точные ответы на вопросы. После анализа различных платформ для разработки чат-ботов было показано, что ChatNavigator в качестве основы для создания чат-бота для технологов ГИД в РЖД удовлетворяет нужным требованиям, но также имеет потенциал для расширения функционала. ChatNavigator предлагает широкий набор функций и возможностей, которые отвечают требованиям и потребностям РЖД.

В первую очередь ChatNavigator обладает передовыми возможностями в понимании естественного языка, что гарантирует более точные и релевантные ответы на вопросы технологов ГИД. Эта платформа также обладает гибкостью и кастомизацией, что позволяет настраивать ответы и функционал бота в соответствии с уникальными требованиями РЖД. Одна из ключевых особенностей ChatNavigator — это мультиязычная поддержка, что является важным преимуществом для общения с иностранными технологами и участниками проектов РЖД. Интеграция с другими сервисами и API позволяет предлагать более полную информацию и услуги, упрощая работу и повышая эффективность процессов. ChatNavigator имеет потенциал интегрировать голосовые команды, предоставляя возможность общения с ботом в режиме hands-free, что является дополнительным удобством для технологов в РЖД. Более того, ChatNavigator предлагает возможность анализировать предыдущие запросы и предсказывать потребности технологов, что может значительно упростить и ускорить процесс получения необходимой информации.

Использование чат-ботов для поддержки технологов ГИД в РЖД позволяет повысить эффективность и оперативность работы. После анализа различных платформ для разработки чат-ботов ChatNavigator был выбран как оптимальная платформа для создания чат-бота для технологов ГИД. Его возможности в понимании естественного языка, гибкость и мультиязычная поддержка делают его идеальным выбором для системы чат-бота в РЖД. Дальнейшее развитие платформы на основе преимуществ конкурентов позволит улучшить функциональность и персонализацию чат-бота, обеспечивая более качественное обслуживание технологов и повышая эффективность их работы.

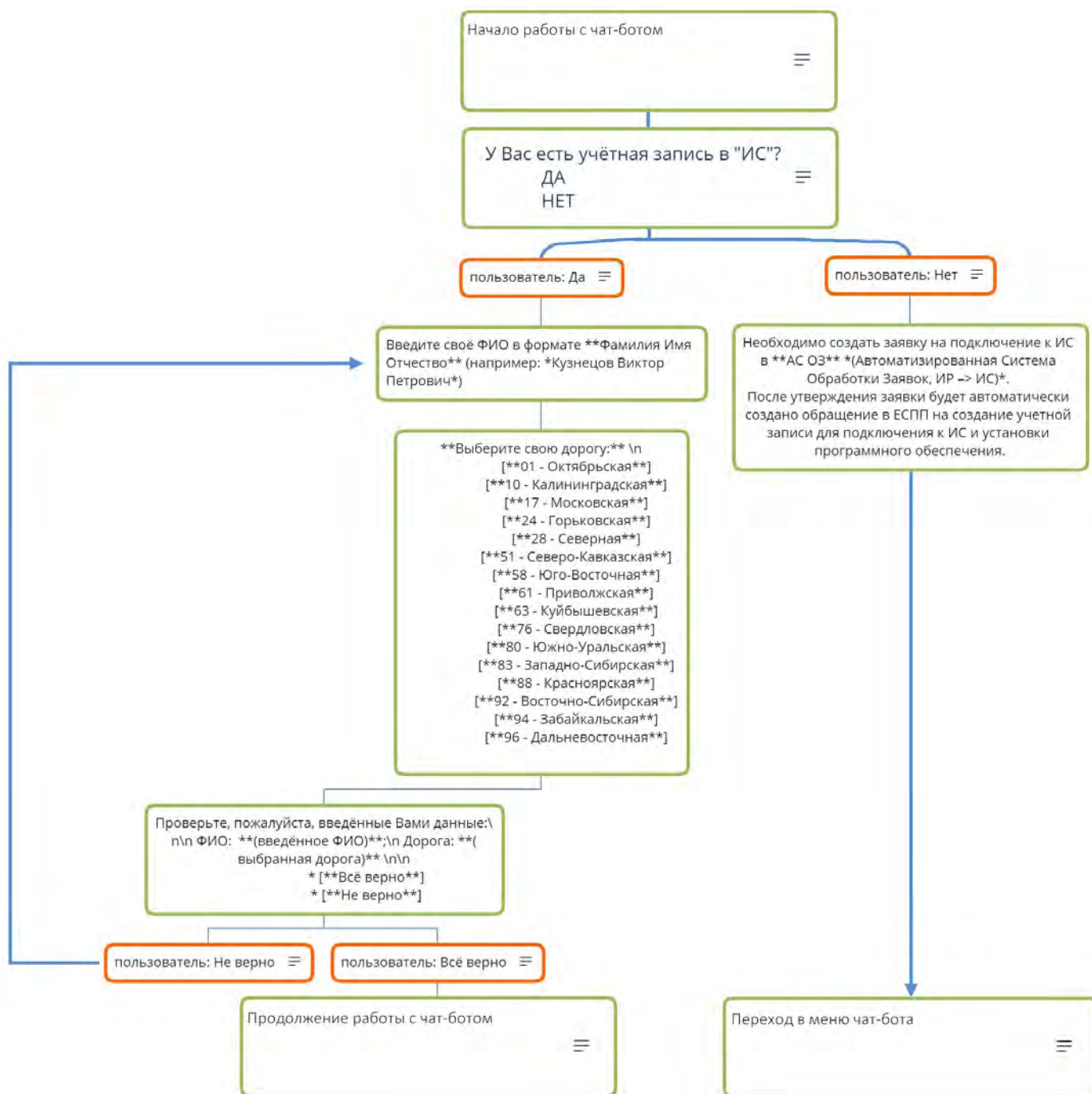


Рис. 6. Пример спецификации сценария чат-бота

ЛИТЕРАТУРА

1. ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: Справочная система. URL: <http://gidural.ru/doku.php> (дата обращения 11.02.2024).
2. Что такое чат-бот? // Oracle СНГ. — URL: <http://www.oracle.com/cis/chatbots/what-is-a-chatbot> (дата обращения 11.02.2024).
3. Пособие по обеспечению безопасности движения и охране труда / ОАО «Российские железные дороги». — Москва: Техинформ, 2011. — 247 с.
4. Гранкин, С. Что умеет Dialogflow? // Хабр. — 2020. — 29 мая. URL: <http://habr.com/ru/articles/502688> (дата обращения 11.02.2024).
5. Dialogflow // Google Cloud. URL: <http://cloud.google.com/dialogflow?hl=en> (дата обращения 11.02.2024).
6. Amazon Lex — ИИ для диалоговых интерфейсов и чат-ботов // Amazon Web Services. URL: <http://aws.amazon.com/ru/lex> (дата обращения 11.02.2024).
7. Microsoft Bot Framework. URL: <http://dev.botframework.com> (дата обращения 11.02.2024).
8. Что такое пакет SDK Bot Framework // Microsoft Learn. — 2023. — 08 марта. URL: <http://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/bot-service/bot-service-overview?view=azure-bot-service-4.0> (дата обращения 11.02.2024).
9. ChatNavigator. Омниканальная система естественного диалога STC-S9777. Руководство пользователя / ЦРТ Инновации. — 53 с. URL: [http://www.speechpro.ru/upload/productspecificationdocument/file/STC-S9777\\_ChatNavigator\\_Руководство\\_пользователя.pdf](http://www.speechpro.ru/upload/productspecificationdocument/file/STC-S9777_ChatNavigator_Руководство_пользователя.pdf) (дата обращения 11.02.2024)

10. Искусственный интеллект научили помогать пользователям РЖД // РЖД цифровой. — 2023. — 02 февраля. URL: <http://rzddigital.ru/projects/iskusstvennyu-intellekt-nauchili-pomogat-polzovatelyam-rzhd> (дата обращения 11.02.2024).

11. Проектирование чат-ботов на платформе ChatNavigator [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sdo.rzd.ru/lms/#&step=2&doaction=Go&s=7PQYfAcUZmfduJwW-W3G&id=1202455&type=studentmeasure> (дата обращения: 11.02.2024)

12. Постников, С. Б. Железные дороги: адаптация к переменам и новым реальностям: Монография. — Москва: Прометей, 2022. — 350 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Нигматуллин Кирилл Рамилович** — магистрант 1-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [morenoded@gmail.com](mailto:morenoded@gmail.com)

**Забродин Андрей Владимирович** — канд. ист. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [zabrodin@pgups.ru](mailto:zabrodin@pgups.ru)

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024.



# Research and Development of a Chatbot to Optimize Support for Technologists of the “Executive Traffic Schedule” System in Russian Railways: Platform Selection and Justification

**K. R. Nigmatullin, PhD A. V. Zabrodin**

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

**Abstract.** The article is devoted to the research and development of a chatbot for consulting support for technologists of the “Executive Traffic Schedule” system in Russian Railways. The goal of the work is to identify the requirements and characteristics for creating a chatbot capable of assisting technologists. The paper discusses the practical significance of introducing chatbots in the field of technical support in Russian Railways. The analysis of the ChatNavigator platform for creating a chatbot is carried out and the choice of this platform is justified.

**Keywords:** information technology, chatbot, RZhD (Russian Railways), digital technologies, automation, GID, integration.

**For citation.** Nigmatullin K. R., Zabrodin A. V. Research and development of a chatbot to optimize support for technologists of the “Executive Traffic Schedule” system in Russian Railways: platform selection and justification // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 61–72. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-61-72*

## REFERENCES

1. GID “Ural-VNIIZhT” [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://gidural.ru/doku.php> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)
2. Chto takoe chat-bot [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://www.oracle.com/cis/chatbots/what-is-a-chatbot/> (data obrashhenija: 11.02.2024).
3. Posobie po obespecheniju bezopasnosti dvizhenija i ohrane truda. M.: TEHINFORM, 2011. S. 12. (In Russian)
4. Chto umeet Dialogflow [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://habr.com/ru/articles/502688/> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)
5. Dialogflow [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://cloud.google.com/dialogflow?hl=en> (data obrashhenija: 11.02.2024).
6. Amazon Lex [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://aws.amazon.com/ru/lex/> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)

7. Microsoft Bot Framework [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://dev.botframework.com/> (data obrashhenija: 11.02.2024).

8. Chto takoe paket SDK Bot Framework [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/bot-service/bot-service-overview?view=azure-bot-service-4.0> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)

9. ChatNavigator Rukovodstvo pol’zovatelja [Jelektronnyj resurs]. URL: [https://www.speechpro.ru/upload/productspecificationdocument/file/STC-S9777\\_ChatNavigator\\_Rukovodstvo\\_pol’zovatelja.pdf](https://www.speechpro.ru/upload/productspecificationdocument/file/STC-S9777_ChatNavigator_Rukovodstvo_pol’zovatelja.pdf) (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)

10. Iskusstvennyj intellekt nauchili pomogat’ pol’zovateljam RZhD [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://rzddigital.ru/projects/iskusstvenny-intellekt-nauchili-pomogat-polzovatelyam-rzhd/> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)

11. Proektirovanie chat-botov na platforme ChatNavigator [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://sdo.rzd.ru/lms/#&step=2&doaction=Go&s=7PQYfAcUZmfduJIwWW3G&id=1202455&type=studentmeasure> (data obrashhenija: 11.02.2024). (In Russian)

12. Pozdnikov S. B. Zheleznye dorogi: adaptacija k peremennam i novym real’nostjam. M.: Prometej, 2022. S. 302. (In Russian)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Nigmatullin Kirill Ramilevich** — Master’s degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [morenoded@gmail.com](mailto:morenoded@gmail.com)

**Zabrodin Andrey Vladimirovich** — PhD in History. Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [zabrodin@pgups.ru](mailto:zabrodin@pgups.ru)

The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 15.03.2024.

# Интерактивные методы в дистанционном образовании транспортного персонала: от теории к практике

Л. В. Селина, М. Ф. Соломатова

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

**Аннотация.** Рассматривается важность применения интерактивных методов в дистанционном образовании для теоретической подготовки транспортного персонала. Авторы анализируют текущее положение транспортного образования в Российской Федерации, выделяют роль интерактивности в обучении и исследуют игры, симуляции, виртуальную и дополненную реальность как составные элементы интерактивных методов обучения. Статья подчеркивает значимость интерактивности для превращения теории в практику, обеспечивая эффективную подготовку транспортного персонала.

**Ключевые слова:** интерактивные методы, дистанционное образование, транспортное образование, теоретическая подготовка, игровые методики, виртуальная реальность.

**Для цитирования:** Селина Л. В., Соломатова М. Ф. Интерактивные методы в дистанционном образовании транспортного персонала: от теории к практике // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 73–77. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-73-77

## ВВЕДЕНИЕ

Современное транспортное образование сталкивается с вызовами быстро меняющегося мира, требуя эффективных методов обучения. Дистанционное образование и интерактивные методы играют ключевую роль в теоретической подготовке транспортного персонала. В современных условиях удаленное обучение выделяется как одна из передовых стратегий доступа к необходимой информации. В настоящее время этой системе образования уделяется значительное внимание, причем она активно внедряется не только в образовательные учреждения, но также находит широкое применение в крупных организациях для профессионального развития персонала.

Дистанционное обучение также охватило и транспортную отрасль. С каждым годом транспортная индустрия становится все более динамичной и технологичной, требуя от своих специалистов высокой квалификации и готовности к постоянному обновлению знаний, а традиционные методы теоретической подготовки транспортного персонала, такие как изучение статичных материалов, стали устаревшими. Эта модель обучения ориентирована на одностороннюю передачу

информации, но она не всегда способствует максимальному усвоению знаний и активному вовлечению в учебный процесс.

Актуальность внедрения интерактивных методов в дистанционное образование при теоретической подготовке транспортного персонала бесспорна. Интерактивные методы обучения выступают как ключевой инструмент, способствующий более эффективному усвоению материала. Они превращают традиционный акт обучения в захватывающее и вдохновляющее путешествие, где студент активно участвует, решает задачи, взаимодействует с материалом и, самое главное, остается заинтересованным. Именно в этом творческом подходе заключается возможность создания образовательной среды, которая сочетает в себе эффективность традиционного обучения с инновационными методами, обеспечивая высокий уровень подготовки транспортного персонала.

## ТЕКУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ОБРАЗОВАНИЯ в Российской Федерации

Подготовка кадров для транспортной отрасли, в дальнейшем обозначаемая как транспортное образование, играет ключевую роль в развитии кадрового потенциала и инновационного прогресса транспортной системы Российской Федерации. Эта отрасль, составляющая более 6 % национального внутреннего валового продукта, является одной из фундаментальных составляющих экономики страны.

Транспортное образование охватывает подготовку специалистов для различных секторов транспортного комплекса. Центральными компонентами в области транспортного образования являются подготовка кадров для гражданской авиации, включая авиационный персонал и членов экипажей судов согласно международным стандартам. Также важным аспектом является обучение специалистов железнодорожного транспорта, включая тех, кто ответственен за движение поездов, маневровые операции и обеспечение безопасности. Кроме того, транспортное образование занимается подготовкой специалистов, занимающихся проектированием и обслуживанием транспортной инфраструктуры. Это включает в себя проектирование, строительство, техническое обслуживание и развитие сети автомобильных дорог, а также улучшение их пропускной способности, обеспечение безопасного движения и повышение качества

предоставляемых пользователям автомобильных дорог услуг. Кроме того, транспортное образование также ориентировано на развитие объектов дорожного сервиса, расположенных в пределах полосы отвода и придорожных зон автомобильных дорог.

Система включает 17 высших образовательных учреждений и 91 филиал, а общее число студентов в транспортных университетах превышает 270 тыс. человек. Кроме государственных образовательных учреждений, в образовательном процессе также участвуют частные организации и учебные центры, что дополняет обширную структуру транспортного образования в России [1].

Транспортные учебные заведения предлагают разнообразные программы, охватывающие все аспекты транспортной отрасли. От подготовки пилотов и моряков до инженеров и менеджеров в области логистики, эти программы строятся с учетом актуальных потребностей рынка труда и инновационных тенденций в транспортной сфере. В настоящее время транспортное образование осуществляет подготовку прикладных специалистов, полностью соответствующих задачам отрасли.

#### ЗНАЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА

Транспортная отрасль отличается высокой степенью специфичности и разнообразия. Различные виды транспорта (наземный, воздушный, водный) обладают уникальными особенностями, требующими специальной подготовки персонала. Поэтому в сфере транспорта теоретическая подготовка играет важнейшую роль, являясь основой для формирования компетентных и безопасных специалистов. Развитие технологий, динамика изменений в транспортной отрасли, а также повышенные требования к квалификации персонала делают теоретическую подготовку неотъемлемой частью образования транспортных специалистов. А важным аспектом является системное обновление моделей и методик организации образовательного процесса. Это направлено на формирование высококвалифицированных кадров в транспортной отрасли, соответствующих новым технологическим требованиям.

Цель теоретической подготовки в сфере транспорта — обеспечить специалистам необходимые знания и концептуальные инструменты для решения сложных задач, связанных с транспортными системами, а также способствовать их профессиональному росту и адаптации к изменяющимся условиям в отрасли. Теория включает в себя углубленное понимание технических аспектов, безопасности движения, правил и нормативов, а также основных принципов управления транспортными средствами. Специалисты, обладающие сильной теоретической базой, могут принимать взвешенные решения в сложных ситуациях, способствуя эффективному функционированию транспортных систем. Правильно обученный персонал в состоянии предотвращать несчастные случаи и обеспечивать безопасность как для себя, так и для окружающих.

Теоретические знания являются фундаментом, на котором строится успешная практика, а практика, в свою очередь, делает усвоенные теоретические концепции более живыми

и применимыми в реальной жизни. Но иногда теория может казаться скучной из-за ее абстрактности и теоретического характера. В связи с этим учащиеся не хотят слушать лекционные материалы и стремятся как можно быстрее перейти к практическим занятиям. Ведь сейчас активно внедряют инновации в образовательный процесс — виртуальные тренажеры, симуляторы и современные методики обучения для практики. Вследствие этого теория уходит на второй план, поэтому необходимо сделать процесс подачи теоретического материала более увлекательным и интересным.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Дистанционное обучение — образовательный процесс с применением технологий, обеспечивающих связь обучающихся и преподавателей на расстоянии, без непосредственного контакта [2]. Это целостная система, основанная на использовании современных информационных и коммуникационных технологий, позволяющая обучающимся получать знания в виртуальной среде, где географические и временные ограничения теряют свою актуальность. В эпоху постоянных технологических изменений и быстрого развития информационных технологий дистанционное образование становится неотъемлемой частью современной образовательной парадигмы.

В основе концепции дистанционного образования лежит принцип гибкости, предоставляя студентам свободу выбора темпа обучения и удобного графика занятий. Эта форма образования становится особенно актуальной в контексте подготовки транспортного персонала, где мобильность и графики сменяющихся рабочих часов могут осложнять традиционные формы обучения. Как раз одной из существенных отличительных особенностей транспортного образования России является экстерриториальность мест работы выпускников, чем объясняется популярность у обучающихся заочной (дистанционной) формы обучения [3].

Следовательно, весьма актуальной становится задача объединения потенциала транспортных вузов с целью решения задач, предусмотренных Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года, с прогнозом на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 27 ноября 2011 г. № 3363-р). Вопросы интеграции ресурсов отечественных вузов и обеспечения академической мобильности студентов и преподавателей были поставлены более 20 лет назад, однако лишь с повсеместной информатизацией образовательных учреждений они получили технологическую базу для практической реализации и были признаны профессиональным сообществом в качестве ключевого инструмента подготовки кадров в XXI веке [4].

Недавние события 2020 года лишь подтвердили, что именно цифровые информационные технологии могут стать основой для интеграции различных образовательных организаций, независимо от их уровня, местоположения или ведомственной принадлежности. Тем не менее реализация основной функции предприятий, вузов и других учебных заведений, то есть учебного процесса, с использованием цифровых технологий, зависит от конкретных программных платформ — систем дистанционного обучения.

## ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Основные формы активности на дистанционных занятиях схожи с теми, которые применяются на традиционных занятиях. Среди них можно выделить такие, как обсуждение, дискуссии, беседы, ролевые игры, направленные на решение учебных задач, проектная деятельность и так далее. Все эти виды деятельности способствуют стимулированию обучающихся к самостоятельному мышлению и активным высказываниям. Вглядываясь в основные концепции дистанционного образования, необходимо подчеркнуть как его преимущества, так и ограничения.

### *Преимущества*

- Глобальная доступность. Дистанционное образование снимает географические барьеры, предоставляя обучающимся возможность получения качественного образования независимо от их местонахождения. Это особенно ценно для транспортного персонала, чья работа часто связана с постоянными перемещениями.

- Гибкость в расписании. Студенты получают возможность самостоятельно управлять своим графиком и темпом обучения.

- Экономия времени и ресурсов. Отсутствие необходимости в физическом присутствии в учебных заведениях экономит время и средства на поездки.

- Разнообразие образовательных ресурсов. Дистанционное образование предоставляет доступ к разнообразным электронным ресурсам, включая видеоматериалы, интерактивные учебники и веб-семинары, обогащая образовательный опыт.

### *Ограничения*

- Требуется самостоятельность. Для успешного обучения в данной среде необходима высокая степень самостоятельности и ответственности со стороны студентов, что может представлять для некоторых трудность.

- Ограниченное взаимодействие. Отсутствие физического взаимодействия может снизить уровень обмена идеями и опытом между студентами и преподавателями, что особенно важно в области транспортного обучения.

- Технические проблемы. Проблемы с интернет-соединением, техническим оборудованием и программными средствами могут повлиять на качество обучения.

- Ограничения в обучении практическим навыкам. Дистанционное обучение может оказаться менее эффективным в передаче практических навыков, которые могут быть существенными в транспортной сфере.

## ИНТЕРАКТИВНОСТЬ: РОЛЬ И ПРЕИМУЩЕСТВА В ОБУЧЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРСОНАЛА

Понятие «интерактивность» обладает множеством аспектов и поддается различным конкретным трактовкам, что приводит к разнообразию определений этого понятия. В эпоху информационных технологий интерактивность, являющаяся эффективным инструментом для улучшения качества образования, представляет собой базовый принцип, лежащий в основе создания образовательных моделей.

Коммуникативная функция занимает центральное место в этом процессе. Переход от читателя или зрителя к пользо-

вателю подразумевает не только активное взаимодействие, но и возможность пользователя формировать свой собственный путь восприятия информации.

Уникальные свойства интерактивности в контексте дистанционного обучения выступают как основополагающий элемент. Взаимодействие обучаемых с учебным окружением преобразует учебное пространство в реальность, где каждый участник формирует свой уникальный опыт [5]. Развитие навыков самостоятельного принятия решений, командного взаимодействия, интерактивного взаимодействия с объектом обучения становится неотъемлемой частью образовательного процесса в транспортной сфере.

Обращая внимание на один из выше указанных недостатков дистанционного обучения, можно увидеть, как интерактивность смягчает его и обеспечивает более эффективное формирование практических навыков транспортного персонала. Интерактивные методы обучения в дистанционном формате являются мостом между теоретическим материалом и практическими навыками, создавая среду, где студенты могут взаимодействовать с содержанием и применять полученные знания в виртуальных сценариях, эмулирующих реальные рабочие условия. Вот несколько ключевых преимуществ интерактивности:

- активное вовлечение и участие (студенты не просто слушают лекции, а взаимодействуют с материалом, что способствует более глубокому пониманию и усвоению информации);

- формирование практических навыков;

- стимуляция критического мышления (взаимодействие с материалом через интерактивные методы требует от студентов анализа, оценки и принятия решений);

- обратная связь и коррекция ошибок (интерактивные методы обучения обеспечивают мгновенную обратную связь);

- повышение мотивации.

## ИГРЫ, СИМУЛЯЦИИ, ВИРТУАЛЬНАЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

В контексте обучения транспортного персонала или повышения квалификации, интерактивные методы играют важную роль и повышают мотивацию к обучению у сотрудников или студентов, обеспечивая эффективное и практическое освоение профессиональных навыков. Но можно рассматривать обучение еще шире — на примере использования игр, симуляций, а также технологий виртуальной и дополненной реальности в дистанционном формате.

1. Игры. Виртуальные игровые сценарии могут быть разработаны для транспортных профессий, чтобы обучать различным навыкам и принятию решений. Например, игра в жанре приключения с красивым интерфейсом и хорошей базовой транспортной теорией, где участники сталкиваются с различными сценариями, требующими принятия обоснованных решений. В зависимости от выбранных вариантов игроки могут сталкиваться с вызовами, такими как эффективное управление транспортными средствами, оптимизация маршрутов или решение чрезвычайных ситуаций.

2. Симуляция. Для каждого вида транспорта можно разработать собственные тренажеры и симуляторы, позволяю-

щие обучаемым практиковаться в виртуальных, но реалистичных условиях. Например, симуляции для логистов, где можно создавать и оптимизировать планы грузоперевозок, учитывая различные виды грузов, требования клиентов и оптимальные маршруты. Также логисты могут практиковаться в создании расписаний движения поездов, учитывая различные факторы, такие как объем грузов, сроки доставки, и потребности клиентов.

3. Виртуальная реальность (VR). Применение VR в обучении транспортного персонала предоставляет уникальную возможность создания иммерсивных сценариев, например обучение поездных электромехаников основам технического обслуживания и ремонта электропоездов в условиях виртуального мира. Электромеханики могут взаимодействовать с виртуальным поездом, проводя техническое обслуживание, диагностику систем и выявление неисправностей в электротехнических компонентах.

4. Дополненная реальность (AR). Применение AR в обучении транспортного персонала может включать в себя создание приложений, дополняющих реальное окружение водителя, пилота или машиниста поезда визуальными подсказками и информацией, улучшая тем самым восприятие ситуации и принятие решений. Например, морские инженеры смогут через свой смартфон взаимодействовать и изучать виртуальные корабли, маяки, плавучие объекты, а также дополненные информационные панели и приборы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Транспортное образование в Российской Федерации сталкивается с вызовами и требует современных решений. Определение дистанционного образования как инструмента трансформации традиционного образовательного процесса позволяет активно внедрять новые подходы в сферу обучения транспортного персонала.

Использование интерактивных методов в дистанционном образовании транспортного персонала не только обогащает образовательный опыт, но и способствует развитию отрасли. Игры, симуляции, виртуальная и дополненная реальность позволяют преодолеть ограничения дистанционного обучения, обеспечивая эффективное формирование практических навыков и повышая мотивацию студентов. Внедрение интерактивности в образовательный процесс открывает новые перспективы для транспортного образо-

вания, делая его более привлекательным и доступным для новых поколений специалистов.

Таким образом, внедрение интерактивных методов в дистанционное образование не только повышает качество подготовки транспортного персонала, но и способствует развитию отрасли, делая ее более привлекательной и доступной для новых поколений специалистов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 06 февраля 2021 г. № 255-р.
2. Артюхов, А. А. Некоторые аспекты теории и практики организации «дистанционного обучения» при изучении географии в основной школе // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 5–4 (107). — С. 49–55. DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.111.
3. Гаранин, М. А. Транспортное образование в мире // Профессиональное образование и рынок труда. 2020. № 3. С. 61–71. DOI: 10.24411/2307–4264–2020–10309.
4. Цифровые технологии, навыки, инженерное образование для транспортной отрасли и технологии образования / А. А. Климов, В. П. Куприяновский, И. А. Соколов, [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7, № 10. С. 98–127.
5. Кларин, М. В. Интерактивное обучение — инструмент освоения нового опыта // Педагогика. 2000. № 7. С. 12–18.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Селина Любовь Валентиновна** — студент 3 курса направления подготовки бакалавриата 38.03.05 Бизнес-информатика, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: luba.selina.2003@mail.ru

**Соломатова Мария Феликсовна** — начальник отдела информационных систем, старший преподаватель кафедры «Информатика и информационная безопасность», заместитель начальника Управления информатизации, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: isaeva@pgups.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

# Application of Interactive Methods in Distance Education in Theoretical Training of Transport Personnel or How to Turn Theory into Practice

L. V. Selina, M. F. Solomatova

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

**Abstract.** In the modern educational space of the transport industry, where technological changes become an integral part of everyday life, the implementation of interactive methods of distance learning plays a key role in effective theoretical training of transport personnel. The implementation of distance education and the use of interactive methods provide unique opportunities for turning theory into practice, providing students and employees of the transportation industry with the necessary competencies. This article deals with the application of interactive methods in distance education in the theoretical training of transportation personnel. The article discusses the current state of transportation education in the Russian Federation and emphasizes the importance of theoretical training in this field. The authors study the main concepts of distance education, including its definition, advantages and limitations, highlight the role of interactivity in the training of transport personnel, and analyze games, simulations, virtual and augmented reality as constituent elements of interactive methods of distance learning.

**Keywords:** interactive methods, distance education, transportation education, theoretical training, game methods, virtual reality.

**For citation:** Selina L. V., Solomatova M. F. Application of Interactive Methods in Distance Education in Theoretical Training of Transport Personnel or How to Turn Theory into Practice // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No 1 (37). P. 73–77. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-73-77*

## REFERENCES

1. On Approval of the Concept of Personnel Training for the Transport Complex Until 2035: Order of the Government of the Russian Federation from February 06, 2021 No. 255-r.
2. Artiukhov A. A. On Some Aspects of the Theory and Practice of Organizing Distance Learning in Primary School

Geography Lessons [Nekotorye aspekty teorii i praktiki organizatsii «distantionnogo obucheniya» pri izuchenii geografii v osnovnoy shkole], *International Research Journal [Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal]*, 2021, No. 5–4 (107), Pp. 49–55. DOI: 10.23670/IRJ.2021.107.5.111.

3. Garanin M. A. Transport Education in the World [Transportnoe obrazovanie v mire], *Vocational Education and Labour Market [Professionalnoe obrazovanie i rynek truda]*, 2020, No. 3, Pp. 61–71. DOI: 10.24411/2307-4264-2020-10309.

4. Klimov A. A., Kupriyanovsky V. P., Sokolov I. A., et al. On Digital Technologies, Skills, Engineering Education for Transport and Education Technologies [Tsifrovye tekhnologii, navyki, inzhenernoe obrazovanie dlya transportnoy otrasli i tekhnologii obrazovaniya], *International Journal of Open Information Technologies*, 2019, Vol. 7, No. 10, Pp. 98–127.

5. Klarin M. V. Interactive Learning — An Instrument of Mastering New Experience [Interaktivnoe obuchenie — instrument osvoeniya novogo opyta], *Pedagogy [Pedagogika]*, 2000, No. 7, Pp. 13–18.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Selina Lyubov Valentinovna** — Bachelor's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: luba.selina.2003@mail.ru

**Solomatova Maria Feliksovna** — Head of the Information Systems Department, Senior Lecturer at the Department of Informatics and Information Security, Deputy Head of the Informatization Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: isaeva@pgups.ru

The article was submitted 15.02.2024; approved after reviewing 17.03.2024.

# Применение принципов UI/UX-дизайна для онлайн-платформы бронирования ж/д билетов: оптимизация пользовательского опыта и безопасности

Е. Г. Баландин, канд. ист. наук А. В. Забродин

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

**Аннотация.** Статья представляет комплексный обзор процесса разработки веб-сервиса по поиску ж/д билетов с акцентом на применение принципов UI/UX-дизайна. Рассматриваются ключевые этапы проектирования, начиная с анализа потребностей пользователей и заканчивая обеспечением безопасности данных. Освещается важность создания удобного и привлекательного интерфейса, а также обсуждаются проблемы, с которыми могут столкнуться разработчики. В заключении подчеркивается необходимость постоянного совершенствования существующих сервисов и разработки новых, соответствующих ожиданиям современного пользователя.

**Ключевые слова:** веб-сервис, железнодорожные билеты, user interface, user experience, дизайн, безопасность, архитектура, аутентификация, база данных, UI/UX.

**Для цитирования:** Баландин Е. Г., Забродин А. В. Применение принципов UI/UX-дизайна для онлайн-платформы бронирования ж/д билетов: оптимизация пользовательского опыта и безопасности // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 78–83. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-78-83

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире важность удобства и безопасности онлайн-сервисов для бронирования ж/д билетов становится все более актуальной. Статья посвящена процессу разработки веб-платформы, обеспечивающей оптимальный пользовательский опыт и безопасность данных. Рассматривается значимость создания привлекательного и интуитивно понятного интерфейса, а также обсуждаются основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики веб-сервисов.

Существующие инфраструктуры путей сообщения предоставляют нам разнообразные способы перемещения, однако с увеличением данного разнообразия возникает потребность в различных эффективных средствах, которые бы помогали нам ориентироваться во всех возможных вариантах маршрутов. Спрос рождает предложение — на рынок вышли различные веб-сервисы, приложения, продукты и т.д. Они играют ключевую роль в выборе вариантов перемещения, предлагая

удобные интерфейсы и полезные функции. Рассмотрим преимущества подробнее.

Во-первых, они обеспечивают упрощение процесса планирования и бронирования транспорта, способствуя повышению мобильности населения в современных условиях, когда поездки для работы и отдыха становятся рутинной.

Во-вторых, такие сервисы обеспечивают экономию времени и ресурсов, предоставляя пользователям возможность быстрого поиска оптимальных вариантов транспорта, сравнения цен и маршрутов. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности процесса выбора благодаря централизованной предоставляемой информации.

В-третьих, интеграция различных видов транспорта в одной платформе позволяет пользователям создавать пересадочные маршруты, обеспечивая более гладкое и удобное перемещение между различными видами транспорта.

В-четвертых, централизованные системы бронирования и планирования поездок, предоставляемые веб-сервисами, могут содействовать оптимизации транспортных потоков, предоставляя операторам информацию о предпочтениях пользователей и популярности конкретных маршрутов.

И наконец, веб-сервисы способствуют развитию туристической индустрии, которая может использовать такие сервисы для привлечения новых клиентов и создания более удобных сервисов для них.

Вместе с тем, рассматривая ключевые преимущества, предоставляемые веб-сервисами по поиску билетов, существует потенциальная ошибка в предположении о безупречности доступных на сегодняшний день решений на рынке. Действительность далека от идеала. Например:

1) Определенные веб-сервисы взимают высокие комиссии за использование своей платформы или применяют скрытые платежи, что в итоге значительно увеличивает окончательную стоимость билетов. Эта практика может вызвать недовольство у клиентов, ценящих ясность и прозрачность в финансовых вопросах.

2) Некоторые веб-сервисы сталкиваются с трудностями в точном отображении информации о наличии билетов, расписаниях и ценах. Это может привести к недопониманию

и разочарованию у пользователей, особенно если они полагались на точность предоставленной информации.

3) Сложные процессы бронирования и оплаты могут стать причиной отказа от использования сервиса. Проблемы с вводом данных, выбором опций или оплатой могут снизить удобство использования и повлиять на общее восприятие сервиса.

4) Отсутствие действенной системы поддержки или медленные реакции на запросы клиентов могут создавать негативное впечатление. Удовлетворенность клиентов часто зависит не только от качества предоставляемых услуг, но и от способности оперативно и эффективно решать возникающие проблемы.

5) Недоработки в обеспечении безопасности данных, такие как утечки личной информации или применение небезопасных методов оплаты, могут значительно подорвать доверие пользователей к веб-сервису.

Для современного пользователя важен не просто удобный сервис, а идеальный — тот, который сочетает в себе все достоинства, обеспечивает максимальную прозрачность, оперативность и безопасность, а также лишен недостатков, мешающих полноценному использованию. Это требование подчеркивает важность постоянного совершенствования существующих сервисов и разработки новых, соответствующих ожиданиям и потребностям современного пользователя. В итоге стремление к созданию идеального веб-сервиса в мире транспортных путешествий представляет собой постоянный вызов для разработчиков.

#### АНАЛИЗ РЫНКА

На сегодняшний день в различных странах существует множество веб-сервисов, предоставляющих услуги по продаже билетов на транспортные средства различных видов. Для более глубокого понимания рынка мы сосредоточимся на анализе веб-сервисов, выявляя их преимущества и недостатки, а также изучая отзывы пользователей и тенденции развития. Полученные данные помогут выделить потребности современных пользователей и обосновать необходимость создания нового веб-сервиса, объединяющего в себе все преимущества и минимизирующего недостатки текущих решений.

Рассмотрим три различных рынка: североамериканский, европейский и российский.

1) Американский рынок веб-сервисов для продажи ж/д билетов в настоящий момент в упадке. В основном это связано со старением инфраструктуры железной дороги и проигрышанием в конкуренции авиасообщению. На август 2023 года услугами авиаперевозок воспользовалось 77,4 млн пассажиров, что на 8 % больше, чем в прошлом году [1]. При этом монополист рынка в США Amtrak перевозит в среднем 23 млн пассажиров в месяц [2]. Среди решений по поиску билетов мы имеем два самых популярных сервиса: сайт Amtrak и Wanderu. Первый вариант не обладает выдающимися характеристиками, за исключением отсутствия дополнительных комиссий за билет, так как покупка осуществляется непосредственно у перевозчика. Wanderu является одним из лучших решений на рынке, обладая большим функционалом и удобным интерфейсом.

2) Европейский рынок развит намного лучше американского. Количество удобных решений для поиска ж/д билетов

больше, а качество лучше. Рассмотрим пару удачных примеров: Deutsche Bahn и Omio. DB (Deutsche Bahn) является монополистом внутри Германии. Веб-сервис немецкой компании можно считать примером интегрированного и современного подхода к пассажирским перевозкам: он предоставляет широкий выбор опций и удобств для своих клиентов. Однако есть и минусы, например малая география маршрутов. Omio, в свою очередь, распространен в 37 странах мира [3], но больше всего популярен в Европе.

3) В российском сегменте рынка транспортных веб-сервисов наблюдается отсутствие активного развития. Три основных игрока — сайт РЖД, Tutu.ru и «Яндекс.Расписание» — не являются идеальными, они требуют определенного развития. Сайт РЖД сталкивается с проблемами автоматизации поиска и сложным интерфейсом. Tutu.ru испытывает ограниченное использование из-за популярности РЖД, а «Яндекс.Расписание» сталкивается с ограничениями из-за неудовлетворительного интерфейса при широком функционале.

В результате краткого анализа можем сделать следующий вывод: текущий рынок веб-сервисов по продаже билетов демонстрирует значительный потенциал для развития. Новый проект должен интегрировать оптимальные характеристики существующих платформ, обеспечивая высокий уровень удобства, прозрачности и безопасности для пользователей.

#### ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ВЕБ-СЕРВИСА

Проанализировав вышеупомянутые ключевые продукты и выделив их сильные и слабые стороны, мы пришли к выводу о необходимости разработки веб-сервиса. Наша цель — создать платформу, интегрирующую оптимальные характеристики, соответствующие ожиданиям современных пользователей. Наша статья посвящена процессу формирования данной платформы.

Для эффективной разработки веб-сервиса необходимо тщательно исследовать три основных аспекта: целевую аудиторию, функциональные возможности веб-сервиса и потенциальные проблемы, с которыми мы можем столкнуться в ходе его создания и внедрения. При рассмотрении этой задачи авторы пришли к выводу, что сервис Omio представляет собой передовое мировое решение. Проанализировав его функционал, мы можем использовать полезные идеи для оптимизации различных аспектов разрабатываемого нами веб-сервиса, таких как поиск, сортировки, интерфейс (подробнее о нем будет сказано ниже), интеграция видов транспорта и другие функциональные элементы. Тем не менее, чтобы создать устойчивый и конкурентоспособный продукт, критически важно также учитывать особенности нашего рынка и возможные проблемы, такие как технические сложности, законодательные аспекты, проблемы пользовательского опыта и пр.

Определим ключевые требования, необходимые для достижения конкурентных преимуществ предлагаемого проекта. Во-первых, приоритет разработки будет направлен на user interface и user experience, проще говоря, UI/UX [4]. Вместе UI и UX способствуют созданию продуктов, которые не только хорошо выглядят (UI), но и предоставляют интуитивно понятный функционал (UX). Оба аспекта тесно взаимосвязаны и важны для достижения успеха в веб-дизайне и разработке приложений.



Эффективная реализация требований UI/UX играет сегодня ключевую роль в достижении конкурентных преимуществ на рынке веб-сервисов. Высокое качество пользовательского интерфейса и опыта считается неотъемлемым для успешного продвижения услуги. Этот процесс включает в себя создание привлекательного дизайна, обеспечение легкости использования, установление доверия и обеспечение безопасности, а также поддержание конкурентоспособности в области дизайна и интерактивности. Все эти аспекты направлены на повышение эффективности пользовательских действий и конверсии, что в итоге является ключевым элементом успешной реализации веб-сервиса.

Во-вторых, мы попытаемся внедрить базовые принципы безопасности на веб-сервисе, включая аутентификацию, авторизацию, ограничение прав доступа и хеширование данных. Эти решения представляют собой фундаментальный набор мер для обеспечения безопасности. Тем не менее, осознавая динамический характер угроз в сфере безопасности, мы планируем регулярный мониторинг новых технологий и угроз, чтобы адаптировать и улучшать наши меры безопасности в соответствии с изменяющейся обстановкой.

Все вышеперечисленные аспекты разработки будут главными сторонами нашего проекта. Наш подход к систематизации этих аспектов направлен на создание современного и надежного веб-сервиса, обеспечивающего выдающийся опыт пользователя и привлекающего внимание целевой аудитории.

### АРХИТЕКТУРА ВЕБ-СЕРВИСА

Создание архитектуры веб-сервиса представляет собой критически важный этап в разработке по ряду ключевых причин.

Во-первых, эффективная архитектура способствует оптимизации использования различных ресурсов (процессорное время, память и сетевой трафик), что, в свою очередь, обеспечивает высокую производительность веб-сервиса.

Во-вторых, она обеспечивает масштабируемость сервиса, позволяя легко внедрять новый функционал, возможности и т. д.

В-третьих, обеспечивает безопасность, включая меры шифрования данных, механизмы аутентификации и авторизации для защиты конфиденциальности пользователей.

Помимо вышесказанного, тщательно спроектированная архитектура дополнительно облегчает процессы технической поддержки и адаптации, придавая веб-сервису значительную гибкость и управляемость. Все указанные характеристики содействуют формированию надежных, масштабируемых и безопасных веб-сервисов, способных соответствовать потребностям пользователей.

Для визуализации архитектуры веб-сервиса была создана диаграмма использования с использованием нотации UML (рис. 1). На данном этапе выделены два основных участника: «Клиент», который осуществляет поиск вариантов перемещения от точки А до точки В, и «Администратор», ответственный за управление ключевыми компонентами веб-сервиса. Данная диаграмма включает возможные сценарии взаимодействия между актерами и системой, охватывая запросы клиента на поиск маршрутов и воздействие администратора на основные функциональные элементы сервиса.

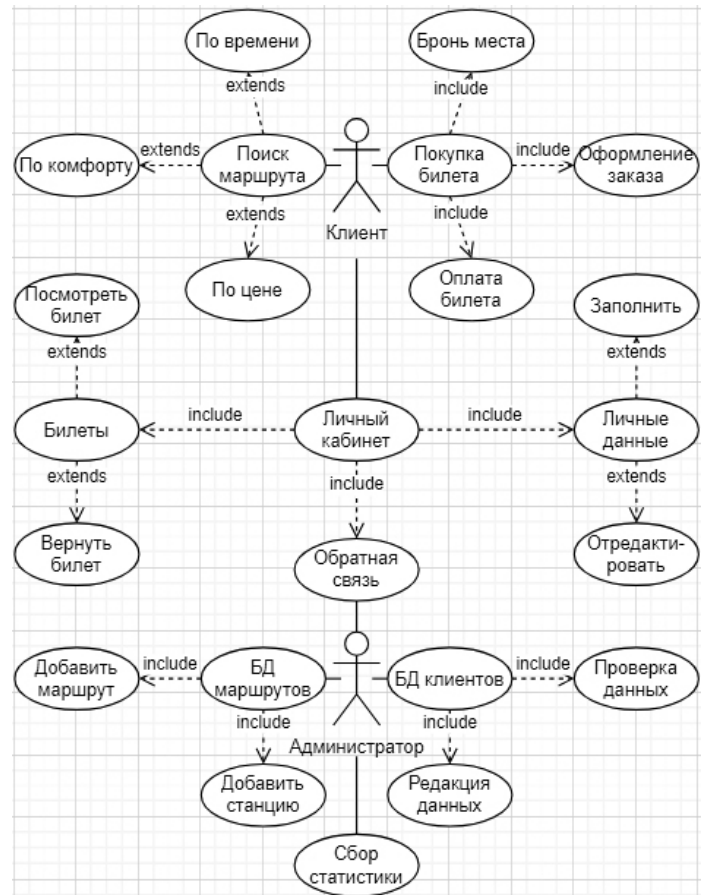


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

С учетом выявленных особенностей диаграммы вариантов использования переходим к созданию диаграммы компонентов (рис. 2). На упрощенном примере диаграммы отображены ключевые элементы веб-сервиса, такие как клиентский интерфейс, серверное приложение, база данных и др.

Рассмотрим архитектурный пример нашего веб-сервиса и обобщим ключевые аспекты, которые мы намерены воплотить в жизнь:

#### 1. Клиентский интерфейс (Frontend):

Инструмент: React.js — это фреймворк и библиотека JavaScript с открытым исходным кодом, разработанные Facebook. Он используется для быстрого и эффективного создания интерактивных пользовательских интерфейсов и веб-приложений с использованием значительно меньшего количества кода, чем при использовании обычного JavaScript.

#### 2. Бэкенд (Backend):

- управление пользователями;
- подбор маршрутов.

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

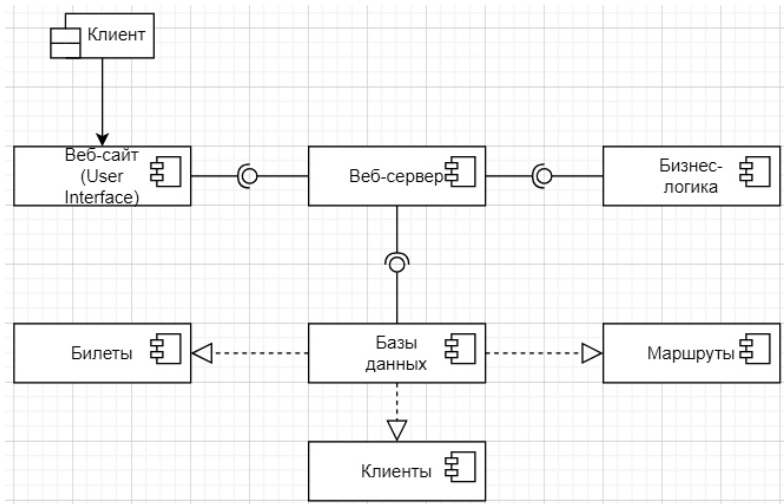
#### 3. Железнодорожные службы.

#### 4. Сервер приложений:

- обработка бизнес-логики;
- кэширование.

#### 5. База данных:

- хранение данных о пользователях;



**Рис. 2.** Диаграмма компонентов

- хранение данных о билетах;
- хранение данных о маршрутах.

Инструмент: PostgreSQL. Это быстро набирающая популярность система управления базами данных [9]. Об этом говорят не только результаты опросов разработчиков и предпринимателей, но и количество вакансий, в которых владение ею указывается среди необходимых навыков.

**6. Система безопасности:**

- шифрование данных;
- механизм аутентификации и авторизации.

**7. Мониторинг и аналитика:**

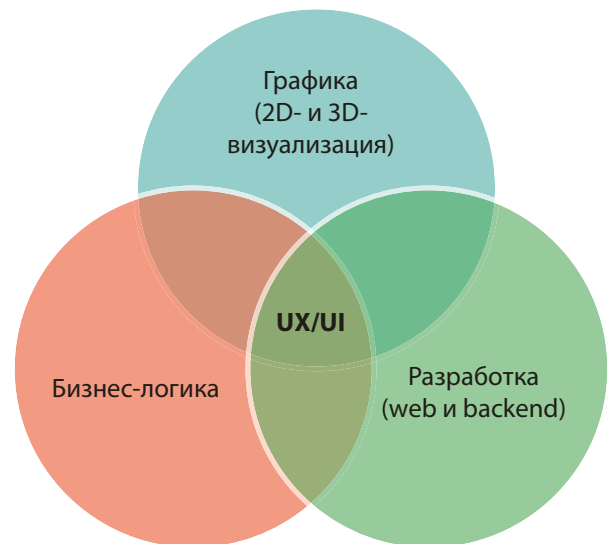
- система мониторинга производительности;
- аналитика использования.

По описанным ранее диаграммам и предполагаемой реализации можем представить алгоритм работы сервиса. При входе на веб-сайт пользователь регистрируется/аутентифицируется в системе. Это может включать в себя ввод личной информации, создание учетной записи и т.д. Далее пользователь взаимодействует с UI и выбирает маршрут (отправление и прибытие) и дату поездки (UX). Затем система осуществляет поиск доступных билетов для выбранного маршрута и даты. После нахождения возможных вариантов пользователь просматривает список доступных билетов, может отфильтровать результаты и выбрать подходящий билет. После выбора билета пользователь оформляет заказ, вводит необходимую информацию (пассажирские данные, контактная информация и т.д.). Однако данная реализация будет сложна в контексте реализации сервиса (нам могут потребоваться различные API от самого РЖД), так что данный процесс мы заменим на выдачу гиперссылок на сайт «Российских железных дорог», где будут представлены предложенные системой маршруты.

**ОПТИМИЗАЦИЯ USER INTERFACE / USER EXPERIENCE**

**В ВЕБ-СЕРВИСЕ ПО ПОИСКУ Ж/Д БИЛЕТОВ**

Дизайн интерфейса пользователя (user interface) и пользовательский опыт (user experience) стали ключевыми факторами для успешного взаимодействия с веб-приложениями.



**Рис. 3.** Сфера UX/UI

В UI важными являются все элементы, с которыми пользователь взаимодействует (кнопки, дизайн и т.д.), в то время как UX представляет собой общее восприятие и удовлетворение пользователя от использования продукта (удобство навигации, интуитивность, простота и т.д.) [7].

Перечислим основные шаги разработки интерфейса веб-сервиса через призму веб-дизайна. На первом этапе необходимо понять основы этих двух компонентов, а именно: как они сочетаются для формирования полноценного веб-дизайна. Обеспечение положительного пользовательского опыта начинается с тщательного изучения пользователей и их потребностей. Исследование пользовательского поведения позволяет создавать дизайн, соответствующий ожиданиям аудитории и способствующий ее удовлетворению. На этапе освоения основ UI и UX понимание взаимодействия между ними помогает сформировать гармоничный пользовательский интерфейс, который дополняет общее восприятие продукта.

Чтобы привлечь внимание пользователя, используются различные дизайн-приемы. Элементы, выделенные яркими цветами, могут привлечь внимание к ключевым частям интерфейса. Контраст и правильный выбор шрифтов также играют решающую роль в создании визуально привлекательного дизайна. Применение этих приемов поможет нам акцентировать внимание потенциальных гостей веб-сервиса на важных частях интерфейса и делает процесс взаимодействия более удобным для пользователя. Создание интуитивно понятного интерфейса становится все более критичным для успешного веб-дизайна. Интуитивный интерфейс — это тот, который работает так, как ожидает пользователь [4]. Оптимальная навигация и правильное распределение элементов значительно повышают уровень комфорта пользователя при взаимодействии с продуктом. Этот аспект дизайна не только улучшает общий пользовательский опыт, но также повышает эффективность использования интерфейса.

Учтем вышесказанное и поясним, какие приоритеты будут расставлены в процессе разработки:

- интуитивность (удобная навигация по сайту, которая основана на ощущениях пользователей);
- привлекательность (привлечение внимания с помощью современных приемов веб-дизайна);
- адаптивность (один из методов обеспечения функциональности веб-страниц на устройствах разных размеров) [4];
- информативность (вся возможная информация будет доступна пользователю);
- простота и эффективность (легкие реализации, ускоряющие различные процессы функционирования сайта, а также время взаимодействия с ним пользователей);
- тестирования с пользователями.

Разработка качественного веб-дизайна требует глубокого понимания потребностей пользователей и их взаимодействия с нашим сервисом. Использование приемов привлечения внимания и интуитивного дизайна способствует созданию функционального, простого и удобного продукта, а проведение тестовых запусков и получение обратной связи помогают веб-сервису определять векторы дальнейшей разработки и улучшения качества предоставляемых услуг.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важность применения принципов UI/UX-дизайна для веб-сервисов по бронированию ж/д билетов неоспорима. Оптимизация пользовательского опыта и обеспечение безопасности данных являются ключевыми аспектами успешной реализации проекта. Постоянное совершенствование существующих сервисов и разработка новых функциональных и безопасных платформ необходимы для удовлетворения потребностей современного пользователя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. August 2023 U.S. Airline Traffic Data Up 8.4% from the Same Month Last Year // Bureau of Transportation Statistics. — 2023. — 13 November. URL: <http://www.bts.gov/newsroom/august-2023-us-airline-traffic-data-84-same-month-last-year> (дата обращения 15.11.2023).

2. Number of passengers traveling aboard Amtrak's railcars from FY 2013 to FY 2022 // Statista. URL: <http://www.statista.com/statistics/553288/ridership-north-america-amtrak> (дата обращения 15.11.2023).

3. The Omio Story // Omio Group. URL: <http://www.omio.com/corporate> (дата обращения 15.11.2023).

4. IxDF Design Compendium: The world's biggest collection of design knowledge // Interaction Design Foundation. URL: <http://www.interaction-design.org/literature/topics> (дата обращения 16.12.2023).

5. Wathan, A. Refactoring UI / A. Wathan, S. Sogor. — 2018. — 218 p. URL: <http://www.refactoringui.com> (дата обращения 16.12.2023).

6. Resources for Developers, by Developers: Documenting web technologies, including CSS, HTML, and JavaScript, since 2005 // MDN Web Docs. URL: <http://developer.mozilla.org/ru> (дата обращения 16.12.2023).

7. What's the difference between UX and UI design? // freeCodeCamp. — 2018. — 03 February. URL: <http://www.freecodecamp.org/news/whats-the-difference-between-ux-and-ui-design-2ca8d107de14> (дата обращения 24.12.2023).

8. Deep Dive into Modern Web Development // FullStackOpen. URL: <http://fullstackopen.com/en> (дата обращения: 17.12.2023).

9. Narizhnykh, D. MySQL vs PostgreSQL in 2023 // DBConvert. — 2023. — 01 February. URL: <https://dbconvert.com/blog/mysql-vs-postgresql> (дата обращения 03.12.2023).

10. Идентификация, Аутентификация, Авторизация. В чем же разница? // Хабр. — 2023. — 07 марта. URL: <http://habr.com/ru/articles/720842> (дата обращения 08.12.2023).

11. Figma: The Collaborative Interface Design Tool. URL: <http://www.figma.com> (дата обращения 23.12.2023).

12. Хеширование: разбираемся в деталях // GeekBrains. — 2022. — 15 декабря (дата обращения 15.11.2023).

13. Tutu.ru: Авиа, ЖД, билеты на автобус и туры онлайн. URL: <http://www.tutu.ru> (дата обращения 15.11.2023).

14. Официальный сайт ОАО «РЖД». URL: <http://www.rzd.ru> (дата обращения 15.11.2023).

15. Deutsche Bahn — Train Tickets. URL: <http://www.bahn.de> (дата обращения 15.11.2023).

16. Wanderu: Search and Compare Bus and Train Ticket. URL: <http://www.wanderu.com> (дата обращения 15.11.2023).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Баландин Евгений Геннадьевич** — студент 4 курса направления подготовки бакалавриата 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [baltatvik3@mail.ru](mailto:baltatvik3@mail.ru)

**Забродин Андрей Владимирович** — канд. ист. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [zabrodin@pgups.ru](mailto:zabrodin@pgups.ru)

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

# Applying UI/UX Design Principles for an Online Railway Ticket Booking Platform: Preparing for Web Service Deployment

E. G. Balandin, PhD A. V. Zabrodin

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

**Abstract.** A comprehensive overview of the development process of a web service for searching train tickets. Covers the key stages of design, from user mapping and analysis to the use of basic UI/UX design. Brief conclusions and justification for the need to create a web service.

**Keywords:** web service, railway tickets, User Interface, User Experience, design, architecture, authorization, framework, database, tools, security.

**For citation:** Balandin E. G., Zabrodin A. V. Applying UI/UX design principles for an online railway ticket booking platform: preparing for web service deployment // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No 1 (37). P. 78–83. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-78-83*

## REFERENCES

1. Bureau of Transportation Statistics. URL: <https://www.bts.gov/newsroom/august-2023-us-airline-traffic-data-84-same-month-last-year/> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
2. Number of passengers traveling aboard Amtrak's railcars from FY 2013 to FY 2022. URL: <https://www.statista.com/statistics/553288/ridership-north-america-amtrak/> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
3. The Omio Story. URL: <https://www.omio.com/corporate/> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
4. Top UX / UI Design Topics. URL: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/> (data obrashcheniya: 16.12.2023).
5. Wathan A., Schoger S. Refactoring UI. 2018.
6. Resources for Developers, by Developers. URL: <https://developer.mozilla.org/ru/> (data obrashcheniya: 16.12.2023).
7. What's the difference between UX and UI design? / URL: <https://www.freecodecamp.org/news/whats-the-difference-between-ux-and-ui-design-2ca8d107de14/> (data obrashcheniya: 24.12.2023).
8. Deep Dive Into Modern Web Development. URL: <https://fullstackopen.com/en/> (data obrashcheniya: 17.12.2023).
9. Sravnenie MySQL i PostgreSQL v 2023 godu. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/722304/> (data obrashcheniya: 03.12.2023). (In Russian)
10. Identifikaciya, Autentifikaciya, Avtorizaciya. V chem zhe raznica? / ProQualityCommunity // Habr. 2023. (In Russian)
11. Figma: The Collaborative Interface Design Tool. URL: <https://www.figma.com/> (data obrashcheniya: 23.12.2023).
12. Heshirovanie: razbiraemysya v detalyah / Redakciya sajta // GeekBrains. 2022. (In Russian)
13. Tutu.ru: Avia, ZHD, bilety na avtobus i tury onlajn. URL: <https://www.tutu.ru> (data obrashcheniya: 15.11.2023). (In Russian)
14. Passazhiram. URL: <https://www.rzd.ru> (data obrashcheniya: 15.11.2023). (In Russian)
15. Deutsche Bahn. URL: <https://www.bahn.de> (data obrashcheniya: 15.11.2023).
16. The simplest way to book bus and train travel. URL: <https://www.wanderu.com> (data obrashcheniya: 15.11.2023).

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Balandin Evgeny Gennadievich** — Bachelor's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [baltatvik3@mail.ru](mailto:baltatvik3@mail.ru)

**Zabrodin Andrey Vladimirovich** — PhD in History. Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [zabrodin@pgups.ru](mailto:zabrodin@pgups.ru)

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 17.03.2024.

# Изучение необязательной энергопередачи в сетях WLAN: проблемы и последние достижения

к. т. н. Мохаммед Шакер Махмуд

Министерство высшего образования и научных исследований  
Багдад, Ирак

канд. техн. наук Халил Маад Модхер

Университет Диялы,  
Баакуба, Ирак

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема необязательной передачи данных в сетях WLAN и представлен обзор работ, посвященных процессам передачи активного соединения с одного устройства связи на другое без прерывания сеанса связи, обозначаемых термином «handoff». Рассматриваются основные аспекты архитектуры WLAN, включая станции WLAN, точки доступа, базовые наборы услуг и систему распределения. Основное внимание уделяется методам оптимизации передачи данных, включая активное и пассивное сканирование, аутентификацию и повторную ассоциацию. Приводятся результаты предыдущих исследований, а также обсуждаются преимущества и недостатки различных методов оптимизации передачи данных в сетях WLAN.

**Ключевые слова:** WLAN, handoff, станции WLAN, точки доступа, базовые наборы услуг, активное сканирование, пассивное сканирование, аутентификация, повторная ассоциация.

**Для цитирования:** Махмуд Мохаммед Шакер, Модхер Халил Маад. Оптимизация передачи данных в сетях WLAN: анализ проблемы ненужной передачи и последние достижения // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 84–92. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-84-92

## ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network) стали неотъемлемой частью современных информационных технологий. Однако проблема ненужной передачи данных в сетях WLAN остается актуальной и требует дальнейших исследований. В данной статье проводится анализ архитектуры WLAN, методов оптимизации передачи данных и последних достижений в области решения проблемы ненужной передачи.

Беспроводная локальная сеть — это метод беспроводного распространения данных для двух или более устройств, использующих высокочастотные радиоволны и часто включающих в себя точку доступа к Интернету [1]. WLAN позволяет пользователям перемещаться по зоне покрытия, часто по дому или небольшому офису, сохраняя при этом

сетевое соединение [2]. Каждый компонент, подключающийся к WLAN, считается станцией и относится к одной из двух категорий: точки доступа и клиенты. WLAN: обеспечивает беспроводное сетевое взаимодействие на небольших расстояниях, используя радио- или инфракрасные сигналы вместо старых сетевых кабелей. Благодаря простоте установки и растущей популярности портативных компьютеров, сети WLAN получили широкое распространение в последние два десятилетия [2].

## Архитектура WLAN

Архитектура 802.11 включает в себя несколько факторов и сервисов, которые взаимодействуют между собой, обеспечивая станцию связью и мобильностью. Многие оборудование относится к среде WLAN. WLAN станция (STA) или мобильная станция MS (Mobile Station) на этом устройстве. Также точка доступа использует для передачи цифрового сигнала и позволяет MS подключаться и пользоваться услугами WLAN [3]. Существует множество точек доступа, охватывающих область подключения, эта расширенная коллекция получила название Basic Service Set (BSS) [4]. Все эти устройства должны подключаться к расширенному набору услуг из разных BSS, соединяясь с одной магистралью.

## Станция WLAN

Станция WLAN (WLAN STA или просто STA) — это устройство, способное использовать протоколы 802.11. Например, станция может быть ноутбуком, настольным устройством или Wi-Fi телефоном. Обычно в беспроводной среде станции, беспроводные клиенты и узлы используются взаимозаменяемо, поэтому они считаются основной частью оборудования беспроводной сети. STA — это устройство, которое может предложить функциональность 802.11. Также реализует управление доступом к среде (MAC) и физический уровень (PHY) стандарта 802.11 [5].

## Точка доступа WLAN

Точка доступа WLAN — это, по сути, станция WLAN, но с дополнительными частями для поддержки мостового

соединения (то есть пересылки на втором уровне) и управления 802.11 [6]. В результате точки доступа работают для поддержки доминанты передатчика и приемника беспроводных радиосигналов, считая Wi-Fi. Точки доступа всегда используются для поддержки публичного Интернета, например хот-спотов.

**Базовый набор услуг (BSS)**

Инфраструктурный базовый набор услуг — это группа станций IEEE 802.11, закрепленных за точкой доступа и организованных для связи друг с другом по воздушной линии. Обычно это называется BSS, как показано на рисунке 1. Механизм BSS контролирует доступ к ресурсам и услугам точки доступа. Кроме того, он позволяет радиостанции отсеивать транспорт от других не связанных с ней радиостанций, находящихся поблизости. Сначала портативное устройство прослушивает кадр маяка от точки доступа, а затем разделяет BSS через ряд взаимодействующих шагов, которые включают аутентификацию и ассоциацию. Как показано на рис. 1, стандарт IEEE позволяет администратору логически объединить набор из одной или нескольких взаимосвязанных BSS в один ESS (Extended Service Set). ESS представляется сигнальной BSS на уровне LLC (Logical Link Control) для любой станции, связанной с одной из этих BSS.

**Система распределения (DS)**

Назначение системы распределения DS (Distribution System) можно характеризовать так. В классическом случае большие площади или все помещения здания должны быть покрыты WLAN для обеспечения доступа в каждой точке требуемой зоны. Чтобы достичь этого, необходимо использовать более одной точки доступа для покрытия всей территории, а также обеспечить возможность роуминга между несколькими точками доступа и подключения к ресурсам проводной сети, стандарт 802.11 определяет DS, которая обеспечивает проводное соединение между точками доступа. DS соединяет точки доступа, пересылает трафик и облегчает перемещение MS в пределах большой территории [7].

**Расширенный набор услуг (ESS)**

Расширенный набор услуг [8] — это часть взаимосвязанных базовых наборов услуг и прикрепленных к ним локальных сетей. Каждый базовый набор услуг состоит из одной точки доступа, объединенной со всеми станциями беспроводных клиентских устройств, также называемыми STA, создающими локальную или корпоративную беспроводную сеть 802.11 (WLAN), как показано на рис. 2. Для целей уровня управления логическим каналом (часть уровня 2 7-уровневой эталонной модели OSI) ESS выступает в качестве одинокой BSS для любой из STA [9].

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА**

**Вертикальная передача**

При вертикальной передаче мобильный узел MN (Mobile Node) перемещается между различными типами сетевых технологий, например между IEEE 802.11 WLAN

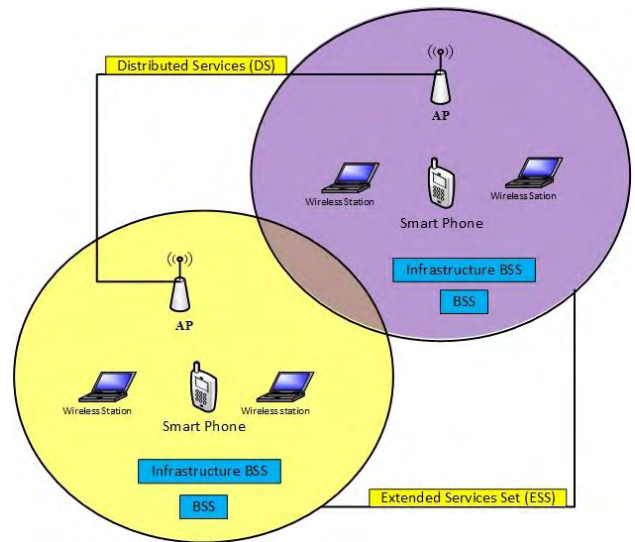


Рис. 1. Расширенный набор услуг — ESS

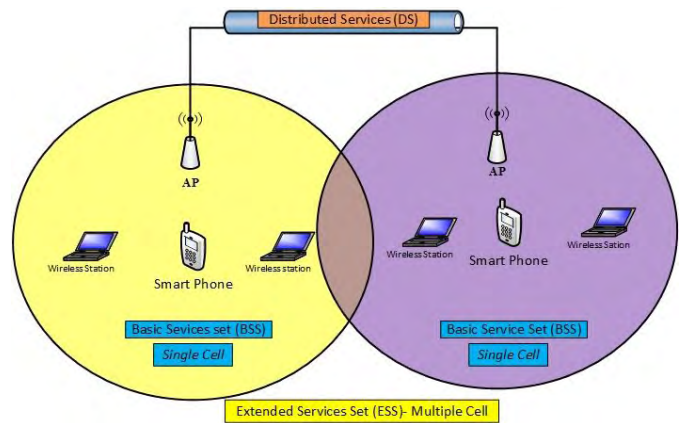


Рис. 2. Типовая архитектура сети WLAN

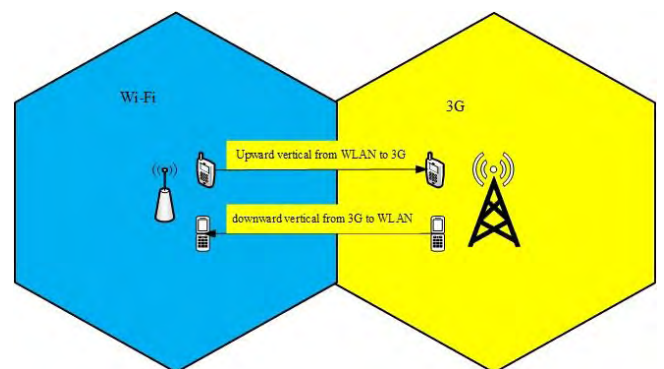


Рис. 3. Вертикальная передача

и сотовой сетью 3G [10, 11], как показано на рис. 2.1. Вертикальная передача делится на две категории: нисходящая вертикальная передача и восходящая вертикальная передача. Нисходящая вертикальная передача включает в себя то, что MN переключает свое соединение с большой соты на малые соты. С другой стороны, восходящая вертикальная передача заключается в том, что MN переключает свое

соединение с малой ячейки на большую. Например, в сети WLAN/4G нисходящая вертикальная передача — это передача от 4G к WLAN, а восходящая вертикальная передача — это передача от WLAN к 4G.

*Горизонтальная передача*

При горизонтальной передаче MN передается между сетями одного типа, технологиями, такими как WLAN к WLAN, или сеть 4G к сети 4G [12], как показано на рис. 4. При горизонтальной передаче существует несколько критериев (например, соотношение сигнал/шум (SNR), доступность канала и коэффициент битовых ошибок [13]. Горизонтальная передача делится на две категории: внутрисотовые и межсотовые передачи. При внутрисотовом хэндовере изменения происходят только в радиоканалах внутри соты, чтобы минимизировать межканальную интерференцию. При межсотовом хэндовере изменяется все соединение от исходной точки доступа к целевой точке доступа, когда MN переходит между двумя соседними сотами.

**ПРОЦЕСС ПЕРЕДАЧИ**

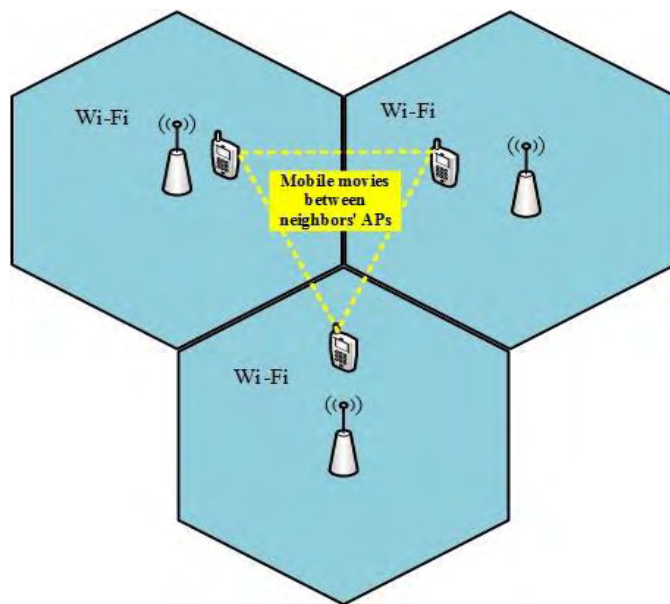
Обработка передачи делится на три фазы: сканирование, аутентификация и повторная ассоциация. Фаза сканирования может быть выполнена двумя способами: пассивным и активным в соответствии со стандартом IEEE 802.11. В процессе аутентификации происходит обмен кадрами аутентификации для выбора учетных данных станции с целью получения разрешения на соединение с новой точкой доступа. С другой стороны, аутентификация открытой системы — это процесс нулевой аутентификации, при котором MN, или клиент, всегда успешно аутентифицируется с точкой доступа, то есть точка доступа разрешает всем успешно аутентифицироваться. Процесс повторного подключения позволяет точке доступа выделять ресурсы и синхронизироваться с MN. Таким образом, процесс передачи состоит из трех фаз (сканирование, аутентификация и повторная ассоциация).

*Задержка сканирования*

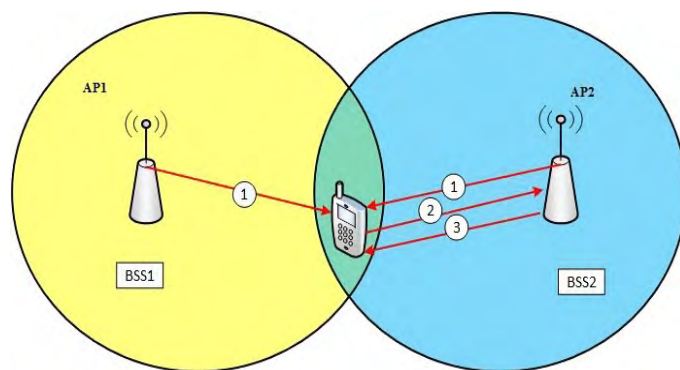
Задержка сканирования занимает время, в течение которого мобильный узел сканирует канал в поисках лучшего сигнала. Сканирование всех каналов в области базового набора услуг (BSS) сделает передачу и время задержки, пока MS настроит, чтобы подключиться к AP. Сканирование делится на части, пассивное сканирование и активное сканирование. Пассивное сканирование — это отправка запроса маяка каждые 100 мс точкой доступа [14]. С другой стороны, активное сканирование отправляет запрос на AP через MS и ждет, пока не будет получен ответ зонда. В результате существует два типа фаз сканирования для обнаружения сигнальной точки доступа и установления с ней связи: пассивное и активное сканирование.

*Пассивное сканирование*

На рис. 5 показано, что MN прослушивает сообщения маяка, периодически передаваемые точками доступа. Сообщение маяка содержит необходимую информацию, та-



**Рис. 4.** Горизонтальная передача



**Рис. 5.** Пассивное сканирование

кую как BSSID, интервал маяка, скорость поддержки и т. д. Эта информация используется MN для выбора наилучшей доступной точки доступа. Кроме того, MS, использующий пассивное сканирование, должен ждать в течение времени, называемого максимальным временем канала, на каждом канале, чтобы собрать все сообщения маяка, отправленные различными точками доступа. После сканирования всех каналов маяки будут обработаны и будет выбрана лучшая точка доступа. Пассивное сканирование увеличивает время задержки передачи, поскольку MS приходится сканировать все доступные каналы. С другой стороны, использование пассивного сканирования снижает потребление энергии и пропускной способности.

Таким образом, активную фазу сканирования можно объяснить следующими шагами:

1. Кадры маяка посылаются от точки доступа, MN сканирует все каналы, чтобы найти все возможные кадры маяка от точек доступа в данном месте.
2. Кадр запроса ассоциации отправляется от MN для выбора точки доступа.
3. Кадр ответа ассоциации отправляется от выбранной точки доступа к MN.

*Активное сканирование*

Активное сканирование означает, что мобильный узел будет отправлять широковещательные запросы-зонды на точки доступа и ждать, пока ответ-зонд не поступит от всех достижимых точек доступа, в сообщении активно-го сканирования включаются BSSID, SSID и т. д., как показано на рис. 6, в течение определенного периода времени, если мобильный узел не может обнаружить никакого ответа от любой точки доступа. Таким образом, он переключится на другой канал. С другой стороны, если MN получит ответ зонда, MS выберет новую точку доступа в зависимости от информации, полученной от соответствующей точки доступа и лучшего качества канала. Активное сканирование может уменьшить время ожидания мобильного узла. Однако при этом увеличивается потребление энергии и пропускной способности.

Таким образом, фаза активного сканирования может быть объяснена следующими шагами:

- 2.5 Кадр запроса зонда, передаваемый из MN.
- 2.6 Кадр ответа зонда, отправленный от точек доступа.
- 2.7 Запрос ассоциации, отправленный от MN к выбранной точке доступа.
- 2.8 Кадр ответа ассоциации, отправленный от выбранной точки доступа к MN.

*Повторная аутентификация*

Одна из причин, по которой происходит передача, — повторная аутентификация. Мобильный узел должен пройти повторную аутентификацию, когда он переходит от старой точки доступа к новой. Повторная аутентификация позволяет установить соединение между мобильным узлом и новой точкой доступа и разрешить доступ к услугам, установленным на точке доступа. Существует два типа аутентификации: открытая аутентификация и аутентификация с общим ключом.

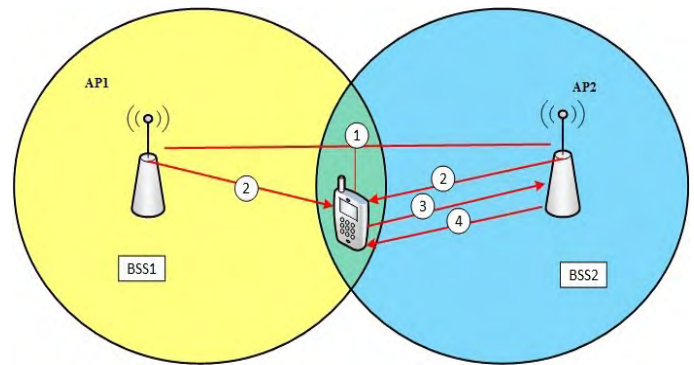
*Повторная ассоциация*

Процесс повторной ассоциации происходит, когда мобильный узел устанавливает новое соединение с новой точкой доступа. В этом процессе мобильный узел отправляет ассоциацию с новой точкой доступа. Новая точка доступа получит ассоциацию от мобильного узла и повторно отправит его старой точке доступа, чтобы получить контекст безопасности, такой как (ключ шифрования, номер последовательности, качество обслуживания (QoS)). В течение этого времени мобильному узлу придется ждать ответного сообщения от точки доступа, что приведет к задержке передачи. На рис. 7 показаны все фазы процесса передачи.

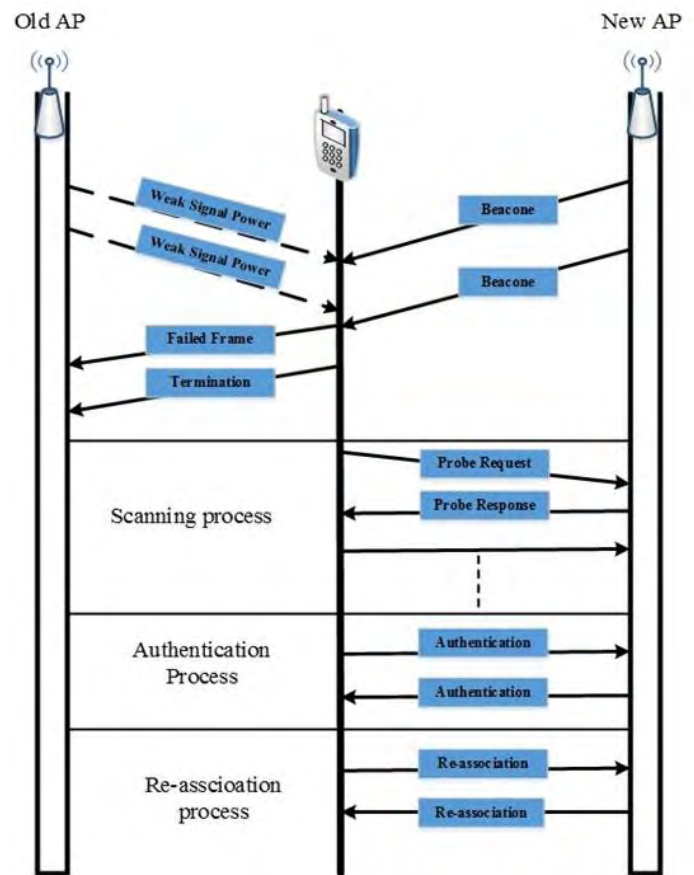
**КРИТЕРИИ ПЕРЕДАЧИ**

*Мощность принимаемого сигнала*

Этот параметр является простым, прямым и общепринятым. Существует тесная связь между RSS и расстоянием между точкой доступа и MN. Недостатком этих параметров является неспособность учитывать ко-канальные помехи. Многие факторы (например, топографические изменения, затенение из-за зданий и многолучевые замирания) могут вызывать отклонения услуг зоны покрытия точки доступа от запланированных услуг зоны покрытия. Таким образом,



**Рис. 6.** Активное сканирование



**Рис. 7.** Шаги по установлению связи с новой точкой доступа

колебания RSS также могут привести к увеличению количества ненужных передач.

*Расстояние*

Этот критерий позволяет определить расстояние от точки доступа до MN. Оценка расстояния может основываться на измерениях RSS или задержке между RSS, полученными от разных точек доступа. Измерение расстояния может улучшить производительность передачи. Кроме того, оценка расстояния может помочь алгоритму передачи определить MN и избежать ненужной передачи при колебаниях RSS. Таким образом, поскольку будущая система должна будет определять информацию о поло-



жении MN, измерение расстояния будет использоваться в качестве критерия передачи.

**Скорость**

Скорость считается важным параметром в алгоритме передачи, особенно для систем пересечения и алгоритмов, адаптирующихся к скорости. Алгоритм передачи использует критерий скорости для изменения параметра передачи. Адаптивный метод изменения среднего интервала в алгоритме передачи для малых и больших ячеек представлен в [4]. Изменение скорости MN может повлиять на решение о передаче, что приведет к ошибкам при инициации передачи. Таким образом, многие исследователи изучали и анализировали влияние изменения скорости на решение о передаче.

**ПРЕДЫДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Важность предотвращения ненужной передачи заставляет многих исследователей проводить исследования в этой области, чтобы улучшить, создать или усовершенствовать алгоритмы и механизмы для решения различных проблем, связанных с этой областью. Ненужная передача считается основной проблемой в WLAN, которая происходит между MN и точками доступа. Эта ненужная передача влияет на производительность WLAN, поскольку она расходует ресурсы сети и сервисов, и другие связанные с этим проблемы. Поэтому в данном обзоре литературы многие исследователи изучали проблему ненужной передачи и способы ее решения, в этих исследованиях использовалось множество способов и методов для решения проблемы ненужной передачи и ее влияния на WLAN.

В работе [15] представлена схема оценки начального пути передачи для MN, перемещающегося от точки доступа к другой точке. Геометрическая модель основана на угле прибытия и угле отхода. Предлагая совершенно разные между углом прибытия и углом отправления в  $[0, 2\pi]$  WLAN расстояние обхода, оценивается и пороговое значение расстояния, которое получает, что контроль вероятности неудачи и ненужных передачи. MN передается в целевую ячейку WLAN только в том случае, если расстояние прохождения больше порогового значения. Пороговое значение зависит от, например, скорости, радиуса покрытия и заранее рассчитанного значения вероятности ненужной и неудачной передачи.

В методе [16] расстояние перемещения MN определяется последовательным измерением RSS, а скорость перемещения ( $v$ ) определяется с помощью акселерометра, встроенного в MN. Это расчетное расстояние затем сравнивается с L1, которое представлено (порог расстояния для минимизации отказов передачи), и L2, которое описано (порог расстояния для минимизации ненужных передач) для принятия решения о передаче. Несмотря на то что этот метод уменьшает количество ненужных передач, расчетное расстояние от MN до AP, которое оценивается по RSS, не очень точно, а скорость MN, которая принимается постоянной, не очень реалистична. Предлагается схема уменьшения ненужной передачи путем минимизации списка соседей для уменьшения числа приемлемых ближайших соседей базовой станции (БС) для объединения БС. В зависимости от предикатного положения

Таблица

Обобщенные результаты смежных работ

Год	Преимущество	Недостаток
Yan, et al., 2008a	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сведение к минимуму вероятности отказа при передаче, ненужной передаче и поломке соединения.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дополнительная задержка передачи.</li> </ul>
Yan, et al., 2008b	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уменьшение вероятности возникновения ложной передачи и неудачи передачи.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышенная сложность системы.</li> </ul>
Chen, et al., 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>Снижение вероятности передачи без необходимости;</li> <li>баланс между транспортными нагрузками.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышенная вероятность разрушения соединения без учета RSS.</li> </ul>
Mahmood, et al., 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышение степени удовлетворенности пользователей;</li> <li>небольшой объем не является необходимым;</li> <li>вероятность передачи;</li> <li>уменьшение числа поломок соединения.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Отсутствие подробной информации, такой как метод нормализации и присвоение весов, для обеспечения реалистичности алгоритма;</li> <li>алгоритм флажка;</li> <li>сложность.</li> </ul>
Hussain, et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сводит к минимуму случаи передачи, ненужные передачи;</li> <li>уменьшение числа поломок соединения.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышенная сложность системы;</li> <li>увеличение задержки с передачей.</li> </ul>
Sung, et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Низкий коэффициент отказов при передаче в связи с распределением расчетов решения;</li> <li>высокая пропускная способность;</li> <li>сохранить ресурсы канала.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышенная сложность системы;</li> <li>таблица дополнительного поиска.</li> </ul>

MN, области перемещения и «времени пребывания» (TTS), которые были определены для того, чтобы обслуживающая базовая станция (SBS) могла решить, является ли BS подходящей соседней BS или нет. Соответствующие соседние базовые станции включаются в список соседей, который используется MN для выбора целевой базовой станции. Таким образом, каждый MN самостоятельно выбирает мощность передачи и связь с БС с помощью сложной функции стоимости, чтобы максимизировать пропускную способность и уменьшить количество ненужных переключений.

В работе [17] предложен алгоритм передачи данных для сокращения ненужных и неудачных передач. Он основан на оценке времени пребывания и вычислении порогового значения для MN, когда он перемещается от точки к точке

в WLAN. Кроме того, он оказался неэффективным для скоростей выше 30 км/ч.

В работе [18] предложена схема запуска на основе множественных порогов, названная МТТ, чтобы уменьшить количество отказов и ненужных переключений. Концепция алгоритма передачи зависит от принятия ряда параметров сети, таких как требования к производительности системы, радиус покрытия WLAN, мобильность пользователей и задержки передачи, МТТ вычисляет три значения и сравнивает их с прогнозируемым временем пребывания пользователя и оценкой времени удержания канала внутри зоны покрытия WLAN.

Служебные передачи, которые не удовлетворяют требованиям трех пороговых значений, будут отклонены МТТ, чтобы быть принятыми в WLAN, когда они могут столкнуться с прерыванием связи во время процесса передачи, или окажутся необязательными из-за ограниченного времени обслуживания. Метод МТТ успешно снижает количество отказов и необязательного трафика ниже желаемого уровня.

В работе [19] предложен механизм оптимизации метода оценки необходимости хэндоффа, состоящий из двух частей, первая часть измеряет «время в пути», которое зависит от последовательных измерений RSS и скорости MN. Алгоритм второй части оценивает «порог времени», который зависит от радиуса ячейки WLAN, допустимой вероятности отказа передачи и допустимой вероятности ненужной передачи. В табл. 1 обобщены работы, связанные с этой темой. Рассматривая эту таблицу, можно увидеть, что в сравнении шести исследовательских работ обсуждалось, какие методы используются для решения проблемы ненужного хэндовера. Также в таблице перечислены преимущества и недостатки каждого метода.

Наконец, в результате применения вышеперечисленных методов можно сказать, что лучшим методом, используемым для решения проблемы ненужной передачи, является метод, предложенный в [18], где использован новый метод Multiple-Threshold based Triggering (МТТ), который включает три пороговых значения, одно для минимизации отказов при передаче, другое для ненужной передачи и последний порог минимального удержания канала. Таким образом, каждый порог в алгоритме передачи имеет свою функцию и делает алгоритм более реалистичным. Однако в данном алгоритме передачи используется фиксированная скорость ведьмы, что снижает надежность алгоритма передачи. Кроме того, увеличивается сложность алгоритма.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как отмечено выше, неудача и успех зависят от выбора требований и техники, которая используется в работе. Таким образом, существует множество различных методов и идей, которые применялись, и каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Но все эти способы сосредоточены на одной стороне проблемы, как уменьшить необязательную передачу данных и энергии. В результате, сформулированное в статье предложение направлено на разработку и реализацию способа уменьшения необязательной передачи и экономии ресурсов сети и сервисов.

Исследование проблемы ненужной передачи данных в сетях WLAN позволяет выявить основные проблемы и недостатки существующих методов оптимизации передачи данных. На основе обзора предыдущих исследований можно сделать вывод о необходимости разработки более эффективных методов оптимизации передачи данных в сетях WLAN. Дальнейшие исследования в этой области позволят улучшить производительность и надежность сетей WLAN, а также снизить нагрузку на ресурсы сети и сервисов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A Sensor-Based Seamless Handover Solution for Express Train Access Networks (ETANs) / G. Hu, A. Huang, T. Chang, [et al.] // IEEE Communications Letters. 2012. Vol. 16, Is. 4. Pp. 470–472. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.030512.112580.
2. Sabrie, O. H. Fast Handoff for 802.11 Wireless Network / O. H. Sabrie, H. S. Hasan, R. Salleh // Communications and Network. 2011. Vol. 3, No. 4. Pp. 250–256. DOI: 10.4236/cn.2011.34029.
3. Fast Handoff Implementation Using Distance Measurements Between Mobile Station and Aps / D. Sarddar, J. Banerjee, T. Chakraborti, [et al.] // Proceedings of the IEEE Students' Technology Symposium (TechSym), (Kharagpur, India, 14–16 January 2011). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. — Pp. 81–86. DOI: 10.1109/TECHSYM.2011.5783806.
4. Per-Node Throughput Enhancement in Wi-Fi Densets / K. Shin, I. Park, J. Hong, [et al.] // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53, Is. 1. Pp. 118–125. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7010524.
5. Larroca, F. An Overview of WLAN Performance, Some Important Case-Scenarios and Their Associated Models / F. Larroca, F. Rodríguez // Wireless Personal Communications. 2014. Vol. 79, Is. 1. Pp. 131–184. DOI: 10.1007/s11277-014-1846-4.
6. Jiang, D. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments / D. Jiang, L. Delgrossi // VTC Spring 2008: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (Marina Bay, Singapore, 11–14 May 2008). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008. — Pp. 2036–2040. DOI: 10.1109/VETECS.2008.458.
7. Tran, N. H. Cross-Layer Design of Congestion Control and Power Control in Fast-Fading Wireless Networks / N. H. Tran, C. S. Hong, S. Lee // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2013. Vol. 24, Is. 2. Pp. 260–274. DOI: 10.1109/TPDS.2012.118.
8. Camp, J. D. The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard / J. D. Camp, E. W. Knightly // IEEE Communications Magazine. 2008. Vol. 46, Is. 8. Pp. 120–126. DOI: 10.1109/MCOM.2008.4597114.
9. Sudarev, J. V. 802.11 Wireless Network Extended Service Set Model / J. V. Sudarev, L. B. White // Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks (Oulu, Finland, 31 May-03 June 2004). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004. — Pp. 156–160. DOI: 10.1109/IWWAN.2004.1525561.

10. Zhou, Y. Handover Schemes and Algorithms of High-Speed Mobile Environment: A Survey / Y. Zhou, B. Ai // Computer Communications. 2014. Vol. 47. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.

11. Alsamhi, S.H. An Intelligent Hand-off Algorithm to Enhance Quality of Service in High Altitude Platforms Using Neural Network / S.H. Alsamhi, N.S. Rajput // Wireless Personal Communications. 2015. Vol. 82, Is. 4. Pp. 2059–2073. DOI: 10.1007/s11277-015-2333-2.

12. Bringing 4G LTE Closer to Students: A Low-Cost Testbed for Practical Teaching and Experimentation / E. de Britto e Silva, N. Slamnik-Kriještorac, S.A. Hadiwardoyo, J.M. Marquez-Barja // GoodTechs '20: Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good (Antwerp, Belgium, 14–16 September 2020). — Association for Computing Machinery, 2020. — Pp. 126–131. DOI: 10.1145/3411170.3411231.

13. Implementation of Non-periodic Sampling True Random Number Generator on FPGA / T. Tuncer, E. Avaroglu, M. Türk, A.B. Ozer // Informacije MIDEM— Journal of Microelectronics Electronic Components and Materials. 2014. Vol. 44, No. 4. Pp. 296–302.

14. Improving the Performance of WLANs by Reducing Unnecessary Active Scans / D. Jaisinghani, V. Naik, S.K. Kaul, [et al.] // ArXiv. 2018. Vol. 1807.05523, 14 p. DOI: 10.48550/arXiv.1807.05523.

15. Yan, X. A Traveling Distance Prediction Based Method to Minimize Unnecessary Handovers from Cellular Networks to WLANs / X. Yan, N. Mani, Y.A. Sekercioglu // IEEE Communications Letters. 2008. Vol. 12, Is. 1. Pp. 14–16. DOI: 10.1109/LCOMM.2008.071430.

16. Speed-Based Probability-Driven Seamless Handover Scheme Between WLAN and UMTS / Z. Yan, H. Zhou, H. Zhang, S. Zhang // Proceedings of the 4th International

Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (Wuhan, China, 10–12 December 2008). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008. — Pp.110–115. DOI: 10.1109/MSN.2008.26.

17. Energy Efficiency in Cognitive Radio Network Using Cooperative Spectrum Sensing Based on Hybrid Spectrum Handoff / K. Arshid, Z. Jianbiao, I. Hussain, [et al.] // Egyptian Informatics Journal. 2022. Vol. 23, Is. 4. Pp. 77–88. DOI: 10.1016/j.eij.2022.06.008.

18. Chen, J. Coverage and Handoff Analysis of 5G Fractal Small Cell Networks / J. Chen, X. Ge, Q. Ni // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2019. Vol. 18, Is. 2. Pp. 1263–1276. DOI: 10.1109/TWC.2018.2890662.

19. An Optimized Travelling Time Estimation Mechanism for Minimizing Handover Failures from Cellular Networks to WLANs / A. Mahmood, H. Zen, A. K. Othman, S.A. Siddiqui // Proceedings of the 2015 International Conference on Estimation, Detection and Information Fusion (ICEDIF), (Harbin, China, 10–11 January 2015). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015. — Pp. 28–33. DOI: 10.1109/ICEDIF.2015.7280152.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Махмуд Мохаммед Шакер** — кандидат технических наук. Управление по связям со стипендиями и культурой. Министерство высшего образования и научных исследований Ирака, Багдад, Ирак; mohammedshakir@scrdiraq.gov.iq

**Халил Маад Модер** — кандидат технических наук. Факультет компьютерных наук, Университет Диялы, Баакуба, Ирак; Maad.khalil@uodiyala.edu.iq

Статья поступила в редакцию 17.02.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

# Investigating Unnecessary Handoff in WLAN Networks: Challenges and Recent Advances

PhD Mahmood Mohammed Shakir

Ministry of Higher Education and Scientific Research.  
Baghdad, Iraq

PhD Khalil Maad Modher

University of Diyala.  
Baquba, Iraq

**Abstract.** Recently, the issue of unnecessary handoff in WLAN networks has been the subject of recent research efforts. WLANs are designed to provide high-speed connectivity in a limited area, similar to their wired counterparts. The IEEE 802.11 Standard has become widely adopted for wireless LANs. The handoff algorithm allows mobile nodes to switch between access points (APs) as they move between areas serviced by different APs. However, determining when to initiate a handoff poses challenges, particularly concerning unnecessary handoffs. Many researchers have investigated this issue and have proposed mechanisms to address it. Thus, this study focuses on reviewing the related works about handoff and discusses the challenges and recent advances.

**Keywords:** WLAN, Handoff, 3G, 4G, access points, networks.

**For citation:** Mahmood Mohammed Shaker, Khalil Maad Modher. Investigating Unnecessary Handoff In Wlan Networks: Challenges And Recent Advances // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 84–92 (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-84-92

## REFERENCES

1. Hu G., Huang A., Chang T., et al. A Sensor-Based Seamless Handover Solution for Express Train Access Networks (ETANs), *IEEE Communications Letters*, 2012, Vol. 16, Is. 4, Pp. 470–472. DOI: 10.1109/LCOMM.2012.030512.112580.
2. Sabrie O.H., Hasan H.S., Salleh R. Fast Handoff for 802.11 Wireless Network, *Communications and Network*, 2011, Vol. 3, No. 4, Pp. 250–256. DOI: 10.4236/cn.2011.34029.
3. Sarddar D., Banerjee J., Chakraborti T., et al. Fast Hand-off Implementation Using Distance Measurements Between Mobile Station and Aps, *Proceedings of the IEEE Students' Technology Symposium (TechSym), Kharagpur, India, January 14–16, 2011*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, Pp. 81–86. DOI: 10.1109/TECHSYM.2011.5783806.
4. Shin K., Park I., Hong J., et al. Per-Node Throughput Enhancement in Wi-Fi Densenets, *IEEE Communications Magazine*, 2015, Vol. 53, Is. 1, Pp. 118–125. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7010524.
5. Larroca F., Rodríguez F. An Overview of WLAN Performance, Some Important Case-Scenarios and Their Associated Models, *Wireless Personal Communications*, 2014, Vol. 79, Is. 1, Pp. 131–184. DOI: 10.1007/s11277-014-1846-4.
6. Jiang D., Delgrossi L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments, *VTC Spring 2008: Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, May 11–14, 2008*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, Pp. 2036–2040. DOI: 10.1109/VETECS.2008.458.
7. Tran N.H., Hong C.S., Lee S. Cross-Layer Design of Congestion Control and Power Control in Fast-Fading Wireless Networks, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2013, Vol. 24, Is. 2, Pp. 260–274. DOI: 10.1109/TPDS.2012.118.
8. Camp J.D., Kightly E.W. The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard, *IEEE Communications Magazine*, 2008, Vol. 46, Is. 8, Pp. 120–126. DOI: 10.1109/MCOM.2008.4597114.
9. Sudarev J.V., White L.B. 802.11 Wireless Network Extended Service Set Model, *Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, Oulu, Finland, May 31–June 03, 2004*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004, Pp. 156–160. DOI: 10.1109/IWWAN.2004.1525561.
10. Zhou Y., Ai B. Handover Schemes and Algorithms of High-Speed Mobile Environment: A Survey, *Computer Communications*, 2014, Vol. 47, Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.04.005.
11. Alsamhi S.H., Rajput N.S. An Intelligent Hand-off Algorithm to Enhance Quality of Service in High Altitude Platforms Using Neural Network, *Wireless Personal Communications*, 2015, Vol. 82, Is. 4, Pp. 2059–2073. DOI: 10.1007/s11277-015-2333-2.
12. de Britto e Silva E., Slamnik-Kriještorac N., Hadiwardoyo S.A., Marquez-Barja J.M. Bringing 4G LTE Closer to Students: A Low-Cost Testbed for Practical Teaching and Experimentation, *GoodTechs '20: Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good, Antwerp, Belgium, September 14–16, 2020*. Association for Computing Machinery, 2020, Pp. 126–131. DOI: 10.1145/3411170.3411231.
13. Tuncer T., Avaroglu E., Türk M., Ozer A.B. Implementation of Non-periodic Sampling True Random Number Genera-

tor on FPGA, *Informacije MIDE M — Journal of Microelectronics Electronic Components and Materials*, 2014, Vol. 44, No. 4, Pp. 296–302.

14. Jaisinghani D., Naik V., Kaul S.K., et al. Improving the Performance of WLANs by Reducing Unnecessary Active Scans, *ArXiv*, 2018, Vol. 1807.05523, 14 p. DOI: 10.48550/arXiv.1807.05523.

15. Yan X., Mani N., Sekercioglu Y.A. A Traveling Distance Prediction Based Method to Minimize Unnecessary Handovers from Cellular Networks to WLANs, *IEEE Communications Letters*, 2008, Vol. 12, Is. 1, Pp. 14–16. DOI: 10.1109/LCOMM.2008.071430.

16. Yan Z., Zhou H., Zhang H., Zhang S. Speed-Based Probability-Driven Seamless Handover Scheme Between WLAN and UMTS, *Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, Wuhan, China, December 10–12, 2008*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, Pp.110–115. DOI: 10.1109/MSN.2008.26.

17. Arshid K., Jianbiao Z., Hussain I., et al. Energy Efficiency in Cognitive Radio Network Using Cooperative Spectrum Sensing Based on Hybrid Spectrum Handoff, *Egyptian Informatics Journal*, 2022, Vol. 23, Is. 4, Pp. 77–88. DOI: 10.1016/j.eij.2022.06.008.

18. Chen J., Ge X., Ni Q. Coverage and Handoff Analysis of 5G Fractal Small Cell Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2019, Vol. 18, Is. 2, Pp. 1263–1276. DOI: 10.1109/TWC.2018.2890662.

19. Mahmood A., Zen H., Othman A.K., Siddiqui S.A. An Optimized Travelling Time Estimation Mechanism for Minimizing Handover Failures from Cellular Networks to WLANs, *Proceedings of the 2015 International Conference on Estimation, Detection and Information Fusion (ICEDIF), Harbin, China, January 10–11, 2015*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015, Pp. 28–33. DOI: 10.1109/ICEDIF.2015.7280152.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Mahmood Mohammed Shakir** — PhD in Engineering. Scholarship and Culture Relations Directorate, Ministry of Higher Education and Scientific Research. Baghdad, Iraq; mohammedshakir@scdiraq.gov.iq

**Khalil Maad Modher** — PhD in Engineering. Computer Science Department, University of Diyala. Baquba, Iraq; Maad.khalil@uodiyala.edu.iq

The article was submitted 17.02.2024; approved after reviewing 17.03.2024.

# Computational Model for Evaluating the Effectiveness of Electromagnetic Field Protection: Case Study of a Train Dispatcher's Workplace

DSc S. Sulaymanov, PhD Kh. M. Kamilov,  
C.T.S. O. A. Turdiev, Z. X. Tulaganova

Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** The article addresses the growing concern over the adverse health effects of electromagnetic radiation in workplaces, particularly in the context of train dispatchers who are exposed to various sources of electromagnetic fields. A computational model is developed to assess the effectiveness of shielding equipment in mitigating the impact of electromagnetic fields on train dispatchers. The study focuses on the design and evaluation of protective casings and shields to reduce electromagnetic field intensity, providing valuable insights for enhancing workplace safety.

**Keywords:** electromagnetic fields, uninterruptible power supply, shielding, electrical conductivity, dielectric properties, magnetic permeability, protective casing, design model.

**For citation:** Sulaymanov S., Kamilov Kh. M., Turdiev O. A., Tulaganova Z. X. Computational model for evaluating the effectiveness of electromagnetic field protection: case study of a train dispatcher's workplace // Intellectual technologies on transport. 2024. No. 1 (37). P. 93–97. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-93-97

## INTRODUCTION

The workplace of a train dispatcher is characterized by the presence of electronic devices such as VDTs and personal computers, which emit electromagnetic waves, along with an uninterruptible power supply that powers these devices. The exposure to electromagnetic fields in this environment poses health risks to dispatchers, necessitating effective protection measures. Shielding equipment, made of materials with specific electrical, dielectric, and magnetic properties, is commonly used to reduce electromagnetic field intensity to safe levels. This study aims to develop a computational model to evaluate the effectiveness of shielding mechanisms in safeguarding train dispatchers from the harmful effects of electromagnetic radiation.

The emission of harmful and dangerous factors at the workplace of a train dispatcher is formed in connection with the indicators of technical means. The electromagnetic field at the workplace of a train dispatcher is mainly created by VDT and personal computers that dispatchers regularly use in their work, as well as electromagnetic waves emitted by an uninterruptible power supply [1, 2].

The measurements that were carried out during the certification of workplaces for working conditions showed that the voltage of the electromagnetic field in the workplace of the train dispatcher mainly creates an uninterruptible power supply that provides power to the VDT and personal computers at the workplace. The uninterruptible power supply is located inside

the desktop cabinet, and the chair on which the dispatcher sits is placed next to it, due to the need for constant monitoring of data from monitors [3].

One of the most reliable ways to protect against the electromagnetic field is to shield these equipment. When creating structures that protect against the intensity of the electromagnetic field, various materials (metal or dielectric) are used, which have the property of absorbing or repelling the electromagnetic field in a certain frequency range [4–7].

The absorption efficiency of the electromagnetic field is determined by the electrical, dielectric and magnetic properties of the material used for shielding. Due to such properties of the material, electromagnetic energy is absorbed due to dielectric, magnetic and conduction losses. Shielding allows to reduce the level of electromagnetic field intensity to a safe level [8].

**Main part.** The shielding is divided into magnetic, electric and electromagnetic fields. Almost always the same dielectric medium is placed on both sides of the screen, and in this case the efficiency of the screen is written as follows [9]:

$$e = 20lg |chkh| + 20lg \left| 1 + 0,5 \left( \frac{z_2}{z_1} + \frac{z_1}{z_2} \right) thkh \right|, \quad (1)$$

where  $h$  – screen thickness, mm;

$k$  – propagation coefficient,  $mm^{-1}$ ;

$z_1$  – resistance of the medium to the electromagnetic field, Ohms;

$z_2$  – the resistance of the screen material to the electromagnetic field, Ohms.

However, the resistance  $z_1$  in the induction zone depends not only on the type of the main component of the electromagnetic field, but also on the shape of the screen structure.

Taking into account the shape of the screen, the resistance  $z_1$  is written as follows:

When shielding an electric field [9]:

$$|z_1| = \frac{1}{\omega \epsilon_1 r_* m}. \quad (2)$$

When shielding a magnetic field [9]:

$$|z_1| = \omega \mu_1 r_* m, \quad (3)$$

where  $m = 2$  at  $r_* = \frac{L}{2}$  for a flat screen,  $m = 1$  at  $r_* = \rho$  for

a cylindrical screen, and  $m = \frac{1}{\sqrt{2}}$  at  $r_* = r$  for a spherical screen.

When shielding a magnetic field, it is necessary to take into account the individuality of the material from which the screen is made. Usually for magnetic materials (steel, permalloy, ferrite)  $\frac{z_2}{z_1} > \frac{z_1}{z_2}$ , and for non-magnetic materials (copper, aluminum, lead)  $\frac{z_2}{z_1} < \frac{z_1}{z_2}$ . In the case that at relatively low frequencies of the electromagnetic field ( $f < 10^4$  Гц)  $kh \ll 1, chkh \approx 1, thkh \approx kh$  for protective devices made of magnetic metals, the shielding efficiency is calculated by the formula [9]:

$$e = 20 \lg \left[ 1 + \frac{1}{2m} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \cdot \frac{h}{r_*} \right]. \quad (4)$$

It does not depend on the frequency of the field.

For protective devices made of non-magnetic metals, the shielding efficiency is calculated by the formula [9]:

$$e = 10 \lg \left[ 1 + \frac{m}{2} \cdot \omega \mu_1 \sigma_1 r_* h \right]. \quad (5)$$

This efficiency depends on the frequency and at the frequency  $\omega \rightarrow 0$  тоже стремится к нулю.

In the region of relatively high frequencies  $10^4 < f \text{ Hz} < 10^9$  it is convenient to determine the screening efficiency by the formula [9]:

$$e = 8,686 \sqrt{\frac{\omega \mu_2 \sigma_2}{2}} h + 20 \lg \left[ \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma_2}{\omega \mu_2}} |z_1| \right]. \quad (6)$$

In the microwave region covering decimeter, centimeter and millimeter waves ( $f \geq 10^9 \dots 10^{10}$  Hz), the wavelength  $\lambda$  is commensurate with the diameter of screen,  $d$  i.e.  $\lambda \geq d$ , and the shielding efficiency is oscillatory [9].

If there are holes or cracks in the screen, which arise as a result of imperfections in its design and production technology, the screening efficiency decreases. In this case, it can be determined by the formula [9]:

$$e = 10 \lg \left| \frac{\sqrt{2z_1}}{z_2} \right| + A + 8,686B, \quad (7)$$

where the resistance  $z_1$  is determined by the formulas (2) [9]:

$$|z_1| = \left| \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{\sigma_2}} \right|. \quad (8)$$

The summand A and the multiplier B take into account the leakiness of the screen [9]:

$$A = 20 \lg \left[ \left( \frac{2\pi}{k_1 r_*} \right)^3 \cdot (1 - 0,5k_1 l)^6 \right]; \quad (9)$$

$$B = \frac{2\pi h}{l}$$

where  $r_* \approx 0,62v^{\frac{1}{3}}$  the equivalent radius of the screen of any geometric shape ( $v$  is the internal volume of the screen,  $\text{mm}^3$ ),  $\text{mm}$ ;  $l$  is the largest size of the hole (crack) in the screen,  $\text{mm}$ ;

$$k_1 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}. \quad (10)$$

When developing a scheme for calculating the effectiveness of the protective shield, it was based on a convenient technical

layout of the dispatcher's workplace and theoretical formulas for calculating the effectiveness of the above-mentioned means of protection against electromagnetic fields [10].

The working surface of the train dispatcher's workplace consists of two parts, one of which is equipped with a work desk with train schedules. Monitors are installed on the rest of the desktop to track information. An uninterruptible power supply is placed inside the desktop cabinet, consisting of a mini-transformer and a rectifier, which regularly supplies power to VDT and personal computers. Despite the low power of the uninterruptible power supply, it is very close to the place where the dispatcher is located. Therefore, it should be noted that the voltage of the electromagnetic field propagating from it is much higher than the permissible voltage level of the electromagnetic field. It is known that the shielding of an uninterruptible power supply as a means of protection against the effects of electromagnetic field strength is a simple and inexpensive uncomplicated device [10].

The reduction of the electromagnetic field strength of the uninterruptible power supply can be achieved by covering its body with protective casings and shielding the inner surfaces of the walls of the desktop cabinet [10].

The efficiency of the screen and casing in shielding was evaluated according to the formula (4) given above.

The developed computational model is two-dimensional, and the shape of the casing and the screen differs from each other. The casing has a semi-cylindrical shape. The inner surfaces of the walls of the table stand are flat. When mathematically expressing the effectiveness of the calculation model, it is necessary to take into account the design parameters, the shape of the protective equipment (cylindrical casing and flat screen). Taking into account the logarithmic expression of efficiency, it is recommended to use the following mathematical expression based on formula (4) to evaluate the overall effectiveness of the protective casing and screen:

$$e_{gen} = 10 \lg \left[ 1 + \frac{m_{sh}}{2} \omega \mu_1 \sigma_1 r_* h \right] + 10 \lg \left[ 1 + \frac{m_f}{2} \omega \mu_1 \sigma_1 r_* h \right], \quad (11)$$

where  $m_c$  – sphere shape coefficient;

$\omega = 2\pi f$  — circular frequency,  $\text{s}^{-1}$ ;

$\mu$  — absolute magnetic permeability,  $\text{Gn/m}$ ;

$\sigma$  — specific conductivity of the medium;

$\text{Sm/m}$ ; — equivalent radius of the screen of any geometric shape,  $\text{mm}$ ;

$h$  — screen thickness,  $\text{mm}$ ; — flat shape coefficient.

## CONCLUSION

Thus, the use of screens (cylindrical casing and flat screen) to reduce the level of electromagnetic field intensity, i.e., the opening of the source provides an increase in the effectiveness of the means of protection.

The computational model presented in this study offers a systematic approach to assessing the efficiency of protective shields and casings in reducing electromagnetic field intensity in the workplace of train dispatchers. By considering the design parameters and shape of the shielding equipment, the model provides a comprehensive evaluation of the overall effectiveness of protective measures. The findings highlight the importance of implementing appropriate shielding strategies to enhance workplace safety and protect workers from the detrimental effects of electromagnetic radiation.

Further research in this area can explore advanced shielding materials and techniques to optimize protection against electromagnetic fields.

#### REFERENCES

1. Eliseeva T. L. Features of the Impact of Factors of the Production Environment and the Labor Process on the PC User [Osobennosti vozdeystviya faktorov proizvodstvennoy sredy i trudovogo protsessa na polzovatelya PEVM], *Modern Problems of Science and Education [Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya]*, 2005, No. 1. (In Russian)

2. Kudryashov A. V. The Influence of Indicators of the Light Environment on the Work of Operators [Organizatsiya eksperimenta po otsenke vliyaniya koeffitsienta pulsatsii na vospriyatie informatsii s ekranov PEVM], *Modern Problems of Science and Education [Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya]*, 2005, No. 1. (In Russian)

3. Sulaymanov S., Kamilov Kh. M. Analysis of Video Monitoring of Results of Labor Activities of Train Dispatcher (As a Traffic Dispatcher of the Single Dispatch Center of the Joint-Stock Company «Uzbekistan Temir Yollari»), *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers [Vestnik TashIIT]*, 2019, No. 2, Pp. 198–201. (In Uzbek)

4. Flexible designs of electromagnetic radiation screens: Monograph [Gibkie konstruksii ekranov elektromagnitnogo izlucheniya: Monografiya]. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2000, 283 p. (In Russ.)

5. Rakhimbekov M. S. The Influence of Electromagnetic Radiation on Humans [Vliyaniye elektromagnitnykh izlucheniya na cheloveka], *Occupational Hygiene and Medical Ecology [Gigiena truda i meditsinskaya ekologiya]*, 2017, No. 3 (56), Pp. 3–11. (In Russ.)

6. Odinaev F. I., Odinaev Sh. F., Shafiev Sh. I., Shutova S. V. Electromagnetic Radiation and Human Health [Elektromagnitnyye izlucheniya i zdorovye cheloveka], *Tambov University Reviews. Series Natural and Technical Sciences [Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennyye i tekhnicheskyye nauki]*, 2015, Vol. 20, Is. 6, Pp. 1714–1717. (In Russ.)

7. Gichev Yu. P., Gichev Yu. Yu. The influence of electromagnetic fields on human health. Analytical review [Vliyaniye elektromagnitnykh poley na zdorovye cheloveka. Analiticheskiy obzor]. Novosibirsk, State Public Scientific Technological Library of the Syberian Branch of RAS, 1999, 90 p. (In Russ.)

8. Bepalova E. E., Beljaev A. A., Shirokov V. V. Radar-absorbing Materials for Protection Against High Power Microwave Radiation [Radiopogloshchayushchie materialy dlya SVCh-izlucheniya vysokoy moshchnosti], *Proceedings of VIAM [Trudy VIAM]*, 2015, No. 3, Pp. 45–51. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-7-7. (In Russ.)

9. Ovcharenko A. G., Kozlyuk A. Yu. Human life safety in electromagnetic fields: Methodological recommendations for the implementation of practical work on the course «Life safety» [Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti cheloveka v elektromagnitnykh polyakh: Metodicheskie rekomendatsii k vypolneniyu prakticheskoy raboty po kursu «Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti»]. Biysk, Polzunov Altai State Technical University, 2008, 38 p. (In Russ.)

10. Sulaymanov S., Kamilov Kh. M., Ilkhomov I. I. Results of Evaluation of Protective Equipment to Reduce the Intensity

of the Electromagnetic Field in the Workplace of Operators of Video Terminals and Personal Computers, *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2021, Vol. 8, Is. 1, Pp. 16490–16494.

11. Sulaymanov S., Kamilov Kh. M. Assessment of the Socio-Economic Efficiency of Technical Solutions to Improve Working Conditions for Train Dispatchers [Otsenka sotsialno-ekonomicheskoy effektivnosti tekhnicheskikh resheniy po uluchsheniyu usloviy truda poezdnykh dispetcherov]. In: *Zhuravleva N. A. (ed.). Development of Economic Science in Transport: Economic Basis for the Future of Transport Systems: Collection of scientific articles of the VII International Scientific and Practical Conference [Razvitie ekonomicheskoy nauki na transporte: ekonomicheskaya osnova budushchego transportnykh sistem: Sbornik nauchnykh statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, St. Petersburg, Russia, December 19, 2019. Saint Petersburg, INSEI-Otsenka LLC, 2019, Pp. 751–758. (In Russ.)

12. Sulaymanov S., Kamilov Kh. Developing a Method for Attestating of Working Condition (In Example of «Uzbekistan Railways» Joint-Stock Company Single Dispatching Center), *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 2019, Vol. 11, Is. 7, Pp. 865–869.

13. Sulaymanov S. and Kamilov Kh. M. (2019) «Analysis Of Video Monitoring Of Results Of Labor Activities Of Train Dispatcher (As A Traffic Dispatcher Of The Single Dispatch Center Of The Joint-Stock Company «Uzbekistan Temir Yollari»)» *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers: Vol. 15, Iss. 2, Article 28.*

14. Maxkamov N., Djalilov Kh., Kamilov Kh. About Designing the Height of the First Profile of the Marshalling Hump. In: *Bazarov D. (ed.) Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering (CONMECHYDRO-2021): Proceedings of the International Scientific Conference (Tashkent, Uzbekistan, 01–03 April 2021). E3SWeb of Conferences*, 2021, Vol. 264, Art. No. 05017, 11 p. DOI: 10.1051/e3s-conf/202126405017.

15. Sulaymanov S., Kamilov Kh. Developing a method for attestating of working condition (In example of «uzbekistan railways» joint-stock company single dispatching center) // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems* 2019. ISSN 1943023X.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Sulaymanov Sunnatulla Sulaymonovich** — Grand PhD in Engineering, Professor. Department of Technosphere Safety, Tashkent State Transport University. E-mail: ssulayman@mail.ru

**Kamilov Khasan Mirzakhitovich** — PhD in Engineering, Associate Professor. Department of Technosphere Safety, Tashkent State Transport University. E-mail: xasan-kamilov@mail.ru

**Turdiyev Odilzhan Akramovich** — PhD in Engineering, Lecturer. Department of Information Systems and Technologies, Tashkent State Transport University. E-mail: odiljan.turdiyev@mail.ru

**Tulaganova Zebo Khadiyeva** — Lecturer. Department of Information Systems and Technologies, Tashkent State Transport University. E-mail: zebo.tulaganova@mail.ru

The article was submitted 07.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024.



# Расчетная модель эффективности защиты электромагнитного поля (на примере рабочего места поездного диспетчера)

д. т. н. С. Сулейманов, к. т. н. Х. М. Камилов,  
к. т. н. О. А. Турдиев, З. Х. Тулаганова

Ташкентский государственный университет путей сообщения, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** Увеличение количества и мощности различных искусственных источников (радиосвязь, ВДТ и персональный компьютер, источники бесперебойного питания и др.) приводит к значительному повышению уровня электромагнитного излучения на рабочих местах, что создает дополнительное искусственное электромагнитное поле, отрицательно влияющее на здоровье человека. Одним из самых надежных способов защиты от электромагнитного поля является экранирование этого оборудования. В статье разработана вычислительная модель расчета эффективности экрана от воздействия электромагнитных полей на рабочем месте поездного диспетчера.

**Ключевые слова:** электромагнитные поля, источник бесперебойного питания, экранирование, электрическая, диэлектрическая и магнитная проводимость, защитный кожух и экран, расчетная схема и модель.

**Для цитирования:** Сулейманов С., Камилов Х. М., Турдиев О. А., Тулаганова З. Х. Расчетная модель эффективности защиты электромагнитного поля (на примере рабочего места поездного диспетчера) // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 93–97. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-93-97

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеева, Т. Л. Особенности воздействия факторов производственной среды и трудового процесса на пользователя ПЭВМ // Современные проблемы науки и образования. 2005. № 1.
2. Кудряшов, А. В. Организация эксперимента по оценке влияния коэффициента пульсации на восприятие информации с экранов ПЭВМ // Современные проблемы науки и образования. 2005. № 1.
3. Сулайманов, С. Анализ видеохронометража результатов трудовой деятельности поездного диспетчера (в качестве поездного диспетчера единого диспетчерского центра АО «Узбекистон темир йуллари») / С. Сулайманов, Х. М. Камилов // Вестник ТашИИТ. 2019. № 2. С. 198–201. (на узбекском языке)
4. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения: Монография / Под ред. Л. М. Лынькова. — Минск:

Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2000. — 283 с.

5. Рахимбеков, М. С. Влияние электромагнитных излучений на человека // Гигиена труда и медицинская экология. 2017. № 3 (56), С. 3–11.

6. Электромагнитные излучения и здоровье человека / Ф. И. Одинаев, Ш. Ф. Одинаев, Ш. И. Шафиев, С. В. Шутова // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2015. Т. 20, Вып. 6. С. 1714–1717.

7. Гичев, Ю. П. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека. Аналитический обзор / Ю. П. Гичев, Ю. Ю. Гичев. — Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 1999. — 90 с. — (Серия «Экология». Вып. 52).

8. Беспалова, Е. Е. Радиопоглощающие материалы для СВЧ-излучения высокой мощности / Е. Е. Беспалова, А. А. Беляев, В. В. Широков // Труды ВИАМ. 2015. № 3. С. 45–51. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-7-7.

9. Овчаренко, А. Г. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Методические рекомендации к выполнению практической работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / А. Г. Овчаренко, А. Ю. Козлюк. — Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та, 2008. — 38 с.

10. Sulaymanov, S. Results of Evaluation of Protective Equipment to Reduce the Intensity of the Electromagnetic Field in the Workplace of Operators of Video Terminals and Personal Computers / S. Sulaymanov, Kh. M. Kamilov, I. I. Ipkhomov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2021. Vol. 8, Is. 1. Pp. 16490–16494.

11. Сулайманов, С. Оценка социально-экономической эффективности технических решений по улучшению условий труда поездных диспетчеров / С. Сулайманов, Х. М. Камилов // Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем: Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 19 декабря 2019 г.) / Под ред. Н. А. Журавлевой. — Санкт-Петербург: ООО «ИНСЭИ-оценка», 2019. — С. 751–758.

12. Sulaymanov, S. Developing a Method for Attestating of Working Condition (In Example of «Uzbekistan Railways» Joint-

Stock Company Single Dispatching Center) / S. Sulaymanov, Kh. Kamilov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2019. Vol. 11, Is. 7. Pp. 865–869.

13. Maxkamov, N. About designing the height of the first profile of the marshalling hump / N. Maxkamov, Kh. Djalilov, Kh. Kamilov // Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering (CONMECHYDRO-2021): Proceedings of the International Scientific Conference (Tashkent, Uzbekistan, 01–03 April 2021) / D. Bazarov (ed.). E3SWeb of Conferences. 2021. Vol. 264. Art. No. 05017. 11 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202126405017.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сулайманов Суннатилла Сулаймонович** — докт. техн. наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», Ташкентский государственный транспортный университет. E-mail: ssulayman@mail.ru

**Камилов Хасан Мирзахитович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», Ташкентский государственный университет путей сообщения. E-mail: xasan-kamilov@mail.ru

**Турдиев Одилжан Акрамович** — канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Информационные системы и технологии на транспорте», Ташкентский государственный университет путей сообщения. E-mail: odiljan.turdiyev@mail.ru

**Тулаганова Зебо Хадиевна** — преподаватель кафедры «Информационные системы и технологии на транспорте», Ташкентский государственный университет путей сообщения. E-mail: zebo.tulaganova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

# Автоматизация контроля перемещения тормозных башмаков на железнодорожном транспорте: анализ существующей системы на ОктЖД РЖД

И. Г. Кагадий, д-р техн. наук С. Г. Ермаков

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

**Аннотация.** Проведен анализ существующей системы контроля перемещения тормозных башмаков на железнодорожном транспорте. Выявлены проблемные вопросы сохранности и контроля перемещения тормозных башмаков, а также предложены пути их решения. Рассмотрены особенности функционирования системы на примере объектов железнодорожной инфраструктуры Октябрьской железной дороги (ОктРЖД).

**Ключевые слова:** транспортные системы, безопасность движения, контроль перемещения, тормозные башмаки, автоматизация, железнодорожный транспорт, ОктРЖД.

**Для цитирования:** Кагадий И. Г., Ермаков С. Г. Автоматизация контроля перемещения тормозных башмаков на железнодорожном транспорте: анализ существующей системы на Окт РЖД // *Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 98–101. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-98-101*

В данной статье применяются следующие сокращения: ОАО «РЖД» — открытое акционерное общество «Российские железные дороги».

ТРА станции — техническо-распорядительные акты железнодорожной станции.

ЖУТБ — журнал учета тормозных башмаков.

УТС — упор тормозной стационарный.

УЗС — устройство закрепления составов.

АРМ ЖУТБ — АРМ «Журнал учета тормозных башмаков».

ООО «ЦИТ Транс М» — ООО «Центр информационных технологий на транспорте М».

АСУ СТ — автоматизированная система управления работой станции.

ЭД — электронный документ, зафиксированный на электронном носителе (в виде набора символов, изображений) и предназначенный для передачи во времени и пространстве с использованием средств вычислительной техники и электросвязи с целью хранения и использования.

СУБД — система управления базами данных.

ДСП — дежурный по станции.

АСУ СТ НП — автоматизированная система управления станцией нового поколения.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие транспортных систем требует эффективных механизмов контроля перемещения и сохранности тормозных башмаков на железнодорожном транспорте. Данная статья посвящена анализу существующей системы контроля железнодорожных стопперов на объектах железнодорожной инфраструктуры ОктРЖД. Особое внимание уделено проблемам безопасности движения и необходимости автоматизации процессов контроля перемещения тормозных башмаков.

В области реализации процессов закрепления железнодорожного транспорта наиболее важным и ответственным техническим устройством является тормозной башмак. Он позволяет фиксировать как отдельный вагон, так и весь состав. Тормозные башмаки являются инвентарем строгого учета. На станциях учет тормозных башмаков ведется в книге инструмента строгого учета формы ПУ-80а, утвержденной МПС 20.02.1993 года. Порядок маркировки (клеймения) тормозных башмаков установлен Правилами учета, маркировки (клеймения), выдачи и хранения тормозных башмаков на железных дорогах, утвержденными ОАО «РЖД» 30.08.2005 года № 1353р.

## ХРАНЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ БАШМАКОВ

Сам тормозной башмак — это тяжелый металлический инструмент, поэтому он зачастую представляет собой объект хищения с целью сбыта как металлолома. Кража стоппера представляет большую опасность как для перевозимого груза, так и для людей. Состав или отдельный вагон без удерживающего устройства может в любой момент начать произвольное движение.

Так, 6 ноября 2019 года был задержан житель Тайшета, который украл 373 тормозных башмака. Об этом сообщает пресс-служба Восточно-Сибирского ЛУ МВД России на транспорте. Ущерб, причиненный мужчиной, составил более 230 тыс. руб. Возбуждено уголовное дело. Задержан-

ный сообщил, что похищенное собирался сдать в металлолом с целью личного обогащения [3].

Неоднократно были выявлены случаи, когда башмаки угрожали безопасности движения. Один из фактов описан в статье «Известий»: «24 июля 2007 года на станции Бологое-Московское Октябрьской железной дороги на втором главном пути за 10 минут до прохождения скорого поезда № 28 Москва — Санкт-Петербург сотрудниками ведомственной охраны был обнаружен тормозной башмак, положенный на рельс. Башмак своим носком был направлен именно так, чтобы 28-й поезд сошел с пути. Чувствовалась опытная рука. И буквально через 10 минут эта рука была схвачена. Гражданин П. сознался в злодеянии. Крушение удалось предотвратить» [2].

В 2002 году произошел сход локомотива на Свердловской железной дороге. Поезд наехал на вставленный в крестовину стрелочного перевода тормозной башмак. Развернуло первую секцию электровоза, вторая секция и цистерна с соляной кислотой сошли с рельсов. В результате происшествия никто не пострадал. Данный случай расценивался как теракт.

Тормозные башмаки всех наименований, находящиеся на балансе структурных подразделений Центральной дирекции управления, применяемые для обеспечения безопасности перевозочного процесса, являются инвентарем строгого учета. На железнодорожных станциях учет тормозных башмаков с момента их поступления до исключения из инвентаря (утилизации) ведется в книге инвентаря строгого учета [4].

Места хранения тормозных башмаков, применяемых для закрепления железнодорожного подвижного состава, определяются ТРА железнодорожной станции [4].

Выдача (передача) каждого тормозного башмака регистрируется в книге и удостоверяется подписью работника, получившего тормозной башмак [4].

Контроль за правильностью хранения, учета, изъятия из эксплуатации, утилизации и выдачи (передачи), а также за правильностью применения тормозных башмаков на станциях осуществляют начальники станций (или лица, исполняющие их обязанности) [4].

Работники, ответственные за сохранность тормозных башмаков, во время дежурства ведут номерной учет тормозных башмаков в журнале учета тормозных башмаков, а также фиксируют закрепление подвижного состава стационарными средствами закрепления (например, УТС, УЗС) [4]. Заполнение, формирование и подписание ЖУТБ на всей сети дорог выполняется в АРМ ЖУТБ.

Объектами автоматизации в АРМ ЖУТБ являются процессы, выполняемые работниками железнодорожных станций:

- закрепление составов тормозными башмаками и стационарными устройствами для закрепления вагонов (УТС, УЗС и другие);
- изменение состояния объектов закрепления в системе;
- контроль норм закрепления;
- заполнение журнала учета тормозных башмаков;
- контроль состояния и местоположения средств закрепления;



**Рис. 1.** Диаграммы деятельности в АРМ ЖУТБ

- управление инвентарем строгого учета станции;
- формирование электронного документа ЖУТБ и подписание его с применением электронной подписи.

Заполнение ЖУТБ в течение рабочей смены, формирование и подписание ЭД при сдаче и приеме дежурства осуществляют работники станции: ДСП, дежурный по парку, оператор при дежурном по станции, оператор поста централизации или иной работник, отвечающий за ведение ЖУТБ, на которого возложена обязанность по закреплению подвижного состава в соответствии с пунктом 3.9.1 ТРА станции.

На рис. 1 представлена последовательность действий при закреплении состава в АРМ ЖУТБ.

АРМ ЖУТБ входит в комплекс АСУ СТ. 13 дорог работают в АСУ СТ (ЦИТ) разработки ООО «ЦИТ Транс М», на трех дорогах внедрено АСУ СТ (ТСТ) разработки ООО «НТЦ Транссистемотехника».

Данная система относится к объектам критической информационной инфраструктуры ОАО «РЖД». Она предназначена для фиксации информации о фактически случившихся операциях технологического процесса и ведения оперативной модели станции, а также для заполнения нормативов.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 166 от 30 марта 2022 года «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» эксплуатируемая в настоящий момент импортозависимая система «Автоматизированная система управления станцией (АСУ СТ)» подлежит обязательному импортозамещению до 1 января 2025 года.

Для обеспечения импортозамещения ОАО «РЖД» было приобретено программное обеспечение «Автоматизиро-

ванная система управления станцией нового поколения», построенное на импортонезависимых технологиях. В настоящий момент на сети железных дорог производится адаптация и внедрение АСУ СТ, в состав которой входит ЖУТБ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данный момент отсутствует автоматизированная система контроля за перемещением тормозных башмаков. Сотрудники визуально определяют местонахождение башмака и его номер. ДСП вводит данные о закреплении состава в АРМ ЖУТБ ручным способом по принятию информации о выполнении операции от составителя.

Также при хранении, выдаче и списывании тормозных башмаков фиксация информации производится в ручном режиме с наличием человеческого фактора.

В результате анализа существующей системы контроля железнодорожных стопперов на ОКТ РЖД было выявлено, что основной проблемой является отсутствие автоматизированной системы контроля перемещения тормозных башмаков. Для обеспечения безопасности движения и предотвращения возможных инцидентов необходимо разработать и внедрить современные технологии автоматизации, позволяющие эффективно контролировать перемещение и сохранность тормозных башмаков на железнодорожном транспорте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Газета «Гудок»: «Издательский дом «Гудок»: сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://gudok.ru/> (дата обращения 02.08.2023). – Текст: электронный.

2. Снегирев, Ю. «Невский экспресс». Третья остановка, далее — везде... // Известия. — 2007. — 11 октября. URL: <http://iz.ru/news/329588> (дата обращения 02.08.2023).

3. Транспортными полицейскими раскрыта кража из помещения железнодорожного предприятия // Восточно-Сибирское линейное управление МВД России на транспорте. — 06.11.2019. URL: <http://вслу.мвд.рф/novosti/item/18827384> (дата обращения 02.08.2023).

4. Об утверждении Правил учета, маркировки (клеймения), выдачи и хранения тормозных башмаков в подразделениях Центральной дирекции управления движением: Распоряжение Центральной дирекции управления движением от 08.07.2021 № ЦД-169/р.

5. Об утверждении Порядка по оформлению и подписанию Журнала учета тормозных башмаков, применяемых для закрепления железнодорожного подвижного состава, подписанных электронной подписью: Распоряжение ОАО «РЖД» от 06.06.2020 № 1440-р.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кагадий Ирина Геннадьевна** — магистрант 2-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [irishakr74@mail.ru](mailto:irishakr74@mail.ru)

**Ермаков Сергей Геннадьевич** — докт. техн. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. E-mail: [ermakov@pgups.ru](mailto:ermakov@pgups.ru)

Статья поступила в редакцию 18.02.2024; одобрена после рецензирования 17.03.2024.

# Automation of Brake Shoe Movement Control in Railway Transport: Analysis of the Existing System on the October Railway

I. G. Kagadiy, Gr. PhD S. G. Ermakov

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

**Abstract.** An analysis of the existing system for monitoring the movement of brake shoes on railway transport was carried out. Problematic issues of safety and control of the movement of brake shoes have been identified, and ways to solve them have been proposed. The features of the functioning of the system are considered using the example of railway infrastructure facilities of October Railway RZhD.

**Keywords:** transport systems, traffic safety, movement control, brake shoes, automation, railway transport, October Railway.

**For citation:** Kagadiy I. G., Ermakov S. G. Automation of brake shoe movement control in railway transport: analysis of the existing system on the October Railway // *Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 98–101. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-98-101*

## REFERENCES

1. Gazeta “Gudok”: Izdatel'skij dom “Gudok” [Elektronnyj resurs]. URL: <https://gudok.ru/> (data obrashcheniya: 02.08.2023). (In Russian)
2. Gazeta “Izvestiya” [Elektronnyj resurs]. URL: <https://iz.ru/news/329588/> (data obrashcheniya: 02.08.2023). (In Russian)
3. Press-sluzhba Vostochno-Sibirskogo LU MVD Rossii na transporte [Elektronnyj resurs]. URL: <https://xn-b1asrj.xn->

[b1aew.xn-p1ai/novosti/item/18827384/](https://xn-b1aew.xn-p1ai/novosti/item/18827384/) (data obrashcheniya: 02.08.2023). (In Russian)

4. Rasporyazhenie ot 08.07.2021 No. CD-169r “Ob utverzhdenii pravil ucheta, markirovki (klejmeniya), vydachi i hraneniya tormoznyh bashmakov v podrazdeleniyah Central'noj direkcii upravleniya dvizheniem”, utverzhdennoe zam. general'nogo direktora P. A. Ivanovym [Elektronnyj resurs]. URL: [https://studopedia.net/14\\_85334\\_iz-ukazaniya-o-poryadke-ucheta-markirovki-klejmeniya.html/](https://studopedia.net/14_85334_iz-ukazaniya-o-poryadke-ucheta-markirovki-klejmeniya.html/) (data obrashcheniya: 02.08.2023). (In Russian)

5. Rasporyazhenie OAO “RZHD” ot 06.06.2020 № 1440-r “Ob utverzhdenii Poryadka po oformleniyu i podpisaniyu zhurnalnala ucheta tormoznyh bashmakov, primenyaemyh dlya zakrepleniya zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, podpisan-nyh elektronnoj podpis'yu”, utverzhdennoe zam. general'nogo direktora R. F. Sajbatalovym. 6 s. (In Russian)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Kagady Irina Gennadyevna** — Master's degree student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [irishakr74@mail.ru](mailto:irishakr74@mail.ru)

**Ermakov Sergey Gennadievich** — Grand PhD in Engineering, Professor. Head of the Department Information and Computing Systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. E-mail: [ermakov@pgups.ru](mailto:ermakov@pgups.ru)

The article was submitted 18.02.2024; approved after reviewing 17.03.2024.

# Математическое моделирование дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником: алгоритм и расчеты

к. т. н. М. М. Алиев, к. т. н. Э. Т. Тохиров, д. т. н. Р. М. Алиев  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** Представлены алгоритм и методика расчета дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником. Рассмотрены вопросы математического моделирования бесстыковой рельсовой цепи, предложен метод определения максимальной зоны шунтирования при удалении поезда от рельсовой цепи. Результаты расчетов позволяют проводить исследования и определять оптимальные параметры рельсовых цепей с потенциальным приемником, что важно для принятия технических мер по улучшению работы транспортных систем.

**Ключевые слова:** рельсовая цепь, математическое моделирование, алгоритм, параметры, шунт, зона шунтирования, потенциальный приемник.

**Для цитирования:** Алиев М. М., Тохиров Э. Т., Алиев Р. М. Математическое моделирование дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником: алгоритм и расчеты // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 102–106. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-102-106

## ВВЕДЕНИЕ

Рельсовые цепи играют важную роль в железнодорожной инфраструктуре, их надежность и эффективность являются ключевыми для безопасности и плавности движения поездов. В данной работе рассматривается проблема определения дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником. Отказы в рельсовых цепях могут быть вызваны различными факторами, и поэтому важно разработать методику определения оптимальных параметров цепей для уменьшения длины освобождения поездом рельсовой цепи.

Большинство отказов в рельсовых цепях происходит во время понижения напряжения за счет большого затухания, которое может быть вызвано обрывом или плохой сваркой

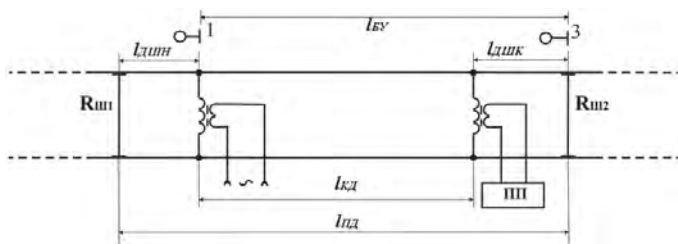


Рис. 1. Схема бесстыковой рельсовой цепи с потенциальным приемником

соединителей и перемычек в рельсах, а также возмущающих факторов природного происхождения, и нужно учитывать асимметрию тока вдоль рельсовой линии [1–2]. Также причиной затухания в рельсовых цепях может быть уменьшение сопротивления изоляции [3]. Несмотря на то что отказы в аппаратуре питающего и релейного концов составляют малую долю отказов рельсовой цепи, при выяснении причины отказа вначале следует проверить именно эти элементы [4–5, 7].

Всем специалистам сигнализации централизации и блокировки СЦБ известно, что на железной дороге основным и важным элементом всех устройств считается рельсовые цепи (РЦ) [8–13]. По этой причине диагностирование и преждевременное выявление причины неисправности считается актуальной задачей в области исследования [5–6].

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При потенциальном подключении путевого приемника к рельсовой цепи (рис. 1) в нормальном режиме путевого приемник ПП возбуждается не в момент освобождения поездом питающего конца бесстыковой рельсовой цепи, а при удалении поезда на некоторое расстояние  $l_{дпш}$ , называемое зоной дополнительного шунтирования.

Для определения этой зоны представим схему (рис. 1) в виде схемы замещения (рис. 2).

С учетом того, что балласт на каждой из рельсовых цепей может иметь различные значения, обозначим коэффициенты распространения волны  $\gamma$  и волновые сопротивления  $Z_B$  соответственно через различные состояния балласта:

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{z}{r_{и1}}}, Z_{B1} = \sqrt{zr_{и1}}, \gamma_3 = \sqrt{\frac{z}{r_{и3}}}, Z_{B3} = \sqrt{zr_{и3}},$$

тогда:

$$Z_{Bx1} = \frac{D_1 \cdot R_{ш} + B_1}{C_1 \cdot R_{ш} + A_1}, Z_{Bx2} = \frac{A_3 \cdot Z_{BxH}^I + B_3}{C_3 \cdot Z_{BxH}^I + D_3},$$

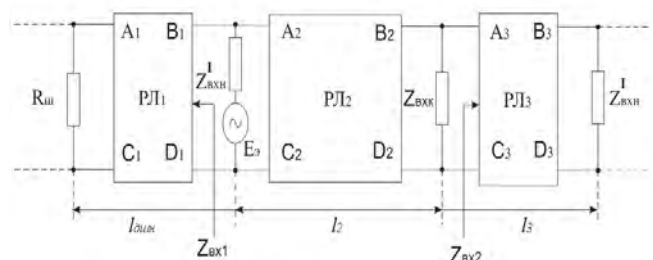


Рис. 2. Схема замещения бесстыковой рельсовой цепи

где:

$$A_1 = D_1 = ch\gamma_1 l_{\text{дшн}}, B_1 = Z_{\text{в1}} sh\gamma_1 l_{\text{дшн}}, C_1 = \frac{1}{Z_{\text{в1}}} sh\gamma_1 l_{\text{дшн}},$$

$$A_3 = D_3 = ch\gamma_3 l_3, B_3 = Z_{\text{в3}} sh\gamma_3 l_3, C_3 = \frac{1}{Z_{\text{в3}}} sh\gamma_3 l_3$$

Заменив РЛ<sub>1</sub> и РЛ<sub>2</sub> входными сопротивлениями, получим (рис. 3).

Для определения коэффициентов четырехполюсника РЛ<sub>д</sub> перемножим три матрицы РЛ<sub>1</sub>, РЛ<sub>2</sub> и РЛ<sub>3</sub>.

$$\begin{vmatrix} A_{\text{д}} & B_{\text{д}} \\ C_{\text{д}} & D_{\text{д}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{\text{вх1}}} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{\text{вх2}}} & 1 \end{vmatrix}$$

После перемножения матриц получим:

$$A_{\text{д}} = ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх1}}}; B_{\text{д}} = Z_{\text{в}} sh\gamma l_2;$$

$$C_{\text{д}} = \frac{1}{Z_{\text{вх1}}} \left( ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх2}}} \right) + \frac{1}{Z_{\text{в}}} sh\gamma l_2 + \frac{ch\gamma l_2}{Z_{\text{вх2}}};$$

$$D_{\text{д}} = ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх1}}}.$$

Максимальную зону шунтирования по уходу поезда можно определить, взяв соотношения сопротивлений передачи при нормальном режиме работы рельсовой цепи  $Z_{\text{пн}}$  и сопротивлению передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи  $Z_{\text{пн}}^l$  с учетом коэффициента перегрузки при нормальном режиме, при этом считая, что  $R_{\text{ш}} = 0$ .

$$\frac{K_{\text{п}} Z_{\text{пн}}}{Z_{\text{пн}}^l} \geq 1$$

где

$$Z_{\text{пн}} = AZ_{\text{вхк}} + B + Z_{\text{вхн}}^l (CZ_{\text{вхк}} + D);$$

$$A = ch\gamma l + sh\gamma l; B = Z_{\text{в}} sh\gamma l;$$

$$C = \frac{2}{Z_{\text{в}}} (ch\gamma l + sh\gamma l); D = ch\gamma l + sh\gamma l;$$

$$Z_{\text{пн}}^l = A_{\text{д}} Z_{\text{вхк}} + B_{\text{д}} + Z_{\text{вхн}}^l (C_{\text{д}} Z_{\text{вхк}} + D_{\text{д}}).$$

$K_{\text{п}}$  — коэффициент перегрузки, характеризующий повышение напряжения на питающем конце.  $K_{\text{п}} = 1.1 \div 1.2$ .

Алгоритм определения длины дополнительной зоны шунтирования содержит следующие блоки:

- 1 — блок ввода начальных значений сопротивления рельса  $Z$ ,  $Z_{\text{вхн}}^l$  и их аргументов  $f$ ,  $f_{\text{вхн}}^l$ ;
- 2 — блок ввода начального значения длины рельсовой цепи  $l$ ;
- 3 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей  $r_{\text{и1}}$ ,  $r_{\text{и3}}$ ;
- 4 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции исследуемой рельсовой цепи  $r_{\text{и}}$ ;
- 5 — блок ввода начальных значений определяемой длины дополнительной зоны шунтирования  $l_{\text{дшн}}^l$ ;
- 6 — блок расчета сопротивления передачи при нормальном режиме  $Z_{\text{пн}}$ ;
- 7 — блок расчета сопротивления передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи  $Z_{\text{пн}}^l$ ;

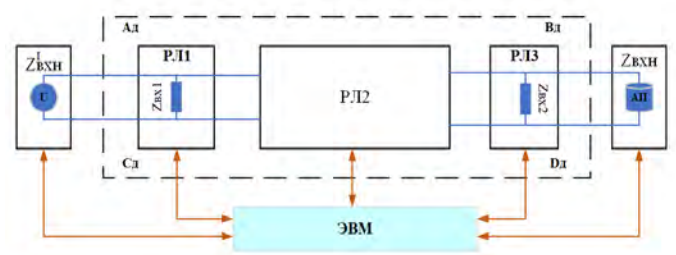


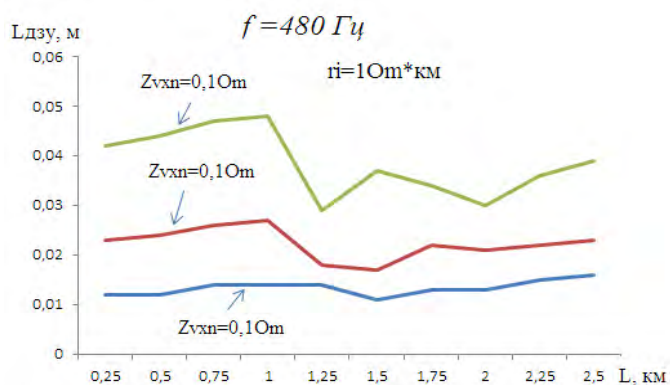
Рис. 3. Схема замещения четырехполюсников

- 8 — блок сравнения  $Z_{\text{пн}} - Z_{\text{пн}}^l \geq 0,001$ ;
- 9 — блок ввода начального значения длины рельсовой цепи  $l$ ;
- 10 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей  $r_{\text{и1}}$ ,  $r_{\text{и3}}$ ;
- 11 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции исследуемой рельсовой цепи  $r_{\text{и}}$ ;
- 12 — блок ввода начальных значений определяемой длины дополнительной зоны шунтирования  $l_{\text{дшн}}^l$ ;
- 13 — блок расчета сопротивления передачи при нормальном режиме  $Z_{\text{пн}}$ ;
- 14 — блок расчета сопротивления передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи  $Z_{\text{пн}}^l$ ;
- 15 — блок сравнения  $Z_{\text{пн}} - Z_{\text{пн}}^l \geq 0,001$ ;
- 16 — блок изменения параметра  $l_{\text{дшн}}^l = l_{\text{дшн}}^l + \Delta l_{\text{дшн}}^l$ ;
- 17 — вывод найденного значения  $l_{\text{дшн}}^l$  при заданных значениях: частоты сигнального тока; сопротивлению изоляции; длины рельсовой цепи; входных сопротивлениях концов рельсовой цепи;
- 18 — блок проверки условия  $l_{\text{дшн}}^l \leq l$ ;
- 19 — блок изменения параметра  $r_{\text{и}} = r_{\text{и}} + \Delta r_{\text{и}}$ ;
- 20 — блок проверки условия  $r_{\text{и}} \leq 2 \text{ оМ}$ ;
- 21 — блок изменения параметров сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей;
- 22 — блок проверки условия для  $r_{\text{и1}}$ ,  $r_{\text{и3}}$ ;
- 23 — блок изменения параметра  $l = l + \Delta l$ ;
- 24 — блок проверки условия  $l \leq 2,0 \text{ км}$ ;
- 25 — блок изменения параметра  $f_{\text{вхн}}^l$ ;
- 26 — блок проверки условия по параметру  $f_{\text{вхн}}^l$ ;
- 27 — блок изменения параметра  $Z_{\text{вхн}}^l$ ;
- 28 — блок проверки условия по параметру  $Z_{\text{вхн}}^l$ ;
- 29 — блок конца расчетов.

По предложенному алгоритму определения дополнительной длины шунтирования тональной рельсовой цепи по уходу поезда с контролируемого участка была разработана программа и проведены расчеты этих длин. Некоторые результаты расчетов приведены на графиках (рис. 4–5).

Из анализа расчетов, представленных на рис. 4–5, можно сделать вывод о том, что дополнительные зоны шунтирования могут изменяться в широких пределах и зависят от многих параметров и от состояния погодных условий, в связи с чем возникают трудности определения четкой границы рельсовой цепи и установки светофоров. Для исключения этого недостатка было предложено использовать рельсовые цепи тональной частоты с токовыми приемниками.





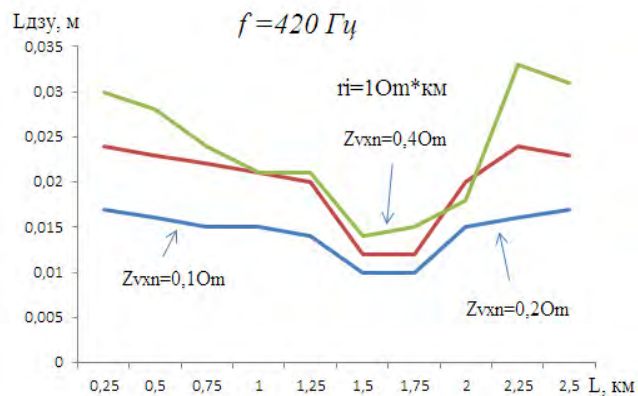
**Рис. 4.** Графики зависимости длины дополнительной зоны шунтирования по уходу поезда при частоте сигнального тока 480 Гц, разных модулях входного сопротивления  $Z_{вхп}$  и его аргументе  $F_{вхп} = 0^0$

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный анализ расчетов позволяет сделать вывод о значительном влиянии различных параметров на дополнительную зону шунтирования в рельсовых цепях. Предложенный алгоритм и методика расчета являются эффективными инструментами для определения оптимальных параметров цепей с потенциальным приемником. Дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать улучшению работы транспортных систем и повышению их надежности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Tokhirov, E. T. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 237–254. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.
2. Aliev, R. M. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport / R. M. Aliev, D. Matvaliyev // Universum: технические науки. 2022. № 11–6 (104). С. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Temir yo‘l kesishmalarining xavfsizligini takomillashtirish va funksional samaradorlik holati tahlili / R. Aliev, M. Aliev, E. Tokhirov, [et al.] // Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies. 2022. Vol. 2, Is. 12. Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181–2454–2022–12–152–155. (на узбекском языке)
4. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. — 384 с.
5. Tokhirov, E. T. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 204–220. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.
6. Gulyamova, M. K. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors / M. K. Gulyamova, R. M. Aliev // German International Journal of Modern Science. 2022. No. 29, Pp. 38–39.



**Рис. 5.** Графики зависимости длины дополнительной зоны шунтирования по уходу поезда при частоте сигнального тока 420 Гц, разных модулях входного сопротивления  $Z_{вхп}$  и его аргументе  $F_{вхп} = 40^0$

7. Tokhirov, E. T. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 186–203. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.

8. Автоматизация расчета параметров и проверки ТРЦ / Б. Ф. Безродный, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 1. С. 15–17.

9. Гаврилов, А. В. Системы искусственного интеллекта. Часть 1: Учебное пособие. — Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2002. — 79 с.

10. Ignatyevs, S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft / S. Ignatyevs, S. A. Makushkin, S. Spivakovskyy // INCAS Bulletin. 2021. Vol. 13, Special Issue. Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066–8201.2021.13.S.7.

11. Hintze, P. «But That’s Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data / P. Hintze, F. Prüter // Signalling + Datacommunication. 2018. Is. 11. Pp. 6–15.

12. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security / S. N. Grinyaev, D. A. Medvedev, D. I. Pravikov, [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2021. Vol. 9, No. 3. Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.

13. Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2006. № 2. С. 101–109.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Алиев Марат Мухаммедович** — канд. техн. наук, доцент.  
**Тохилов Эзоз Турсуналиевич** — канд. техн. наук, доцент.  
**Алиев Равшан Маратович** — докт. техн. наук, профессор.  
 Кафедра «Информационные системы и технологии на транспорте», Ташкентский государственный транспортный университет. E-mail: eterneletoile@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

# Mathematical Modeling of an Additional Shunt Zone in Track Circuits With a Potential Receiver: Algorithm and Calculations

Gr. PhD R. M. Aliev, PhD E. T. Tokhirov, Gr. PhD R. M. Aliev  
Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** The paper presents an algorithm and methodology for calculating the additional shunt zone in track circuits with a potential receiver. The issues of mathematical modeling of a seamless track circuit are considered, and a method is proposed for determining the maximum shunting zone when the train moves away from the track circuit. The calculation results make it possible to conduct research and determine the optimal parameters of rail circuits with a potential receiver, which is important for taking technical measures to improve the operation of transport systems.

**Keywords:** track circuit, mathematical modeling, algorithm, options, shunt, shunt zone, potential receiver.

**For citation:** Aliyev M. M., Tokhirov E. T., Aliev R. M. **Mathematical modeling of an additional shunt zone in track circuits with a potential receiver: algorithm and calculations // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 102–106. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-102-106**

## REFERENCES

1. Tokhirov E.T., Aliev R.M., Aliev M.M. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 237–254. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.
2. Aliev R.M., Matvaliyev D. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport, *Universum: Technical Sciences [Universum: tekhnicheskie nauki]*, 2022, No. 11–6 (104), Pp. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Aliev R., Aliev M., Tokhirov E., et al. Improving the Safety of Level Crossings and Analyzing the State of Functional Performance, *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies*, 2022, Vol. 2, Is. 12, Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181–2454–2022–12–152–155. (In Uzbek)
4. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Intelligent systems knowledge bases [Bazy znaniy intellektualnykh sistem]. Saint Petersburg, Piter Publishing House, 2001, 384 p.
5. Tokhirov E.T., Aliev R.M., Aliev M.M. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 204–220. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.
6. Gulyamova M.K., Aliev R.M. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors, *German International Journal of Modern Science*, 2022, No. 29, Pp. 38–39.
7. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 186–203. DOI: 10.46916/30062022–978–5–00174–630–0.
8. Bezrodny B.F., Denisov B.P., Kultin V.B., Rastegaev S.N. Automation of Parameter Calculation and Testing of Tonal Rail Circuits [Avtomatizatsiya rascheta parametrov i proverki TRTs], *Automation, Communication, Informatics [Avtomatika, svyaz, informatika]*, 2010, No. 1, Pp. 15–17.
9. Gavrilov A.V. Artificial Intelligence Systems. Part 1: Study Guide [Sistemy iskusstvennogo intellekta. Chast 1: Uchebnoe posobie]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University, 2002, 79 p.
10. Ignatyevs S., Makushkin S.A., Spivakovskyy S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft, *INCAS Bulletin*, 2021, Vol. 13, Special Issue, Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066–8201.2021.13.S.7.
11. Hintze P., Prüter F. «But That’s Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data, *Signalling + Datacommunication*, 2018, Is. 11, Pp. 6–15.
12. Grinyaev S.N., Medvedev D.A., Pravikov D.I., et al. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2021, Vol. 9, No. 3, Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.
13. Vasilenko M.N., Denisov B.P., Kultin V.B., Rastegaev S.N. Calculation of the Parameters and Check of the Op-

eration of the Jointless Tonal Rail Circuits [Raschet parametrov i proverka rabotosposobnosti besstykovykh tonalnykh relsovykh tsepey], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2006, No. 2, Pp. 101–109.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Aliev Marat Mukhammedovich** — PhD in Engineering, Associate Professor.

**Tokhirov Ezoz Tursunaliyevich** — PhD in Engineering, Associate Professor.

**Aliev Ravshan Maratovich** — Grand PhD in Engineering, Professor.

Department of Information Systems and Technologies in Transport, Tashkent State Transport University.

E-mail: eterneletoile@yandex.ru

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 10.02.2024.