

ISSN 2227-930X (online)
ISSN 2328-1391 (print)

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies
VOLUME 15, NUMBER 2, 2025



ISSN 2227-930X (online)

ISSN 2328-1391 (print)

International Journal of Advanced Studies

**Том 15, № 2
2025**

**Vol. 15, No. 2
2025**

**Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT**

Главный редактор

А.В. Остроух

д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Российская Федерация)

Editor-in-Chief

Andrey V. Ostroukh

Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department 'Automated Control Systems' (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation)

Шеф-редактор - Максимов Я.А.

Выпускающие редакторы - Доценко Д.В., Максимова Н.А.

Корректор - Зливко С.Д.

Компьютерная верстка, дизайн - Орлов Р.В.

Технический редактор, администратор сайта - Бяков Ю.В.

Ответственный секретарь - Коробцева К.А.

12+

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies

IJAS:T&IT

Специализированный научно-технический рецензируемый журнал
Peer-reviewed specialized science and technology journal

Периодичность. 4 номера в год / Periodicity. 4 issues per year

Том 15, № 2, 2025 / Vol. 15, No 2, 2025

<p>Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр</p> <p>Журнал основан в 2011 году Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 63681 от 10.11.2015</p> <p>Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (Категория K2)</p> <p>Индексирование и реферирование: РИНЦ Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE ЭБС IPRbooks ЭБС Znanium ЭБС Лань</p> <p>Адрес редакции, издателя и для корреспонденции: Россия, 660127, Красноярский край, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192 E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (995) 080-90-42</p>	<p>Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House</p> <p>Founded 2011 The edition is registered by the Federal Service of Intercommunication and Mass Media Control Mass media registration certificate EL № FS 77 - 63681, issued November 10, 2015.</p> <p>International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications issued in the Russian Federation, which should publish main scientific results of doctor's and candidate's theses (Category C2)</p> <p>Indexing and Abstracting: RSCI Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan'</p> <p>Editorial Board Office: 9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (995) 080-90-42</p>
--	---

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2025

Editorial Board Members

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Tatiana V. Avdeenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Leading Researcher (Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation).

Vitaly N. Vasilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Technology (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation).

Alexey V. Voropay, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms and Machines (Kharkiv National Automobile & Highway University, Kharkov, Ukraine).

Vladimir A. Dresvyannikov, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Economic Security (Penza State University, Penza, Russian Federation).

Elena V. Erokhina, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Production Organization and Management (Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation).

Sultan V. Zhankaziev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Traffic Organization and Safety, Intelligent Transport Systems (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation).

Nikolay S. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Technological Machines Service (Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation).

Sergey V. Kosyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software for Computer Systems (Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation).

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Technological Machines (Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation).

Mikhail N. Krasnyanskiy, Doctor of Technical Sciences, Rector (Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation).

Aleksey L. Manakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and Machine Operation", Rector (Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation).

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Management of Operational Work" (Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport, St. Petersburg, Russian Federation).

Boris Yu. Serbinovskiy, Doctor of Economics, Professor of the Department of Systems Analysis and Management of the Faculty of High Technologies (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation).

Ilya A. Khodashinsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Systems in Management and Design (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation).

Vyacheslav P. Shuvalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Discrete Communications and Metrology (Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russian Federation).

Nikolai N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport (Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation).

Члены редакционной коллегии

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Авдеевко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ, вед. науч. сотрудник НОЦ ИИТБ (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация).

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, декан Технологического факультета (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация).

Воропай Алексей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Деталей машин и теории механизмов и машин (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина).

Дресвянников Владимир Александрович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Менеджмент и экономическая безопасность» (Пензенский государственный университет, Пенза, Российская Федерация).

Ерохина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры организации и управления производством (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация).

Жанказиев Султан Владимирович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы" (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация).

Захаров Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин (Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация).

Косяков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем (ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Российская Федерация).

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и технологические машины (ФГАОУ ВО

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация).

Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук, ректор (Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация).

Манаков Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», ректор (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Российская Федерация).

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой» (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Сербиновский Борис Юрьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления факультета высоких технологий (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация).

Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация).

Шувалов Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация).

Якунин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация).

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-338

EDN: XAJGIW

UDC 629.4.08



Original article | Transport and Transport-Technological Systems

REDUCING LOCOMOTIVE MAINTENANCE COSTS WITH INTELLIGENT SOFTWARE

V.A. Butusova, Y.A. Davydov, A.S. Kushniruk, D.Y. Drologov

Abstract

This article introduces novel computer software designed to optimize maintenance schedules for traction rolling stock (TRS). The software analyzes TRS failure/breakdown data, considering reliability and cost-efficiency parameters, to recommend optimal inter-repair mileage standards. It analyzes locomotive component reliability indicators, investigates failure distribution hypotheses, and offers cost-effective recommendations for adjusting maintenance intervals. This data-driven approach addresses the limitations of traditional, generalized maintenance schedules by dynamically adapting to specific operating conditions and leveraging statistical models like Weibull, exponential, and normal distributions to predict failure-free operation. The software aims to improve fleet management by reducing downtime, minimizing unscheduled repairs, and lowering overall maintenance costs.

Purpose. This article aims to present computer software designed to process traction rolling stock (TRS) failure data and optimize inter-repair mileage standards, considering both reliability and cost-effectiveness parameters. The software analyzes locomotive component reliability indicators, investigates failure distribution hypotheses within locomotive units, and generates recommendations for optimizing inter-repair mileage while minimizing maintenance and repair costs.

Materials and methods. Methods and Software Description: The software developed in this study employs a multi-stage analysis process to optimize the standards for inter-repair mileage of locomotives. The core methodology is based on the statistical analysis of reliability indicators, including

failure rates and the time between failures for individual components. Data collection is performed by sorting failures according to their type and nature, allowing for the identification of recurring patterns and failure modes.

Results. This study has demonstrated the effectiveness of a software-based approach for optimizing inter-repair mileage standards for locomotives. By leveraging statistical failure analysis and integrating economic cost models, the software reduces both the frequency of unplanned repairs and overall maintenance costs. The improvements in locomotive reliability and operational efficiency underscore the value of this tool for railway operators. Furthermore, this software, optimizing inter-repair mileage norms with consideration for reliability indicators and calculating economic impact aimed at reducing downtime, offers significant potential for practical application. Its ability to analyze failure data and predict potential issues allows for proactive maintenance scheduling, minimizing disruptions to operations and maximizing resource utilization. This contributes directly to improved cost-efficiency by reducing the need for reactive repairs and associated expenses.

Keywords: repairs; maintenance; locomotive; operation; reliability

For citation. Butusova, V. A., Davydov, Y. A., Kushniruk, A. S., & Drologov, D. Y. (2025). Reducing locomotive maintenance costs with intelligent software. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 7–24. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-338>

Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ ЛОКОМОТИВОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В.А. Бутусова, Ю.А. Давыдов, А.С. Кушнирук, Д.Ю. Дроголов

Аннотация

Обоснование. В данной статье представлено новое компьютерное программное обеспечение, разработанное для оптимизации графиче-

ков технического обслуживания тягового подвижного состава (ТПС). Программное обеспечение анализирует данные о сбоях/поломках ТПС, учитывая параметры надежности и экономической эффективности, чтобы рекомендовать оптимальные межремонтные пробеги. Оно анализирует показатели надежности компонентов локомотивов, исследует гипотезы о распределении отказов и предлагает экономически эффективные рекомендации по корректировке интервалов технического обслуживания. Этот подход, основанный на данных, устраняет ограничения традиционных обобщенных графиков обслуживания, динамически адаптируясь к конкретным условиям эксплуатации и используя статистические модели, такие как распределения Вейбулла, экспоненциальное и нормальное, для прогнозирования безотказной работы. Программное обеспечение направлено на улучшение управления парком подвижного состава за счет сокращения времени простоя, минимизации незапланированных ремонтов и снижения общих затрат на техническое обслуживание.

Цель. Данная статья посвящена программному обеспечению, разработанному для обработки данных о неисправностях тягового подвижного состава (ТПС) и оптимизации норм межремонтных пробегов с учетом параметров надежности и экономической эффективности. Программное обеспечение анализирует показатели надежности компонентов локомотивов, исследует гипотезы распределения отказов в локомотивных депо и формирует рекомендации по оптимизации межремонтных пробегов при одновременной минимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Материалы и методы. Разработанное в данном исследовании программное обеспечение использует многоэтапный процесс анализа для оптимизации норм межремонтных пробегов локомотивов. Основная методология основана на статистическом анализе показателей надежности, включая интенсивность отказов и время наработки на отказ отдельных компонентов. Сбор данных осуществляется путем сортировки отказов по их типу и характеру, что позволяет выявлять повторяющиеся закономерности и виды отказов.

Результаты. Данное исследование продемонстрировало эффективность программного подхода к оптимизации норм межремонтных пробегов локомотивов. Используя статистический анализ отказов и интегрируя модели экономических затрат, программное обеспечение позволяет снизить как частоту внеплановых ремонтов, так и общие затраты на обслуживание. Повышение надежности и эксплуатационной эффективности локомотивов подчеркивает ценность данного инструмента для железнодорожных операторов. Более того, это программное обеспечение, оптимизирующее нормы межремонтных пробегов с учетом показателей надежности и рассчитывающее экономический эффект, направленный на сокращение простоев, обладает значительным потенциалом для практического применения. Его способность анализировать данные об отказах и прогнозировать потенциальные проблемы позволяет осуществлять профилактическое планирование технического обслуживания, минимизируя сбои в работе и максимизируя использование ресурсов. Это напрямую способствует повышению экономической эффективности за счет снижения потребности в срочных ремонтах и связанных с ними расходах.

Ключевые слова: ремонт; обслуживание; локомотив; эксплуатация; надежность

Для цитирования. Бутусова, В. А., Давыдов, Ю. А., Кушнирук, А. С., & Дроголов, Д. Ю. (2025). Снижение затрат на обслуживание локомотивов с помощью интеллектуального программного обеспечения. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 7–24. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-338>

The computer software is designed to process failures/breakdowns of the traction rolling stock (TRS) and to optimize the standards for inter-repair mileage taking into account reliability and cost-efficiency parameters.

The functions of the software are as follows: analysis of the reliability indicators of the locomotive components/units; research into the hypothesis of the distribution of failures/breakdowns in locomotive units;

recommendations for optimizing of the standard for inter-repair mileage, considering the cost-efficiency of the solution adopted.

Purpose of the computer software: the results obtained help to assess the condition of the locomotive fleet, to organise unscheduled maintenance or routine repairs of equipment, taking into account minimum costs. On the basis of the data obtained, it is possible to assess possible previous failures.

Repairs of the traction rolling stock (TRS) has/is characterized by both general patterns and specific features, which are determined by a complex of technical propositions that define the required technical level of the TRS conditions and the industry's requirements to maintaining that level. One of the major requirements is the reliability of the TRS repairs, which guarantees/ensures high quality of accomplishing transportation process under various operating conditions [1].

Traditional methods for scheduling repairs and setting inter-repair mileage standards are often based on generalized data that fail to account for variations in locomotive use and operating conditions. These inefficiencies contribute to increased downtime, unscheduled repairs, and higher maintenance costs, presenting a persistent challenge for fleet operators.

The primary aim of this study is to present a computer-based software solution that optimizes the standards for inter-repair mileage by analyzing locomotive failure patterns. The software leverages data-driven approaches and advanced statistical methods to provide recommendations for adjusting repair intervals based on economic efficiency and technical performance. The novelty of this approach lies in its ability to dynamically adapt to localized operating conditions, offering a significant improvement over conventional, one-size-fits-all repair schedules.

Current literature in the field emphasizes the need for predictive maintenance and the optimization of resource allocation in the railway industry. However, existing approaches largely rely on manual data input and analysis, lacking the automation necessary for real-time decision-making.

ing. Our solution bridges this gap by integrating statistical models, such as Weibull, exponential, and normal distributions, to assess the probability of failure-free operation and adjust repair schedules accordingly.

Reliability is a complex property. Depending on the purposes and operating conditions of the object it includes fail-safe operation, endurance, reparability and its suitability for storage and conservation.

One of the major tasks of the TRS reliability management is determining the optimal values for the standard of inter-repair runs/mileage. In the context of a planning preventative system for the maintenance and repair of locomotives, one of the primary objectives in managing the reliability of TRS is to determine the optimal values for the standard governing inter-repair runs. The determination of the standard for inter-repair runs/mileage is based on an analysis of reliability indicators of technical units and blocks, as well as on an evaluation of the economic components of maintenance and repair of locomotives. The implementation of inter-repair runs on the Russian Railways network is conducted at all sections and testing grounds in accordance with the provisions set forth in Order 2796r of JSC Russian Railways, as amended on January 28, 2020, No. 2070r [2]. One of the principal disadvantages of this approach is the failure to consider the discrepancies in operational conditions across railway sections, maintenance and repair procedures. This negatively impacts the precision of calculating the reliability indicators of locomotive units and their maintenance and repair periods, resulting in a reduction in the level of reliability. These circumstances are characterized by significant economic losses, which serve to determine the relevance and significance of the problem under consideration. To resolve the issue of the reliability of locomotive units, it is proposed to develop a model for the management of the technical condition of the locomotive fleet. This model will be based on the analysis of failure-free performance indicators of locomotive units, the study of hypotheses about the distribution of failures, the establishment of the law of their distribution and the optimization of standard for inter-repair runs/mileage in relation to individual repair enterprises [3].

The analysis is conducted using several statistical models, including the Weibull distribution, which is commonly used for failure analysis, and the normal and exponential distributions. The choice of distribution model depends on the observed failure patterns for the particular locomotive unit under consideration. Hypotheses regarding failure distribution are tested using Pearson's chi-squared test to ensure the appropriateness of the model.

Additionally, Sturges' rule is applied to determine optimal class intervals for the failure data, ensuring that the failure analysis is both accurate and statistically robust. The program then calculates key reliability indicators, including the mean time to failure (MTTF) and the failure rate, to provide recommendations for extending or shortening inter-repair mileage.

The software's optimization algorithm is driven by an economic model that compares the costs of unscheduled repairs with planned maintenance. By minimizing the total cost of repairs, the software ensures that maintenance schedules are not only technically sound but also cost-effective. This integration of technical and economic factors allows the program to provide real-time recommendations for locomotive maintenance, significantly reducing both downtime and operational costs.

The efficiency of a planning and preventive system is dependent on coordinating the timing of inspections and repairs with the actual technical condition of the locomotive. The duration of downtime during maintenance or repair is determined by several factors, including the volume and organization of work, as well as the reliability and maintainability of the object to be repaired.

In order to optimize the standard for inter-repair runs/mileage, namely to reduce the frequency of unscheduled repairs and reduce MRO costs, a computer software has been developed.

The operation of the software is described in several stages.

The initial stage is conducted manually by a specialist and involves the sorting of data pertaining to equipment failures:

1. Sorting of data according to the equipment classifier adopted at the operating enterprise (enlarged).
2. Sorting data by type of failed equipment by unit level.
3. Sorting data by components.
4. Sorting data by the nature of the malfunction.

The second stage of the process involves populating the software with the necessary data to perform its optimization calculations. This data input is crucial for the software's accurate assessment and subsequent recommendations. Several key data points are required, including a comprehensive record of historical maintenance costs. This should encompass the expenses associated with unscheduled repairs, which represent the costs incurred due to unexpected breakdowns and disruptions. Additionally, the costs associated with planned types of repairs, categorized by their respective maintenance levels (e.g., TR-1, TR-2, etc.), should be inputted. These planned repairs represent the routine maintenance activities scheduled at predefined intervals. Furthermore, the current standard inter-repair run/mileage for each type of repair must be entered, as this serves as the baseline against which the optimization algorithm will assess potential improvements. Finally, a detailed record of past failures, categorized by type and cause, is essential for identifying patterns and trends that can inform the optimization process. With this comprehensive data set, the software can effectively evaluate the potential for optimizing the inter-repair run/mileage standards. The software's core objective is to determine the optimal balance between preventative maintenance and unscheduled repairs, minimizing overall costs while maximizing locomotive reliability and availability. The software achieves this by modifying the existing inter-repair standards based on the economic impact of various maintenance strategies. This optimization process, visually represented in Figure 1, iteratively evaluates different scenarios and recommends adjustments to the standards, ultimately providing a tailored maintenance plan designed to achieve optimal cost-effectiveness. This process will now be described in detail.

1. A comparison of the cost of unscheduled and planned types of repairs and a calculation of the economic efficiency of changing the standards for inter-repair run/mileage.

1.1 In the event that the cost of a planned type of repair is higher, the presence of failures is considered to be within the range of the permissible rate of inter-repair run/mileage, which is determined by regulatory documentation (for example, $\pm 20\%$ of 50 thousand km).

In the event that no failures are observed within the specified range, the standards for inter-repair run/mileage remain unchanged.

In the event of a failure, the minimum inter-repair run/mileage is set to the minimum.

1.2 If the cost of unscheduled repairs is higher, then a search is conducted for a cost-effective operating interval for equipment repairs.

- A statistical analysis of the distribution of failures shall be conducted. This involves the calculation of TRS runs l by intervals Δl_i in accordance with Sturges's rule, as well as the calculation of the probability of failure-free operation, probability of failures, failure rates, average number of operational units, and failure rates of TRS, along with the average time to failure [4].

- The failure distribution rule is determined. If failures do not adhere to the established distribution rules, changes in the standards of inter-repair run/mileage will not be applied [5].

- A hypothesis regarding the distribution of failures is being investigated.

When a normal distribution is considered, the following values are calculated: the sampling average operating interval Δl , thousand km; the sampling average operating intervals Δl_{cpi} , thousand km; and the sum of the number of failures at operating intervals $\Sigma r(\Delta l_i)$ by the sampling averages of these operating intervals Δl_{cpi} ; mathematical expectation of failure m , thousand km; dispersion; standard deviation; normalized variables; density of the normalized normal distribution $\phi(b_i)$; value of theoretical failures of normal distribution $\Sigma r_n(\Delta l_i)$; the sum of the Pearson coefficients is determined and compared with the critical value [6].

When a an exponential distribution of failures is considered, the following values are calculated: the sampling average operating interval Δl , thousand km; the sampling average operating intervals Δl_{cpi} , thousand km; and the sum of the number of failures at operating intervals $\Sigma r(\Delta l_i)$ by the sampling averages of these operating intervals Δl_{cpi} ; mathematical expectation of failure m , thousand km; failure rate λ_e , thousand km; value of theoretical failures of exponential distribution $\Sigma r_n(\Delta l_i)$; then the sum of the Pearson coefficients for the exponential model is determined and compared with the critical value. If the calculated value is less than the critical value, it is permissible to modify the standards for inter-repair run/mileage [7].

In the event that no failures occur within the permissible operating interval, the standards for inter-repair run/mileage remain unchanged [8].

2. A search is conducted to identify an economically advantageous operating interval for repairs. The annual costs for scheduled equipment repairs are determined, as are the costs of unscheduled repairs, which are calculated based on the predicted number of failures. A period of operation is selected in which the costs of repairs are expected to be minimal.

The software solution was deployed and tested across a diverse fleet of locomotives operating under a range of real-world conditions. These varied operational environments included differences in terrain, climate, and load profiles, allowing for a comprehensive assessment of the software's adaptability and effectiveness. Initial data analysis confirmed the anticipated correlation between harsher operating conditions – such as extreme temperatures, heavy loads, and challenging terrain – and increased failure rates. These baseline measurements served as a benchmark against which the software's performance could be evaluated. Following the implementation and optimization of inter-repair mileage standards using the software, a significant reduction in unscheduled repairs was observed across the entire locomotive fleet. Specifically, the frequency of these unplanned maintenance events decreased by 20%, demonstrating a tangible improvement in operational efficiency.

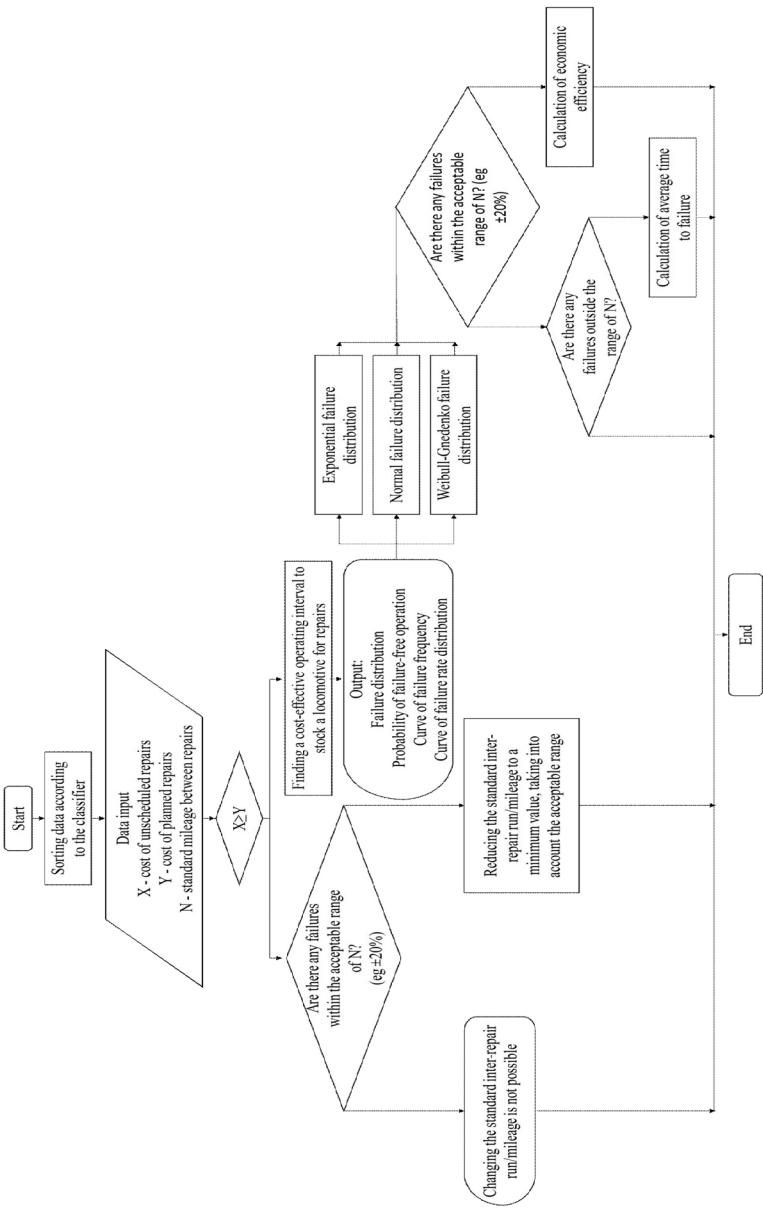


Fig. 1. Algorithm of the software for optimizing standards of inter-repair run/mileage

Source: developed by the authors.

Furthermore, the overall reliability of the locomotives, measured by mean time between failures (MTBF) and other relevant metrics, saw a concomitant increase of 15% [9]. This improvement translates to a substantial increase in locomotive availability, reduced downtime, and ultimately, significant cost savings for railway operators. This positive impact on reliability underscores the value of the software in not only mitigating the negative effects of challenging operational environments but also in enhancing the overall performance and longevity of the locomotive fleet.

Figure 2 delves into the statistical analysis of locomotive failure distributions, providing insights into the underlying patterns governing these events. The figure presents failure distribution curves generated by the software, both before and after the optimization process. These curves not only illustrate the raw failure rates but also serve as a basis for assessing the conformity of the observed data to established statistical distributions. Specifically, the figure examines the fit of the data to both normal and exponential distributions. The normal distribution, characterized by its bell shape, is often used to model phenomena where random variations cluster around a mean value. The exponential distribution, on the other hand, is typically associated with the time between events in a Poisson process, where events occur randomly and independently at a constant average rate. By comparing the observed failure distribution curves with the theoretical curves of these distributions, the software helps determine whether the failures follow a normal, exponential, or perhaps a different pattern. This analysis is critical for understanding the nature of the failures and selecting the most appropriate statistical models for predicting future behavior. For instance, if the failures closely follow an exponential distribution, it suggests that they occur randomly and independently, and maintenance strategies should focus on managing the overall rate of occurrence. Conversely, a normal distribution might indicate the influence of systematic factors, suggesting the need to investigate and address underlying causes. Understanding the underlying distribution allows

for more accurate prediction of future failures and more effective optimization of maintenance schedules, ultimately contributing to the observed 10% reduction in total annual maintenance costs. This statistical rigor reinforces the software's ability to not just empirically improve maintenance outcomes but also to provide a deeper understanding of the failure mechanisms themselves.

Furthermore, the software incorporates a sophisticated failure prediction model, which proved remarkably accurate in forecasting future locomotive failures. This predictive capability is a crucial element of the software's overall effectiveness, allowing maintenance schedules to be proactively adjusted based on anticipated needs rather than reacting to unexpected breakdowns. The accuracy of the prediction model was rigorously evaluated by comparing its predicted failure rates with actual observed failure data collected from the locomotive fleet. This comparison yielded a correlation coefficient of 0.92, indicating a strong positive relationship between predicted and observed values. This high degree of correlation underscores the reliability and robustness of the prediction model. A correlation coefficient of 0.92 signifies that the predicted failure rates closely align with the actual failure patterns observed in the field, providing operators with a high level of confidence in the software's forecasts. This predictive accuracy empowers fleet operators to anticipate potential failures and take preemptive measures to mitigate their impact. By proactively scheduling maintenance based on these predictions, operators can minimize downtime, optimize resource allocation, and ensure the maximum availability of their locomotives. This proactive approach not only reduces the disruption and costs associated with unplanned maintenance but also contributes to improved overall operational efficiency and cost-effectiveness.

Moving forward, future research should focus on enhancing the predictive capabilities of the software by incorporating real-time data streams from locomotive monitoring systems. This real-time integration will enable more dynamic adjustments to maintenance schedules, further optimizing resource allocation and minimizing downtime. Additionally, incorpo-

rating machine learning algorithms could allow the software to identify more complex patterns and relationships within the failure data, leading to even more accurate predictions and more effective maintenance strategies. Additionally, expanding the software's applicability to other forms of rolling stock and transportation equipment could further extend its utility in the transportation industry. Further development could also include incorporating user feedback and operational data to continuously refine the software's algorithms and improve its performance over time.



Fig. 2. The interface of the “VOSTOK Maintenance and Repair Optimization System” software

Description of the application of the generative model. I confirm that generative AI, specifically the Gemini 1.5 Pro model, was used in the preparation of this article. AI intervention was limited and exclusively stylistic in nature. The tool was employed to ensure the correct usage of foreign terms, improve readability, and for general stylistic editing. We emphasize that the use of AI in no way affected the content or research findings presented in the article. All developments, scientific conclusions, and the software operational algorithm were carried out independently by the authors. The generative tool was used solely to enhance the presentation of the material.

Описание применения генеративной модели. Подтверждаем, что при подготовке статьи был использован генеративный

ИИ, а именно модель Gemini 1.5 Pro. Вмешательство ИИ было ограничено и носило исключительно стилистический характер. Инструмент был применен для корректности употребления иностранных терминов, улучшения читабельности текста и в целом, стилистической правки. Использование ИИ никак не повлияло на содержание и результаты исследования, представленные в статье. Все разработки и научные заключения, алгоритм работы ПО выполнен авторами самостоятельно. Генеративный инструмент был использован для улучшения изложения материала.

References

1. Dmitrenko, I. V. (1999). *Current repair and maintenance of locomotives*. Tutorial. Khabarovsk. 120 p.
2. Railways of Russian Federation (OAO “RZD”) (2016, December 30). Decree No. 2796r. On the system of maintenance and repair of locomotives of OAO “RZD”.
3. Instructions for maintenance and current repairs of diesel locomotives 2TE10, TE10. IO.
4. Sturges, H. A. (1926). The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65–66. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
5. Kolemaev, V. A., & Kalinina, V. N. (1997). *Probability Theory and Mathematical Statistics*. Textbook (Edited by V. A. Kolemaev). Moscow: INFRA-M. 302 p. (*Higher Education series*).
6. OST 32 70-96. Diesel locomotives. System for collecting and processing reliability information from operational sites. (1996).
7. Vorobyov, A. A., et al. (2017). *Reliability of Rolling Stock*. Textbook. Moscow: FGUB DPO “Training and Methodological Center for Railway Education”. EDN: <https://elibrary.ru/ZDPXNP>
8. Chetvergova, V. A., & Puzankov, A. D. (2003). *Locomotive Reliability* (Edited by Prof. V. A. Chetvergova). Moscow: Marshal. 413 pp. EDN: <https://elibrary.ru/SCNHJZ>

9. Voznyuk, V. N., Pushkarev, I. F., Stavrov, T. V., et al. (1991). *Diesel Locomotive Reliability*. Moscow: Transport. 159 p.
10. Четвергов, В. А. (1975). Theoretical Issues of Analysis and Optimization of Reliability and Maintenance System of Diesel Locomotives. Unpublished doctoral dissertation. Omsk. 380 p. EDN: <https://elibrary.ru/VLUSIL>

Список литературы

1. Дмитренко, И. В. (1999). *Текущий ремонт и техническое обслуживание локомотивов*. Учебное пособие. Хабаровск. 120 с.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30 декабря 2016 г. № 2796р. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД».
3. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тепловозов 2ТЭ10, ТЭ10. ИО.
4. Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65–66. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
5. Колемаев, В. А., & Калинина, В. Н. (1997). *Теория вероятностей и математическая статистика*. Учебник (под ред. В. А. Колемаева). Москва: ИНФРА-М. 302 с. (Серия «Высшее образование»).
6. ОСТ 32 70-96. Тепловозы. Система сбора и обработки информации о надежности с мест эксплуатации. (1996).
7. Воробьев, А. А., & др. (2017). *Надежность подвижного состава*. Учебник. Москва: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». EDN: <https://elibrary.ru/ZDPXNP>
8. Четвергов, В. А., & Пузанков, А. Д. (2003). *Надежность локомотивов* (под ред. проф. В. А. Четвергова). Москва: Маршрут. 413 с. EDN: <https://elibrary.ru/SCNHJZ>
9. Вознюк, В. Н., Пушкарев, И. Ф., & Ставров, Т. В., & др. (1991). *Надежность тепловозов*. Москва: Транспорт. 159 с.
10. Четвергов, В. А. (1975). *Теоретические вопросы анализа и оптимизации надежности и системы ремонта тепловозов*. Диссертация

ция доктора технических наук. Омск. 380 с. EDN: <https://elibrary.ru/VLUSIL>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valeria A. Butusova, Senior Lecturer, Department of Railway Transport
Far Eastern State Transport University
47, Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation
va.butusova@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1996-0454>

Yuriy A. Davydov, Professor, Department of Railway Transport
Far Eastern State Transport University
47, Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation
puch@festu.khv.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7845-7487>

Alexey S. Kushniruk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Far Eastern State Transport University
47, Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation
alexey.kushniruk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3764-9332>
SPIN-code: 3037-4722

Denis Yu. Drogolov, Senior Lecturer, Department of Railway Transport
Far Eastern State Transport University
47, Serysheva Str., Khabarovsk, 680021, Russian Federation
pro@festu.khv.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6312-1991>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бутусова Валерия Алексеевна, старший преподаватель, кафедра
Транспорт железных дорог

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680021, Российская Федерация
va.butusova@yandex.ru

Давыдов Юрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680021, Российская Федерация
puch@festu.khv.ru

Кушнирук Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680021, Российская Федерация
alexey.kushniruk@mail.ru

Дроголов Денис Юрьевич, старший преподаватель, кафедра
Транспорт железных дорог

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680021, Российская Федерация
pro@festu.khv.ru

Поступила 10.05.2025

После рецензирования 14.06.2025

Принята 16.06.2025

Received 10.05.2025

Revised 14.06.2025

Accepted 16.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-361

EDN: UKYLNH

УДК 656.1



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО
ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦ
ВОЛГОГРАДСКАЯ И КОРОЛЕНКО Г. КАЗАНИ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Р.Р. Загидуллин, И.А. Банников

Аннотация

Дорожно-транспортное происшествие (ДТП) – явление, которое уже стало неотъемлемой частью человеческой жизни, и, хотя часто его воспринимают как данность, ДТП же имеет серьезные последствия для людей, несущие в себе физические травмы, эмоциональный стресс, финансовые потери, а также смерть. Кроме того, ДТП могут вызывать пробки на дорогах, что приводит к задержкам, создавая неудобства для перемещения.

Поэтому борьба с ДТП является важной задачей по всему миру. Для этого необходимы эффективные меры по предупреждению и снижению риска ДТП. В первую очередь безопасности способствует надлежащее планирование улично-дорожной сети, а для их оценки необходимо подкрепление обоснований эффективности предложенных мероприятий. Одним из методов обоснований возможностей оптимизации перекрестков выступает компьютерное имитационное моделирование, которое позволяет не только анализировать, но и прогнозировать поведение транспортных процессов.

Целью исследования является формирование практических инструментов для повышения безопасности дорожного движения.

Метод и методология проведения работы. Использованы теоретические и практические методы исследования: системного анализа, синтеза информации, наблюдений, измерений, эксперимента и сравнений.

Результаты. Представлены возможности практических инструментов при формировании и развитии транспортной инфраструктуры. Разработаны сценарии решения проблемы с безопасностью дорожного движения на одном из пересечений улично-дорожной сети г. Казани.

Область применения результатов. При оптимизации перекрестков, при оценке рисков ухудшения ситуации при неверном проектировании или при оценке эффективности использовать методы компьютерного моделирования.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; имитационное моделирование; дорожно-транспортные происшествия; место концентрации ДТП; аварийно-опасные участки; оптимизация организации дорожного движения

Для цитирования. Загидуллин, Р. Р., & Банников, И. А. (2025). Применение имитационного компьютерного моделирования для повышения безопасности дорожного движения на пересечении улиц Волгоградская и Короленко г. Казани Республики Татарстан. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 26–46. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-361>

Original article | Operation of Road Transport

THE USE OF COMPUTER SIMULATION TO IMPROVE ROAD SAFETY AT THE INTERSECTION OF VOLGOGRADSKAYA AND KOROLENKO STREETS IN KAZAN, REPUBLIC OF TATARSTAN

R.R. Zagidullin, I.A. Bannikov

Abstract

A traffic accident is a phenomenon that has already become an integral part of human life, and although it is often taken for granted, accidents have serious consequences for people, resulting in physical injury,

emotional stress, financial loss, and death. In addition, accidents can cause traffic jams, which leads to delays, creating inconveniences for movement.

Therefore, the fight against road accidents is an important task around the world. This requires effective measures to prevent and reduce the risk of accidents. First of all, proper planning of the road network contributes to safety, and in order to assess them, it is necessary to substantiate the effectiveness of the proposed measures. One of the methods of substantiating the possibilities of optimizing intersections is computer simulation, which allows not only analyzing, but also predicting the behavior of transport processes.

The **purpose** of the study is to develop practical tools for improving road safety.

Methodology. Theoretical and practical research methods were used: system analysis, information synthesis, observations, measurements, experiments and comparisons.

Results. The possibilities of practical tools in the formation and development of transport infrastructure are presented. Scenarios for solving the problem of road safety at one of the intersections of the Kazan city road network have been developed.

Practical implications. When optimizing intersections, when assessing the risks of deterioration in case of incorrect design, or when evaluating effectiveness, use computer modeling methods.

Keywords: computer modeling; simulation modeling; traffic accidents; place of concentration of accidents; accident-prone areas; optimization of traffic management

For citation. Zagidullin, R. R., & Bannikov, I. A. (2025). The use of computer simulation to improve road safety at the intersection of Volgogradskaya and Korolenko Streets in Kazan, Republic of Tatarstan. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 26–46. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-361>

Введение

ДТП остаются одной из ключевых социально-экономических проблем в России. По данным Государственной инспекции безо-

пасности дорожного движения Российской Федерации (ГИБДД РФ), в 2024 году зафиксировано более 132 тыс. аварий, в которых погибли около 14,4 тыс. человек [1].

Особую опасность представляют места концентрации ДТП (аварийно-опасные участки), где риски многократно превышают средние показатели. Традиционные методы анализа, такие как статистический учет и экспертные оценки, обладают ограниченной точностью, что актуализирует внедрение компьютерного моделирования для прогнозирования и оптимизации дорожной инфраструктуры [2].

Подход к анализу ДТП должен быть систематический, во множестве ДТП одного вида должна проявляться некая закономерность, которую нужно вычислить и принять меры по ее ликвидации [3-6].

Поэтому в данной статье исследуется применение компьютерного моделирования для ликвидации аварийно-опасных зон, а также оценивается влияние различных сценариев модификации дорожной сети на безопасность движения.

Анализ дорожно-транспортных происшествий

Согласно федеральному закону от 10.12.1995 N 196-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О безопасности дорожного движения» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) аварийно-опасный участок дороги (место концентрации дорожно-транспортных происшествий) - участок дороги, улицы, не превышающий 1000 метров вне населенного пункта или 200 метров в населенном пункте, либо пересечение дорог, улиц, где в течение отчетного года произошло три и более дорожно-транспортных происшествия одного вида или пять и более дорожно-транспортных происшествий независимо от их вида, в результате которых погибли или были ранены люди [7].

На выбранном пересечении улиц Волгоградская и Короленко произошло 3 ДТП с пострадавшими, что делает его аварийно-опасным участком дороги. По виду ДТП это были столкновения, произошедшие в разное время года и в разное время суток [8].

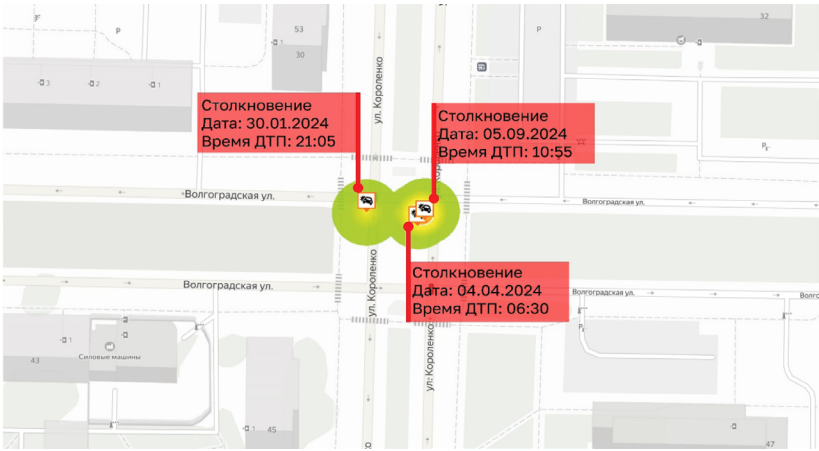


Рис. 1. Схема пересечения улиц Волгоградская и Королёво, на которой отмечены места ДТП

Анализ существующей организации дорожного движения на перекрестке

Для оптимизации движения транспортных средств на пересечениях дорог во многих городах разработаны и внедрены системы управления движением, в основе которых лежит автоматическое регулирование транспортного процесса с помощью светофоров [9-10].

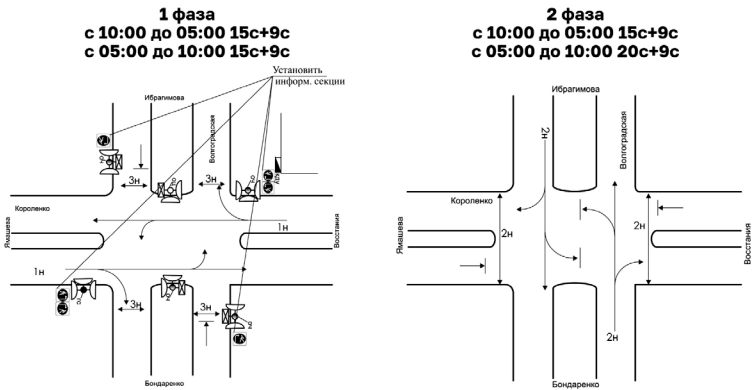


Рис. 2. Схема светофорных фаз на пересечении улиц Волгоградская и Королёво

Муниципальным казенным учреждением «Автоматизированная система управления дорожным движением» города Казани» (МКУ «АСУДД») были представлены данные по режимам светофорного регулирования для светофорного объекта, находящегося в границах моделируемой территории.

Схема с указанием режима светофорного регулирования рассматриваемого перекрестка приведена на рисунке 2.

Анализ натуральных обследований транспортных потоков на пересечении

Для выполнения данного этапа работ на перекрестке был произведено натурное обследование – видеофиксацию транспортных потоков в течении часа. Обследование совершалось в утренний час «пик» (с 7:30 до 8:30) и вечерний час «пик» (с 17:00 до 18:00).

Утренний час «пик»

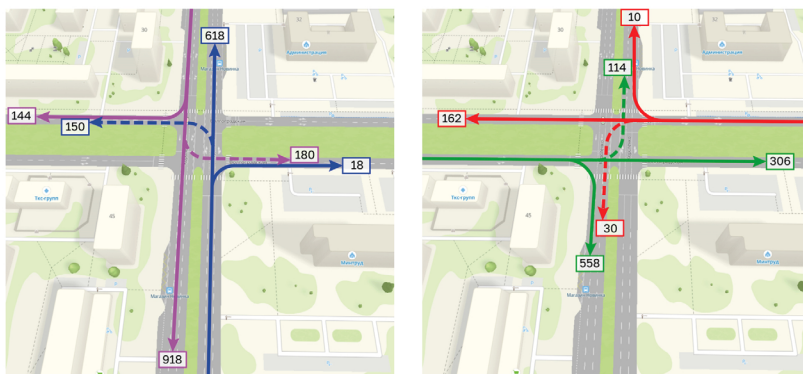


Рис. 3. Схема интенсивности автомобильных потоков на пересечении улиц Волгоградская и Короленко в утренний час «пик»

При проведении натурального обследования места фиксации транспортных средств выбирались с учетом возможности установки и калибровки оборудования и передвижной лаборатории, уровня освещенности, а также соответствия требованиям Правил дорожного движения и другой нормативной документации [11-14].

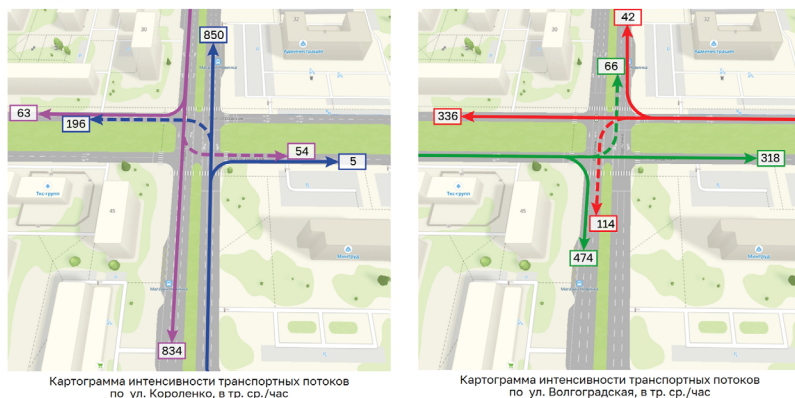
Вечерний час «пик»

Рис. 4. Схема интенсивности автомобильных потоков на пересечении улиц Волгоградская и Короленко в вечерний час «пик»

На следующем этапе осуществлялась расшифровка видео – замеры интенсивностей движения транспортных потоков для каждого из возможных на перекрестке направлений.

На рисунке 3 и рисунке 4 приведены полученные значения интенсивности автомобильных потоков в утренний и вечерние часы «пик» (соответственно), измеряемых в количестве автотранспортных средств.

Выявление конфликтных точек в организации дорожного движения на пересечении

В Правилах дорожного движения установлены нормативные требования, определяющие очередность проезда мест возможного конфликта транспортных средств между собой и с пешеходами. Правила обязывают при повороте налево уступить дорогу транспортным средствам, движущимся со встречного направления прямо, и тем самым обеспечивается рассредоточение во времени при проезде конфликтной точки. Существует также общее правило, требующее от водителей транспортных средств, поворачивающих на перекрестке направо или налево, уступать дорогу пешеходам,

которые переходят проезжую часть той дороги, в сторону которой совершается поворот [15-16].

Показателем наличия конфликтной ситуации является изменение скорости или траектории движения автомобиля. Степень опасности этой ситуации характеризуется отрицательными продольными и поперечными ускорениями, возникающими при маневрах автомобилей [17-18].

В рамках анализа движения транспортных потоков на перекрестке было выявлено 2 конфликтных направления: 1 – левый поворот с ул. Короленко на ул. Волгоградская, в сторону просп. Ибрагимова, и 2 – левый поворот с ул. Короленко на ул. Волгоградская, в сторону ул. Бондаренко.

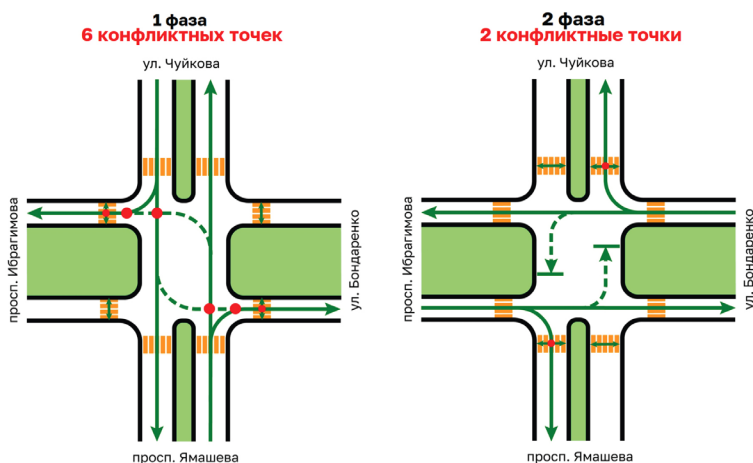


Рис. 5. Схема организации дорожного движения на пересечении улиц Волгоградская и Короленко с обозначенными конфликтными точками

Данные направления конфликтуют со встречным транспортным потоком, который движется в 3 полосы, а также с движением пешеходов, которые двигаются в той же светофорной фазе. Проблема заключается в том, что участники движения, выполняющие маневр, не корректно определяют дистанцию до встречно движущихся автомобилей, но еще опаснее, когда участники движения,

выполняющие маневр, не обратили внимание на впереди идущих пешеходов, в следствии чего останавливаются на полосах движения прямого обратного направления движения.

На рисунке 5 представлена схема организации дорожного движения на перекрестке с обозначенными конфликтными точками.

Применение компьютерного имитационного моделирования

В соответствии существующей организацией дорожного движения был построен граф улично-дорожной сети, которая отражает количество полос движения, дорожную инфраструктуру и технические средства организации дорожного движения.

В соответствии с данными, полученными от АСУДД, был запрограммирован светофор на узле в границах моделируемой территории, в соответствии с рисунком 2.

В соответствии со схемой организации движения, приведенной на рисунке 5, были смоделированы направления всех возможных движений автотранспортных средств в границах моделируемой территории, а также рассчитаны доли транспортного потока, «расщепляемые» по этим направлениям.

Входные потоки по створам также задавались в соответствии с данными, полученными на основании натурных обследований и замеров интенсивности транспортных потоков, приведенных на рисунке 3 и рисунке 4.

При компьютерном моделировании модель каждого автомобиля задается индивидуально, описывается взаимодействие автомобилей друг с другом и с дорожной сетью. Характер поведения автомобиля описывается с помощью правил, которые определяют, когда автомобиль ускоряется, замедляет скорость, а также когда перестраивается в другой ряд [19-21].

В результате выполненных всех условий получена имитационная транспортная модель, отражающая существующую ситуацию на пересечении улиц Волгоградская и Короленко.

На рисунке 6 представлена интенсивность движения и время задержки транспортного потока по сегментам улично-дорожной сети модели в утренний час «пик», отражающей существующую ситуацию.

На рисунке 7 представлена интенсивность движения и время задержки транспортного потока по сегментам улично-дорожной сети модели в вечерний час «пик», отражающей существующую ситуацию.



Рис. 6. Картограмма интенсивности движения улично-дорожной сети модели в утренний час «пик» на пересечении улиц Волгоградская и Короленко



Рис. 7. Картограмма интенсивности движения улично-дорожной сети модели в вечерний час «пик» на пересечении улиц Волгоградская и Короленко

Мероприятия, способствующие ликвидации конфликтных точек на пересечении

Для ликвидации выявленных конфликтных точек предложено отказаться от всех левых поворотов. Для реализации левых пово-

ротом предусматривается использование разворотных петель по всем 4-м направлениям, по улицам Волгоградская и Короленко. Для этого необходимо строительство разворотной петли по ул. Волгоградская, со стороны ул. Ибрагимова, остальные 3 разворотных петли уже имеются, две по ул. Короленко и одна по ул. Волгоградская, со стороны ул. Бондаренко. Изменения реализации левых поворотов представлена на рисунке 8.

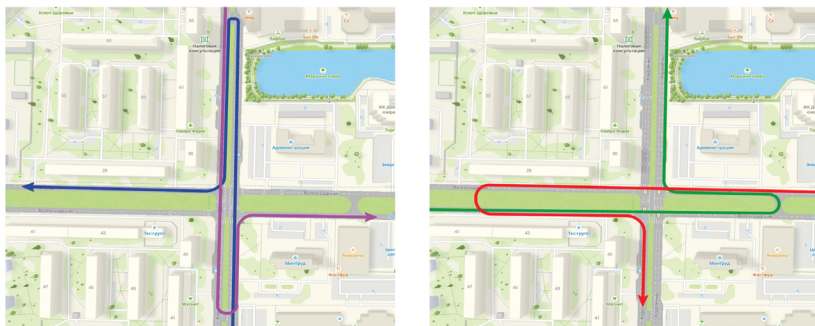


Рис. 8. Схемы реализации левых поворотов по улицам Волгоградская и Короленко

Новая организация движения на пересечении представлена на рисунке 9. Светофорные фазы остались без изменений, из фаз исключились левые повороты.

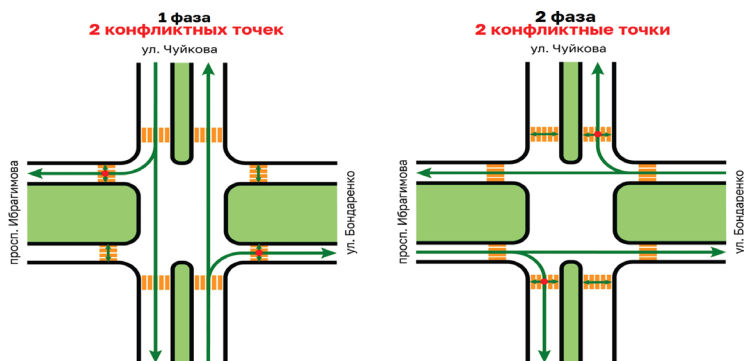
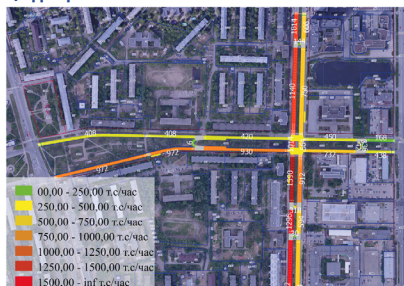


Рис. 9. Предложенная схема организации дорожного движения на пересечении улиц Волгоградская и Короленко с обозначенными конфликтными точками

Моделирование предложенных мероприятий, способствующие ликвидации конфликтных точек на пересечении

Имитационная модель может трактоваться как компьютерная лаборатория, с помощью которой можно проводить эксперименты и выносить суждения, справедливые по отношению к моделируемой системе. Изменения модели системы соответствует развитию самой системы, что позволяет, применяя технологии статистического анализа, на основании необходимых выборок значений переменных делать заключения о поведении системы [22-23].

Цифрограмма интенсивности потока

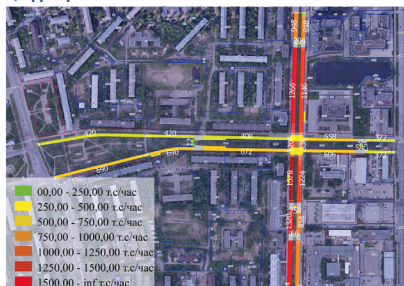


Цифрограмма времени задержки потока



Рис. 10. Картограмма интенсивности движения улично-дорожной сети модели в утренний час «пик» с реорганизацией дорожного движения на пересечении улиц Волгоградская и Короленко

Цифрограмма интенсивности потока



Цифрограмма времени задержки потока



Рис. 11. Картограмма интенсивности движения улично-дорожной сети модели в вечерний час «пик» с реорганизацией дорожного движения на пересечении улиц Волгоградская и Короленко

На основе построенной имитационной транспортной модели существующего положения создается новый сценарий, в рамках которого вносятся предложенные мероприятия реконструкции улично-дорожной сети, а также изменение в организации дорожного движения на пересечении.

На рисунке 10 представлена интенсивность движения и время задержки транспортного потока по сегментам улично-дорожной сети модели в утренний час «пик» проектного предложения по реорганизации дорожного движения.

На рисунке 11 представлена интенсивность движения и время задержки транспортного потока по сегментам улично-дорожной сети модели в вечерний час «пик» проектного предложения по реорганизации дорожного движения.

Сравнение результатов моделирования

Сравнивались 4 параметра результатов имитационной модели: время задержки, гармоническая скорость, плотность движения и интенсивность движения.

Результаты имитационного транспортного моделирования в утренний час «пик» и вечерний «час «пик» представлены в таблице 1 и таблице 2, соответственно.

Таблица 1.
**Результаты имитационного транспортного моделирования
в утренний час «пик»**

Параметры	Единицы	Сцен. 1	Сцен.2	Сравнение, %
				Сцен. 2/ Сцен. 1
Время задержки	сек/км	121,9	115,11	- 5,57
Гармоническая скорость	км/ч	21,32	22,21	4,17
Плотность	тр-х ср-в / км	10,93	11,11	1,65
Поток	тр-х ср-в /ч	2552	2553	0,04

Дифференциация уровней обслуживания движения проводится на основе постановления Правительства Российской Федерации от 16.11.2018 №1379 (ред. от 23.05.2024 «Об утверждении Пра-

вил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета», где основной характеристикой уровня обслуживания является «отношение средней скорости движения транспортных средств к скорости транспортных средств в условиях свободного движения» [24].

Таблица 2.

**Результаты имитационного транспортного моделирования
в вечерний час «пик»**

Параметры	Единицы	Сцен. 1	Сцен.2	Сравнение, %
				Сцен. 2/ Сцен. 1
Время задержки	сек/км	151,3	143,11	- 5,41
Гармоническая скорость	км/ч	18,2	18,98	4,29
Плотность	тр-х ср-в / км	14,11	14,41	2,13
Поток	тр-х ср-в /ч	2837	2832	- 0,18

Дифференциация уровней обслуживания движения в утренний час «пик» и вечерний «час «пик» представлены в таблице 3 и таблице 4, соответственно.

Таблица 3.

Дифференциация уровней обслуживания движения в утренний час «пик»

Уровень обслуживания ОДД (скорость)	Сцен. 1	Сцен. 2
	C	C

Таблица 4.

Дифференциация уровней обслуживания движения в вечерний час «пик»

Уровень обслуживания ОДД (скорость)	Сцен. 1	Сцен. 2
	D	D

Проведенное моделирование и отношение полученных результатов соответствующему уровню обслуживания приводит к следующим выводам:

В утренний час «пик» показатель скорости движения сценария 2 увеличивается на 4,17%, при этом сохраняет уровень обслуживания «С», (по сравнению с транспортной моделью существующего положения, представленной сценарием 1, который соответствует уровню обслуживания «С»).

В вечерний час «пик» показатель скорости движения сценария 2 увеличивается на 4,29%, при этом сохраняет уровень обслуживания «D», (по сравнению с транспортной моделью существующего положения, представленной сценарием 1, который соответствует уровню обслуживания «D»).

Полученные в ходе моделирования результаты двух сценариев демонстрируют нормативные уровни обслуживания, в соответствии с требованиями местных нормативов градостроительного проектирования городского округа Казань (МНГП), утвержденных решением Казанской городской Думы от 14.12.2016 №8–12 «О местных нормативах градостроительного проектирования городского округа Казань» (с изменениями от 28.02.2024 №8-28) [25].

Исходя из результатов, помимо повышения безопасности на пересечении, предложенные мероприятия увеличивают пропускную способность пересечения, увеличивают скорость движения и уменьшают время простоев транспортных средств, что только подкрепляет эффективность предложенного мероприятия

Заключение

Сегодня повышенное внимание уделяется повышению безопасности во всех направлениях деятельности, особенное внимание уделяется безопасности дорожного движения. В статье на разобранном примере продемонстрирована возможность инструмента, которое позволяет не допускать не правильных решений.

Компьютерное моделирование предоставляет инструменты для тестирования инфраструктурных решений. Исследование подтверждает целесообразность интеграции компьютерного моделирования в процессы городского планирования. Рекомендуется внедрение имитационных моделей в практику для повышения дорожного движения и минимизации социально-экономических потерь.

Список литературы

1. Официальный сайт Госавтоинспекции. Получено с <http://stat.gibdd.ru> (обращение 1 июня 2025 г.)

2. Шемякин, А. В., Андреев, К. П., Терентьев, В. В., Рябчиков, Д. С., & Марусин, А. В. (2018). Разработка проекта организации дорожного движения. *Вестник гражданских инженеров*, (2), 254–257. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-254-257> EDN: <https://elibrary.ru/USSNBE>
3. Баканов, К. С., Ляхов, П. В., Айсанов, А. С., Никулин, Е. Д., Исаев, М. М., Коблов, П. С., Царегородцева, Е. А., Смирнов, И. А., & Наумов, С. Б. (2024). Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. *Информационно-аналитический обзор*. Москва.
4. Баканов, К. С., Ляхов, П. В., Айсанов, А. С., Исаев, М. М., Коблов, П. С., Никулин, Е. Д., Царегородцева, Е. А., Смирнов, И. А., Наумов, С. Б., & Гавриленко, А. А. (2024). Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2024 года. *Информационно-аналитический обзор*. Москва.
5. Пьянкова, А. И., & Фаттахов, Т. А. (2019). Смертность от дорожно-транспортных происшествий в России: подходы к оценке, тенденции и перспективы. *Демографическое обозрение*, 6(3), 58–84. EDN: <https://elibrary.ru/TONMYF>
6. Корчагин, В. А., Ляпин, С. А., Клявин, В. Э., & Ситников, В. В. (2015). Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП. *Фундаментальные исследования*, (6-2), 251–256. EDN: <https://elibrary.ru/UBKBYX>
7. Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ (ред. от 8 августа 2024 г.). О безопасности дорожного движения (с изменениями и дополнениями, вступающими в силу с 1 сентября 2024 г.).
8. Индекс безопасности дорожного движения в Российской Федерации. (нет года). Получено с <https://ibdd.spetsdor.ru/map> (обращение 1 июня 2025 г.)
9. Киселев, В. А., Шемякин, А. В., Полищук, С. Д., Терентьев, В. В., Андреев, К. П., & Чурилов, Д. Г. (2018). Оптимизация транспортной инфраструктуры городов. *Транспортное дело России*, (5), 138–140. EDN: <https://elibrary.ru/HFAGZO>

10. Костюченко, В. В. (2016). Интеллектуальные системы управления автомобильным транспортом. В *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика* (т. 4, № 5-3, с. 256–261). EDN: <https://elibrary.ru/WZQDRB>
11. Андреев, К. П., Терентьев, В. В., & Агуреев, И. Е. (2017). Разработка мероприятий по оптимизации городской маршрутной сети. *Грузовик*, (8), 6–9. EDN: <https://elibrary.ru/ZQPXTB>
12. Митюгин, В. А., & Фролов, Н. А. (2015). Методика исследования характеристик транспортных потоков на примере города Тулы. *Известия ТулГУ. Технические науки*, (6), ч. 1, 118–125. EDN: <https://elibrary.ru/UJLJGT>
13. Кураксин, А. А., & Шемякин, А. В. (2016). Метод выявления узких мест в транспортной сети города на основе динамического моделирования транспортных потоков на мезоскопическом уровне. *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*, (4), 39–45. EDN: <https://elibrary.ru/WMTOBB>
14. Андреев, К. П., Терентьев, В. В., & Шемякин, А. В. (2018). Наблюдение с помощью передвижной дорожной лаборатории. *Бюллетень транспортной информации*, (4), 16–19. EDN: <https://elibrary.ru/CKRAUL>
15. Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 г. № 1090 (ред. от 6 декабря 2024 г.). О правилах дорожного движения.
16. Загидуллин, Р. Р. (2021). Запрет левого поворота для движения на регулируемом перекрестке с организацией объезда по кварталам. *Техника и технология транспорта*, (2), 11. EDN: <https://elibrary.ru/NZAASM>
17. ОДМ 218.4.004-2009. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог (рекомендован распоряжением Росавтодора от 21 июля 2009 г. № 260-р).
18. Басков, В. Н., Борисов, Б. И., & Кокушкин, А. Б. (2013). Современные методы по ликвидации мест концентрации ДТП и увеличению пропускной способности дорог. *Вестник Саратовского госу-*

- дарственного технического университета*, 2(71), 337–341. EDN: <https://elibrary.ru/RCNIZJ>
19. Воробьев, А. И., Шадрин, А. В., Гаврилюк, М. В., & Жанказиев, С. В. (2016). Имитационное моделирование в проектах интеллектуальных транспортных систем. Москва.
 20. Жанказиев, С. В. (2016). *Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем*. Учебное пособие. Москва: МАДИ. 104 с. EDN: <https://elibrary.ru/VUOCCP>
 21. Воробьев, А. И., & Морданов, И. С. (2013). Исследовательский комплекс моделирования интеллектуальных транспортных систем. *Автотранспортное предприятие*, (12), 40–41. EDN: <https://elibrary.ru/ROMJKR>
 22. Куфтинова, Н. Г. (2017). Разработка региональной транспортной модели с помощью имитационного моделирования. В *Сборнике статей XII Международного научно-практического конкурса* (с. 25–28). EDN: <https://elibrary.ru/ZQMCTZ>
 23. Куфтинова, Н. Г., & Боровков, А. О. (2017). Анализ транспортных потоков с помощью программных средств имитационного моделирования. *Автоматизация и управление в технических системах*, (2), 10. EDN: <https://elibrary.ru/YVNEFQ>
 24. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2018 г. № 1379 (ред. от 23 мая 2024 г.) «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета».
 25. Решение Казанской городской Думы от 14 декабря 2016 г. № 8-12 «О местных нормативах градостроительного проектирования городского округа Казань» (с изменениями от 28 февраля 2024 г. № 8-28).

References

1. Official Website of the State Auto Inspectorate. Retrieved June 1, 2025, from <http://stat.gibdd.ru>
2. Shemyakin, A. V., Andreev, K. P., Terent'ev, V. V., Ryabchikov, D. S., & Marusin, A. V. (2018). Development of road traffic organiza-

- tion project. *Bulletin of Civil Engineers*, (2), 254–257. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-2-254-257> EDN: <https://elibrary.ru/USSNBE>
3. Bakanov, K. S., Lyakhov, P. V., Aysanov, A. S., Isaev, M. M., Koblov, P. S., Nikulin, E. D., Tsaregorodtseva, E. A., Smirnov, I. A., Naumov, S. B., & Gavrilenko, A. A. (2024). Road accidents in the Russian Federation in 2023. *Informational-Analytical Overview*. Moscow.
 4. Bakanov, K. S., Lyakhov, P. V., Aysanov, A. S., Isaev, M. M., Koblov, P. S., Nikulin, E. D., Tsaregorodtseva, E. A., Smirnov, I. A., & Naumov, S. B. (2024). Road accidents in the Russian Federation for nine months of 2024. *Informational-Analytical Overview*. Moscow.
 5. Pyankova, A. I., & Fatkhov, T. A. (2019). Mortality from road traffic accidents in Russia: approaches to assessment, tendencies, and prospects. *Demographic Review*, 6(3), 58–84. EDN: <https://elibrary.ru/TONMYF>
 6. Korchagin, V. A., Lyapin, S. A., Klyavin, V. E., & Sitnikov, V. V. (2015). Improving road safety through analysis of accident rates and traffic accident modelling. *Fundamental Research*, (6-2), 251–256. EDN: <https://elibrary.ru/UBKBYX>
 7. Federal Law No. 196-FZ dated December 10, 1995 (as amended on August 8, 2024). On road safety.
 8. Road Safety Index in the Russian Federation. Retrieved June 1, 2025, from <https://ibdd.spetsdor.ru/map>
 9. Kiselev, V. A., Shemyakin, A. V., Polishchuk, S. D., Terent'ev, V. V., Andreev, K. P., & Churilov, D. G. (2018). Optimization of urban transport infrastructure. *Transportation Affairs of Russia*, (5), 138–140. EDN: <https://elibrary.ru/HFAGZO>
 10. Kostyuchenko, V. V. (2016). Intelligent systems for managing road transport. In *Relevant Directions of Scientific Research in the XXI Century: Theory and Practice* (Vol. 4, No. 5-3, pp. 256–261). EDN: <https://elibrary.ru/WZQDRB>
 11. Andreev, K. P., Terent'ev, V. V., & Agureev, I. E. (2017). Development of measures to optimize urban route network. *Freight Truck*, (8), 6–9. EDN: <https://elibrary.ru/ZQPXTB>

12. Mitiugin, V. A., & Frolov, N. A. (2015). Methodology for investigating traffic flow characteristics exemplified by the city of Tula. *Izvestiya TulGU. Technical Sciences*, (6), Part 1, 118–125. EDN: <https://elibrary.ru/UJLJGT>
13. Kuraksin, A. A., & Shemyakin, A. V. (2016). Method for identifying bottlenecks in urban transport networks based on mesoscopic-level dynamic traffic flow simulation. *Energy Conservation and Resource Saving: Industry and Transport*, (4), 39–45. EDN: <https://elibrary.ru/WMTOBB>
14. Andreev, K. P., Terent'ev, V. V., & Shemyakin, A. V. (2018). Field investigation using mobile road laboratory. *Bulletin of Transport Information*, (4), 16–19. EDN: <https://elibrary.ru/CKRAUL>
15. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1090 dated October 23, 1993 (as amended on December 6, 2024). On traffic rules.
16. Zagidullin, R. R. (2021). Banning left turns at controlled intersections with bypass arrangements. *Vehicle and Transport Technology*, (2), 11. EDN: <https://elibrary.ru/HZAASM>
17. ODM 218.4.004-2009. Guidance on Elimination and Prevention of Locations with High Rates of Road Accidents during Highway Operation (Recommended by Order of Rosavtodor No. 260-r dated July 21, 2009).
18. Baskov, V. N., Borisov, B. I., & Kokushkin, A. B. (2013). Modern methods for eliminating locations with high accident rates and increasing road capacity. *Saratov State Technical University Bulletin*, 2(71), 337–341. EDN: <https://elibrary.ru/RCNIZJ>
19. Vorobyov, A. I., Shadrin, A. V., Gavril'yuk, M. V., & Zhankaziyev, S. V. (2016). Simulation Modelling in Projects of Intelligent Transport Systems. Moscow.
20. Zhankaziyev, S. V. (2016). *Development of Intelligent Transport Systems Projects*. Textbook. Moscow: MADI. 104 p. EDN: <https://elibrary.ru/VUOCCP>
21. Vorobyov, A. I., & Mordanov, I. S. (2013). Research Complex for Simulating Intelligent Transport Systems. *Commercial Carrier*, (12), 40–41. EDN: <https://elibrary.ru/ROMJKR>

22. Kuftinova, N. G. (2017). Development of regional transport model using simulation. In *Collection of Articles of the XII International Scientific and Practical Contest* (pp. 25–28). EDN: <https://elibrary.ru/ZQMCTZ>
23. Kuftinova, N. G., & Borovkov, A. O. (2017). Analysis of traffic flows using simulation software. *Automation and Control in Technical Systems*, (2), 10. EDN: <https://elibrary.ru/YVNEFQ>
24. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1379 dated November 16, 2018 (as amended on May 23, 2024). On approval of rules for defining main road traffic parameters and maintaining records thereof.
25. Decision of the Kazan City Council No. 8-12 dated December 14, 2016 (amended on February 28, 2024, No. 8-28). On Local Norms of Urban Planning for the Municipality of Kazan.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Загидуллин Рамиль Равильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструктивно-дизайнерского проектирования Института дизайна и пространственных искусств *Казанский (Приволжский) федеральный университет*
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
Ramil.Zagidullin@kpfu.ru

Банников Иван Андреевич, магистрант 2 курса Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии *Казанский (Приволжский) федеральный университет*
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
banan200088@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ramil R. Zagidullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural and Design Engineering, Institute of Design and Spatial Arts

*Kazan (Volga region) Federal University
18, Kremlin Str., Kazan, 420008, Russian Federation
Ramil.Zagidullin@kpfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5185-2690>
ResearcherID: E-5671-2018
Scopus AuthorID: 57193743308*

Ivan A. Bannikov, 2nd year Graduate Student at the Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering
*Kazan (Volga region) Federal University
18, Kremlin Str., Kazan, 420008, Russian Federation
banan200088@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9602-2465>
ResearcherID: NLN-9180-2025*

Поступила 01.06.2025

После рецензирования 15.06.2025

Принята 23.06.2025

Received 01.06.2025

Revised 15.06.2025

Accepted 23.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-359

EDN: VYOIPIY

УДК 614.88:656.073:519.8



Научная статья | Управление процессами перевозок

К ВОПРОСУ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ: АКТУАЛЬНОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

*И.М. Челышков, А.И. Жуков,
И.А. Асманов*

Аннотация

Обоснование. В статье рассматриваются актуальные проблемы оптимизации транспортного обеспечения скорой медицинской помощи (далее – СМП) в Российской Федерации. Анализируется текущее состояние системы, выявляются основные проблемы, такие как неравномерность распределения вызовов, неоптимальное расположение подстанций, устаревший автопарк и неэффективная диспетчеризация. Предлагаются направления исследований и разработок, направленные на повышение эффективности работы СМП, включая дифференцированный подход к оптимизации в зависимости от формы оказания помощи (экстренная и неотложная), применение теории массового обслуживания, оптимизацию расположения станций, внедрение современных методов маршрутизации и диспетчеризации, а также использование искусственного интеллекта и нейронных сетей. Подчеркивается необходимость адаптации решений к специфике различных регионов России, и предлагаются конкретные темы для дальнейших исследований. Статья призвана привлечь внимание ученых и практиков к актуальным вопросам совершенствования логистики СМП для улучшения доступности и качества медицинской помощи населению.

Цель – разработка научно обоснованных подходов к оптимизации транспортного обеспечения СМП в Российской Федерации, для повышения эффективности работы службы, сокращения времени прибытия бригад и улучшения качества медицинской помощи населению.

Материалы и методы. Главный метод исследования – теоретически-статистический анализ текущего состояния системы и выявления основных проблем оптимизации транспортного обеспечения СМП в Российской Федерации. Статья базируется на комплексе источников, представленных нормативными правовыми актами, делопроизводством, статистическими и справочными материалами, периодикой.

Результаты. В данной статье произведен анализ текущего состояния транспортного обеспечения (далее – ТО) СМП и был выявлен ряд ключевых вызовов, включая неравномерное распределение вызовов, неоптимальное расположение подстанций, устаревший автопарк, неэффективную диспетчеризацию и ограниченность финансирования. Предложенные направления исследований и разработок, основанные на дифференцированном подходе к оптимизации в зависимости от формы оказания помощи (экстренная и неотложная), применении теории массового обслуживания, оптимизации расположения станций, внедрении современных методов маршрутизации и диспетчеризации, а также использовании искусственного интеллекта и нейронных сетей, представляют собой комплексный план действий для повышения эффективности работы ТО СМП.

Ключевые слова: скорая медицинская помощь; транспортное обслуживание; оптимизация; теория массового обслуживания; диспетчеризация; маршрутизация

Для цитирования. Чельшков, И. М., Жуков, А. И., & Асманов, И. А. (2025). К вопросу транспортного обеспечения скорой медицинской помощи: актуальность и направления исследований. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 47–63. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-359>

Original article | Transportation Process Management

ON THE ISSUE OF EMERGENCY MEDICAL SERVICE TRANSPORTATION SUPPORT: RELEVANCE AND RESEARCH DIRECTIONS

*I.M. Chelyshkov, A.I. Zhukov,
I.A. Asmanov*

Abstract

Background. The article examines current challenges in optimizing emergency medical services (EMS) transportation logistics in the Russian Federation. It analyzes the system's current state, identifying key issues such as uneven call distribution, suboptimal station placement, outdated vehicle fleets, and inefficient dispatch operations. The study proposes research directions and development approaches to enhance EMS efficiency, including differentiated optimization strategies based on service type (emergency vs. urgent care), queuing theory applications, station location optimization, advanced routing and dispatching methods, and artificial intelligence/neural network implementations. The work emphasizes the need for region-specific solution adaptation and suggests concrete topics for further research. This article aims to draw researchers' and practitioners' attention to critical EMS logistics improvement opportunities to enhance healthcare accessibility and quality for the population.

Purpose – development of scientifically grounded approaches to optimize emergency medical services transportation logistics in the Russian Federation, aimed at enhancing service efficiency, reducing response times, and improving the quality of medical care for the population.

Materials and methods. The primary research method is theoretical-statistical analysis of the current system state and identification of key optimization challenges in EMS transportation logistics in the Russian Federation. The study is based on a comprehensive set of sources includ-

ing regulatory legal acts, official records, statistical and reference materials, and periodical publications.

Results. This paper presents an analysis of the current state of ambulance service transportation support, identifying several key challenges, including uneven call distribution, suboptimal station location, an aging vehicle fleet, inefficient dispatching, and limited funding. The proposed research and development directions, based on a differentiated approach to optimization depending on the type of care provided (emergency and urgent), application of queuing theory, optimized station placement, implementation of advanced routing and dispatching methods, and the utilization of artificial intelligence and neural networks, constitute a comprehensive action plan for improving the efficiency of ambulance service transportation support operations.

Keywords: ambulance service; emergency medical service; transportation support; transport logistics; vehicle maintenance; optimization; queuing theory; dispatching; dispatch operations; routing; route planning

For citation. Chelyshkov, I. M., Zhukov, A. I., & Asmanov, I. A. (2025). On the issue of emergency medical service transportation support: relevance and research directions. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 47–63. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-359>

Введение

Скорая медицинская помощь является важнейшим элементом системы здравоохранения, оказывающим непосредственное влияние на уровень смертности населения. В условиях демографических вызовов, стоящих перед Россией, повышение эффективности СМП приобретает особую актуальность и значимость. Своевременное и качественное оказание экстренной медицинской помощи играет решающую роль в спасении жизней и снижении инвалидизации населения.

Право на охрану здоровья и оказание медицинской помощи закреплено на Конституционном уровне, что подкрепляется национальным интересом Российской Федерации по сбережению народа, заключающимся в формировании условий для укрепления

здоровья граждан, увеличение продолжительности жизни и снижение смертности [11; 12].

Необходимо отметить, что улучшение медицинского обслуживания, в том числе скорой медицинской помощи, является одним из показателей национального проекта Российской Федерации «Продолжительная и активная жизнь», рассчитанного на период 2025-2030 гг. Достижение целей, обозначенных в данном проекте, напрямую связано с оптимизацией процессов, протекающих в системе СМП, и повышением доступности и качества медицинской помощи для населения.

В настоящее время наблюдается значительный прогресс в области информационных технологий, логистики и транспортного обслуживания. Современные разработки, такие как системы оптимизации и моделирования логистических систем, алгоритмы маршрутизации, геоинформационные системы (ГИС), навигационные системы, а также технологии искусственного интеллекта и нейронных сетей, открывают широкие возможности для повышения эффективности деятельности СМП. Внедрение этих технологий в практику работы скорой медицинской помощи позволит сократить время прибытия бригад на вызов, оптимизировать маршруты движения, более эффективно распределять ресурсы и повысить качество оказываемой медицинской помощи.

Однако, система СМП сталкивается с рядом вызовов, в числе которых – дефицит ресурсов (финансовых, материальных) и кадровый голод. В условиях ограниченности ресурсов, оптимизация логистической системы и транспортного обслуживания становится ключевым фактором достижения целевых показателей эффективности СМП.

Материалы и методы

Система транспортного обеспечения подстанций скорой медицинской помощи (далее – ТО СМП) играет ключевую роль в обеспечении своевременной и качественной скорой медицинской

помощи населению. От эффективности работы этой системы напрямую зависит скорость прибытия бригады на вызов, а следовательно, жизнь и здоровье пациентов. В современных условиях, характеризующихся ростом городов, увеличением интенсивности дорожного движения и изменением демографической ситуации, система ТО СМП сталкивается с новыми вызовами, требующими пересмотра существующих подходов к организации работы и внедрения инновационных решений. Анализ современных научных публикаций (2021–2024 гг.) позволяет выявить ряд ключевых проблем, сдерживающих развитие системы и снижающих её эффективность.

Одной из наиболее острых проблем является неравномерное распределение вызовов во времени и пространстве. В часы пик, в выходные и праздничные дни, а также в определенных районах городов нагрузка на подстанции скорой медицинской помощи значительно возрастает. Это приводит к увеличению времени ожидания бригады, особенно в часы пик, и снижению доступности медицинской помощи. Данная проблема усугубляется в периоды сезонных заболеваний (эпидемии гриппа, ОРВИ) и во время проведения массовых мероприятий, когда количество вызовов может многократно увеличиваться.

Неоптимальное расположение подстанций является еще одним важным фактором, негативно влияющим на скорость прибытия бригад. Расположение подстанций скорой медицинской помощи зачастую не соответствует современным требованиям и не учитывает изменения в городской застройке, плотности населения, развитии транспортной инфраструктуры и миграции населения. Это приводит к увеличению времени прибытия на вызов, особенно в отдаленных, недавно застроенных или густонаселенных районах, что напрямую влияет на скорость оказания медицинской помощи и, следовательно, на жизни пациентов.

Устаревший автопарк и недостаточное оснащение автомобилей скорой медицинской помощи являются серьезной проблемой, тре-

бующей незамедлительного решения. Значительная часть автопарка скорой медицинской помощи в регионах России характеризуется высоким износом, моральным устареванием и низким уровнем оснащения современным медицинским оборудованием. Это приводит к частым поломкам, увеличению затрат на ремонт и обслуживание, снижению надежности работы системы и, как следствие, ухудшению качества оказываемой медицинской помощи. Также сказывается и неэффективная диспетчеризация, а также проблемы с использованием ресурсов. Проблемы с маршрутизацией, связанные с отсутствием актуальной информации о дорожной обстановке, неоптимальным выбором маршрутов и недостаточным использованием навигации, приводят к задержкам в прибытии бригад на вызовы [2, с. 15].

Ограниченность финансирования является одним из основных факторов, сдерживающих развитие системы скорой медицинской помощи и препятствующих решению вышеперечисленных проблем. Ограниченные финансовые ресурсы не позволяют своевременно обновлять автопарк, приобретать современное оборудование, внедрять цифровые технологии, повышать заработную плату медицинским работникам и обеспечивать достойные условия труда, что в итоге негативно сказывается на качестве оказания медицинской помощи населению [5, с. 14].

Не стоит забывать, что организация работы скорой медицинской помощи зависит и от региона России, в котором она находится. Особенности, обусловлены географическими, климатическими, демографическими и экономическими факторами. В крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, проблемы связаны с высокой плотностью населения, интенсивным движением транспорта и сложной транспортной инфраструктурой. В сельской местности проблемы с ТО СМП усугубляются из-за больших расстояний, плохих дорог, низкой плотности населения и ограниченного доступа к медицинским учреждениям. Для эффективно функционирования скорой медицинской помощи необходимо

учитывать эти особенности и адаптировать подходы к организации работы в соответствии с региональными условиями.

Анализ текущего состояния ТО СМП выявил ряд проблем, требующих комплексного решения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку научно обоснованных методов и моделей оптимизации ТО СМП.

Оптимизация ТО СМП требует комплексного подхода, включающего разработку и внедрение инновационных методов и технологий, учитывающих специфику различных форм оказания медицинской помощи и региональные особенности. Федеральный закон № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» определяет два вида оказания СМП: экстренную и неотложную. Этот фактор существенно влияет на критерии оптимизации ТО СМП, требуя дифференцированного подхода к логистическим решениям.

В зависимости от формы оказания скорой медицинской помощи задачи оптимизации будет иметь различные критерии и ограничения.

В случае экстренной помощи, когда есть явная угроза жизни человека и требуется экстренная и оперативная медицинская помощь с возможностью скорейшей госпитализации, критерием оптимизации является минимизация времени прибытия бригады к пациенту. Это требует разработки алгоритмов оперативной маршрутизации, приоритезации вызовов и оптимального распределения ресурсов в режиме реального времени. Необходимо учитывать дорожную обстановку, наличие свободных бригад, квалификацию бригады и оснащение автомобиля.

В случае неотложной помощи, когда отсутствуют явные признаки угрозы жизни пациента, критерием оптимизации является минимизация материальных затрат на содержание системы скорой помощи при установленных показателях времени ожидания бригады и обеспечения доступности медицинской помощи для пациентов.

Теория массового обслуживания (далее – ТМО) предоставляет инструментарий для анализа и оптимизации логистической системы СМП. На основе статистических данных об интенсивности поступления вызовов, времени обслуживания, квалификации персонала и целевых показателях качества (среднее время ожидания, длина очереди и т.п.) можно определить оптимальное количество бригад, машин и необходимое оснащение для различных периодов времени и территорий.

На основе статистических данных за длительный период времени об интенсивности поступления вызовов, времени обслуживания, квалификации персонала и целевых показателях качества (среднее время ожидания, длина очереди и т.п.) можно прогнозировать количество вызовов и необходимый объем ресурсов для обеспечения требуемого уровня сервиса [1, с. 10].

Постановка в очередь и выход из неё, как элемент ТМО, для СМП представляет собой очередь постановки обслуживания пациентов по вызовам, где последний приходящий вызов добавляется в конец очереди. Формируется две очереди, первая для экстренной категории вызовов, вторая для неотложной. Фактически принцип постановки в очередь является не только задачей транспортной, но и биоэтической, из-за чего лицо, ответственное за принятие решений в области приоритета обслуживания пациентов может изменять порядок очереди из врачебных соображений, но не имеет право назначать автомобили СМП на обслуживание неотложных вызовов, пока не будут выполнены все экстренные вызовы. Но при рассмотрении процесса постановки вызовов в очередь в разрезе транспортного обслуживания биоэтический фактор учитываться не будет.

Вторым элементом, необходимым к рассмотрению ТМО в области ТО СМП, является правило обслуживания пациентов. На один автомобиль службы скорой медицинской помощи приходит один пациент. При использовании данных о совершенных вызовах за год и времени на оказании помощи по этим вызовам можно

определить среднее время на оказание помощи. Если вызов является экстренным, то время на обслуживание пациента складывается из времени прибытия автомобиля к пациенту, времени оказания медицинской помощи и размещения пациента в автомобиле СМП и времени его транспортировки в пункт оказания медицинской помощи (формула 1). В свою очередь неотложные вызовы могут завершиться либо оказанием помощи на дому, либо доставкой в больницу (формула 2):

$$T_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} (T_{\text{пр}} + T_{\text{оп}} + T_{\text{дост}})}{DN_{\text{э}}}, \text{ ч} \quad (1)$$

где $T_{\text{э}}$ – среднесуточное время на обслуживание одного экстренного вызова,

$N_{\text{э}}$ – общее количество экстренных вызовов за год,

$T_{\text{пр}}$ – среднее время прибытия до пациента,

$T_{\text{оп}}$ – среднее время на оказание первой медицинской помощи,

$T_{\text{дост}}$ – среднее время на доставку пациента в больницу,

D – количество календарных дней.

$$T_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{н}}} [p(T_{\text{пр}} + T_{\text{опд}} + T_{\text{дост}})_i + (1 - p)(T_{\text{пр}} + T_{\text{опд}})_i]}{DN_{\text{н}}}, \text{ ч} \quad (2)$$

где $T_{\text{н}}$ – среднесуточное время на обслуживание одного неотложного вызова,

$N_{\text{н}}$ – общее количество неотложных вызовов за год,

p – вероятность необходимости доставки пациента в больницу (например, 0.3, если 30% пациентов доставляются в больницу),

$T_{\text{опд}}$ – среднее время на оказание медицинской помощи на дому,

D – количество календарных дней.

Используя модели ТМО для города с населением X и средней интенсивностью вызовов Y вызовов в час, можно определить минимальное количество бригад, необходимое для обслуживания поступающих вызовов с учетом допустимого времени ожидания и других показателей качества для различных периодов времени и

территорий. Данная задача может быть решена проведением экспериментов с использованием имитационной модели.

Расположение станций СМП оказывает существенное влияние на время прибытия бригад к пациентам. Оптимизация расположения станций с учетом географических, демографических и инфраструктурных особенностей территории, является важной задачей.

Количество станций и их расположение должно обеспечивать равномерное покрытие территории и минимальное время прибытия бригад в любой район города или населенного пункта. При этом необходимо учитывать экономические аспекты, чтобы обеспечить оптимальное соотношение затрат и эффективности. При выборе мест для станций необходимо учитывать наличие подъездных путей, доступность транспортной инфраструктуры и другие факторы.

Для решения этой задачи необходимо использовать логистическое моделирование, которое представляет собой комплексный подход к оптимизации транспортной логистики с использованием математических методов, компьютерных технологий и географических информационных систем (далее – ГИС). Для разработки модели используются ГИС-анализ, позволяющий выявить районы города, в которых время прибытия скорой медицинской помощи превышает норматив, а также методы математического программирования, включающие задачу о покрытии множества (Set Covering Problem) и задачу о размещении (Location Problem).

Современные технологии маршрутизации и диспетчеризации позволяют значительно повысить эффективность работы ТО СМП. Так, внедрение комплексной транспортной диспетчеризации (системы навигации, мониторинга дорожной обстановки) позволит диспетчерам отслеживать местоположение бригад в режиме реального времени и направлять их по оптимальным маршрутам и избегать задержек.

Мобильные приложения для бригад скорой медицинской помощи предоставляют информацию о вызове, обеспечивают навигацию

и доступ к медицинской информации. Технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ) позволяют прогнозировать спрос на услуги скорой медицинской помощи, оптимизировать маршруты и поддерживать принятие решений диспетчерами. Для прогнозирования количества вызовов в зависимости от погодных условий и времени суток могут использоваться нейронные сети [6, с. 5].

Результаты и обсуждение

Предложенные направления исследований и разработок, основанные на дифференцированном подходе к оптимизации в зависимости от формы оказания помощи (экстренная и неотложная), применении теории массового обслуживания, оптимизации расположения станций, внедрении современных методов маршрутизации и диспетчеризации, а также использовании искусственного интеллекта и нейронных сетей, представляют собой комплексный план действий для повышения эффективности работы ТО СМП.

Авторы данной статьи видят перспективу в следующих направлениях исследований в сфере ТО СМП:

- разработка математических моделей и алгоритмов оптимизации логистической системы СМП с учетом специфики различных регионов России, основанных на ТМО и имитационном моделировании.
- исследование возможности применения искусственного интеллекта и нейронных сетей для прогнозирования нагрузки на СМП и приоритизации вызовов. Важным является разработка систем поддержки принятия решений для диспетчеров, позволяющих оперативно принимать обоснованные решения в условиях дефицита информации и ограниченности ресурсов.
- разработка и апробация новых методов маршрутизации и диспетчеризации с использованием современных геоинформационных систем и данных о дорожной обстановке в режиме реального времени.

- разработка экономических моделей оценки эффективности различных вариантов организации системы СМП, учитывая различные формы оказания медицинской помощи.

Ожидается, что результаты предложенных исследований позволят повысить эффективность работы СМП, сократить время прибытия на вызовы, улучшить качество оказываемой медицинской помощи и внести вклад в достижение целей национального проекта «Продолжительная и активная жизнь».

Заключение

Настоящая статья посвящена актуальным проблемам и перспективным направлениям исследований в области оптимизации ТО СМП. Анализ текущего состояния ТО СМП выявил ряд ключевых вызовов, включая неравномерное распределение вызовов, неоптимальное расположение подстанций, устаревший автопарк, неэффективную диспетчеризацию и ограниченность финансирования.

Список литературы

1. Аксенов, И. М. (1990). *Теория транспортных процессов и систем*. Учебник. Москва: Транспорт. 344 с.
2. Вентцель, Е. С. (2001). *Исследование операций: задачи, принципы, методология*. Учебное пособие для студентов вузов (2-е изд., стереотип.). Москва: Высшая школа. 208 с.
3. Гмурман, В. Е. (2008). *Теория вероятностей и математическая статистика*. Учебное пособие для студентов вузов (12-е изд., переработанное). Москва: Высшее образование. 479 с.
4. Колесниченко, В. Н. (2002). *Информационные технологии на транспорте*. Учебник. Ростов-на-Дону: Феникс. 480 с.
5. Дик, В. В. (ред.). (2006). *Корпоративные информационные системы*. Учебник. Москва: Финансы и статистика. 400 с.
6. Аникин, Б. А. (ред.). (2007). *Логистика*. Учебник (3-е изд., переработанное и дополненное). Москва: ИНФРА-М. 368 с.

7. Миротин, Л. Б., & Ташбаев, И. Э. (2002). *Логистика*. Учебное пособие для студентов вузов. Москва: Экзамен. 352 с.
8. Неруш, Ю. М. (2010). *Логистика*. Учебник для вузов (4-е изд., переработанное и дополненное). Москва: Проспект. 520 с.
9. Сафронов, Э. А. (2004). *Организация перевозок на автомобильном транспорте*. Учебное пособие для студентов вузов. Москва: Академия. 368 с.
10. Шрайбман, И. М. (2008). *Теория массового обслуживания*. Учебное пособие. Томск: Издательство ТПУ. 129 с.
11. Конституция Российской Федерации. (1993). Официальный интернет-портал правовой информации. Статья 41 с изменениями и дополнениями от 01.12.2020.
12. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». (2021). Официальный интернет-портал правовой информации. Статья 25.
13. Капский, Д. В., Богданович, С. В., Куренков, П. В., & Филиппова, Н. А. (2024). Вопросы совершенствования транспортной отрасли в условиях развития подключённых транспортных средств. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, (3), 64–73. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-3-64> EDN: <https://elibrary.ru/JIPRZJ>
14. Ниязов, Б. С., & Ниязова, С. Б. (2022). Процессные модели развития триады подсистем лечебно-профилактических учреждений: управление, ресурсы, потенциал. Ресурсы. *Бюллетень науки и практики*, 8(2), 131–136. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/75/18> EDN: <https://elibrary.ru/STKPKS>
15. Иващенко, В. В., Попова, Е. А., & Онищенко, А. Н. (2023). Некоторые проблемы автомобильного санитарного транспорта. *Психосоматические и интегративные исследования*, 9(4), 401. EDN: <https://elibrary.ru/UALDLI>
16. Борисов, А. В., Босов, А. В., Жуков, Д. В., & Иванов, А. В. (2022). Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: аналитические задачи. *Системы и средства информатики*, 32(1), 4–17. <https://doi.org/10.14357/08696527220101> EDN: <https://elibrary.ru/WHTIRG>

References

1. Aksyonov, I. M. (1990). *Theory of Transport Processes and Systems*. Moscow: Transport. 344 p.
2. Ventsel', E. S. (2001). *Operations Research: Tasks, Principles, Methodology* (2nd stereotypical ed.). Moscow: Vysshaya Shkola. 208 p.
3. Gmurman, V. E. (2008). *Probability Theory and Mathematical Statistics* (12th revised ed.). Moscow: Vysshee Obrazovanie. 479 p.
4. Kolesnichenko, V. N. (2002). *Information Technologies in Transport*. Rostov-na-Donu: Feniks. 480 p.
5. Dick, V. V. (Ed.). (2006). *Corporate Information Systems*. Moscow: Finance and Statistics. 400 p.
6. Anikin, B. A. (Ed.). (2007). *Logistics* (3rd rev. and expanded ed.). Moscow: INFRA-M. 368 p.
7. Mirotin, L. B., & Tashbaev, I. E. (2002). *Logistics*. Textbook for higher education institutions. Moscow: Examen. 352 p.
8. Nerush, Yu. M. (2010). *Logistics* (4th rev. and exp. ed.). Moscow: Prospekt. 520 p.
9. Safronov, E. A. (2004). *Organization of Transportations on Road Transport*. Textbook for higher education institutions. Moscow: Akademiya. 368 p.
10. Shraybman, I. M. (2008). *Queueing Theory*. Tomsk: TPUI Publishing House. 129 p.
11. Constitution of the Russian Federation. (1993). Official Internet Portal of Legal Information. Article 41, amended and supplemented on December 1, 2020.
12. Decree of the President of the Russian Federation "On the Strategy of National Security of the Russian Federation". (2021). Official Internet Portal of Legal Information. Article 25.
13. Kapsky, D. V., Bogdanovich, S. V., Korenkov, P. V., & Filippova, N. A. (2024). Issues of Transport Industry Improvement in the Context of Connected Vehicles Development. *Intelligence. Innovations. Investments*, (3), 64–73. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-3-64> EDN: <https://elibrary.ru/JIPRZJ>

14. Niyazov, B. S., & Niyazova, S. B. (2022). Process Models of Development Triad of Healthcare Institutions Subsystems: Management, Resources, Potential. *Resources. Bulletin of Science and Practice*, 8(2), 131–136. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/75/18> EDN: <https://elibrary.ru/STKPKS>
15. Ivashchenko, V. V., Popova, E. A., & Onishchenko, A. N. (2023). Some Problems of Ambulance Transport. *Psychosomatic and Integrative Research*, 9(4), 401. EDN: <https://elibrary.ru/UALDLI>
16. Borisov, A. V., Bosov, A. V., Zhukov, D. V., & Ivanov, A. V. (2022). Information Aspects of Transport Safety Assurance: Analytical Tasks. *Systems and Means of Informatics*, 32(1), 4–17. <https://doi.org/10.14357/08696527220101> EDN: <https://elibrary.ru/WHTIRG>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Челышков Игорь Михайлович, студент

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

Igor.tchelyshkov@yandex.ru

Жуков Артем Игоревич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных перевозок

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

artem-zhukov@madi.ru

Асманов Иван Алексеевич, аспирант, ассистент кафедры автомобильных перевозок

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация
asmanovvvvv@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Igor M. Chelyshkov, Student

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical
University
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
Igor.tchelyshkov@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5832-8208>*

Artem I. Zhukov, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automotive Transportation

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical
University
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
artem-zhukov@madi.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0089-8343>*

Ivan A. Asmanov, Postgraduate Student, Assistant, Department of Au- tomotive Transportation

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical
University
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
asmanovvvvv@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8051-840X>*

Поступила 20.05.2025

После рецензирования 10.06.2025

Принята 18.06.2025

Received 20.05.2025

Revised 10.06.2025

Accepted 18.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-360

EDN: XVPFOM

УДК 004.65



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОЗАПРАВОЧНЫМИ СТАНЦИЯМИ

*Г.А. Гареева, А.Г. Файзуллина, З.Ш. Аглямова,
Ю.Н. Бурханова, Р.В. Спесваков*

Аннотация

Обоснование. Современные автозаправочные станции сталкиваются с рядом проблем, связанных с управлением данными, учетом запасов и обслуживанием клиентов. Традиционные методы учета и управления часто оказываются неэффективными, что приводит к увеличению временных затрат на обработку информации и повышению вероятности ошибок. Отсутствие централизованной системы для хранения и обработки данных затрудняет анализ продаж и управление запасами, что негативно сказывается на общей эффективности работы станции.

Создание базы данных для автозаправочной станции решает эти проблемы, обеспечивая автоматизацию процессов учета, управления запасами и обслуживания клиентов. База данных позволяет централизованно хранить информацию о продажах, клиентах, топливе и финансовых операциях, что значительно упрощает доступ к данным и их обработку.

Цель – разработать инструмент, который обеспечит автоматизацию учета и управления на автозаправочной станции, включая хранение информации о клиентах, топливе и транзакциях, а также поддержку аналитики для принятия обоснованных управленческих решений. Это позволит повысить эффективность работы станции, улучшить качество обслуживания клиентов и снизить вероятность ошибок в учете.

Метод и методология. Для разработки базы данных автозаправочной станции использовался язык программирования Java для создания интерфейса и логики приложения, а также PostgreSQL для хранения и управления данными. Подход основывался на использовании реляционной модели данных, что обеспечивает надежность, целостность и масштабируемость системы.

Результаты. База данных поддерживает хранение информации о клиентах, топливе, продажах и финансовых операциях. Данные централизованно управляются в PostgreSQL, что позволяет легко выполнять операции создания, редактирования и удаления записей. Система также включает функции для анализа данных, что способствует принятию обоснованных управленческих решений. Архитектура базы данных обеспечивает модульность, позволяя добавлять новые функции без значительных изменений в существующем коде.

Область применения. Разработанная база данных может быть использована в управлении автозаправочными станциями, для автоматизации процессов учета и обслуживания клиентов, а также в аналитике для повышения эффективности бизнес-процессов.

Выводы. Созданная база данных значительно упрощает управление данными на автозаправочной станции, снижает вероятность ошибок и повышает общую эффективность работы. Автоматизация процессов учета и обслуживания клиентов позволяет сэкономить время и ресурсы.

Ключевые слова: автозаправочная станция; база данных; PostgreSQL; DBeaver; автоматизация; управление данными; аналитика; эффективность; интеграция; реляционная модель; учет клиентов; управление запасами

Для цитирования. Гареева, Г. А., Файзуллина, А. Г., Аглямова, З. Ш., Бурханова, Ю. Н., & Спесваков, Р. В. (2025). Разработка базы данных для эффективного управления автозаправочными станциями. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 64–85. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-360>

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR EFFICIENT MANAGEMENT OF GAS STATIONS

*G.A. Gareeva, A.G. Faizullina, Z.Sh. Aglyamova,
Yu.N. Burkhanova, R.V. Spevakov*

Abstract

Background. Modern gasoline stations face a number of challenges related to data management, inventory accounting, and customer service. Traditional accounting and management methods are often inefficient, resulting in increased time spent on processing information and an increased likelihood of errors. The lack of a centralized system for storing and processing data makes it difficult to analyze sales and manage inventory, which negatively affects the overall efficiency of the station.

Creating a database for a gas station solves these problems by providing automation of accounting, inventory management and customer service processes. The database allows centralized storage of information on sales, customers, fuel and financial transactions, which greatly simplifies data access and processing.

Purpose. The objective is to develop a tool that will provide automation of accounting and management at a filling station, including storage of information on customers, fuel and transactions, as well as support for analytics to make informed management decisions. This will increase the efficiency of the station, improve customer service and reduce the likelihood of accounting errors.

Method and methodology. To develop the gas station database, the Java programming language was used to create the interface and application logic, and PostgreSQL was used to store and manage the data. The approach was based on the use of a relational data model, which ensures the reliability, integrity and scalability of the system.

Results. The database supports storage of customer, fuel, sales and financial transaction information. Data is centrally managed in PostgreSQL, allowing easy operations for creating, editing and deleting records. The system also includes functions to analyze the data to facilitate informed management decisions. The database architecture provides modularity, allowing new functions to be added without significant changes to existing code.

Scope of the results. The developed database can be used in the management of gas stations, for automation of accounting and customer service processes, as well as in analytics to improve the efficiency of business processes.

Conclusions. The created database significantly simplifies data management at the gasoline station, reduces the probability of errors and increases the overall efficiency of work. Automation of accounting and customer service processes saves time and resources.

Keywords: gas station; database; PostgreSQL; DBeaver; automation; data management; analytics; efficiency; integration; relational model; customer accounting; inventory management

For citation. Gareeva, G. A., Faizullina, A. G., Aglyamova, Z. Sh., Burkhanova, Yu. N., & Spevakov, R. V. (2025). Development of a database for efficient management of gas stations. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 64–85. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-360>

Введение

Проблема эффективного управления автозаправочными станциями становится все более актуальной в современном мире, где автомобильный транспорт играет ключевую роль в экономике и повседневной жизни [1].

Автозаправочные станции не только обеспечивают заправку автомобилей топливом, но и предлагают широкий спектр дополнительных услуг, что требует системного подхода к организации данных [4].

Существующие методы управления часто не позволяют оптимизировать процессы учета и управления, что приводит к снижению качества обслуживания клиентов. Решение данной проблемы требует разработки специализированной базы данных, которая позволит автоматизировать процессы управления, повысить уровень обслуживания и оптимизировать внутренние процессы на автозаправочной станции.

Цель и задачи

Целью работы является создание модели базы данных для автозаправочной станции, которая позволит автоматизировать процессы учета и управления, повысить уровень обслуживания клиентов и оптимизировать внутренние процессы. Для достижения цели решены следующие задачи:

- Проведен анализ предметной области и определены ключевые сущности и их взаимосвязи;
- Разработаны логическая и физическая структуры базы данных;
- Реализована интеграция с СУБД PostgreSQL для централизованного хранения данных.

Материалы и методы разработки

Процесс разработки включал:

- Выбор инструментов. Использование средств СУБД DBEAVER и PostgreSQL для реализации базы данных;
- Архитектура программы. Построение ER-модели предметной области и преобразование ее в реляционную схему;
- Интеграция с базой данных. Использование SQL для взаимодействия с PostgreSQL и выполнения запросов к базе данных.

Реализация программы

Реализация программы включала в себя множество этапов, направленных на создание специализированного инструмента для автоматизации процессов учета и управления на автозаправочной

станции. Каждый из этапов был тщательно проработан с учетом требований к эффективности, удобству использования и интеграции с существующими системами [5].

Первым шагом был проведен анализ ключевых аспектов функционирования автозаправочной станции, включая управление запасами топлива, учет клиентов и их бонусных карт, а также управление финансовыми операциями и персоналом.

На основе анализа были выделены основные сущности и их взаимосвязи, что позволило определить структуру базы данных, которая будет храниться в PostgreSQL [11]. На рисунке 1 представлена сущность-связь в нотации Чена.

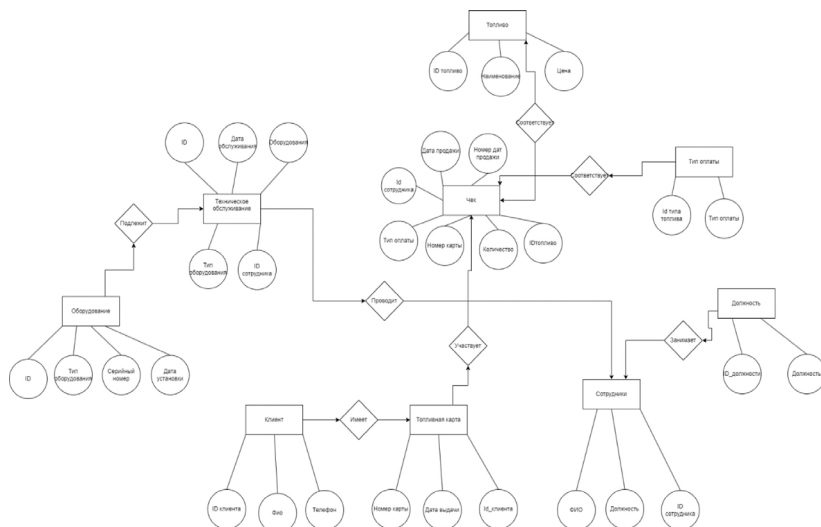
Эти сущности включают управление запасами топлива, учет клиентов и их бонусных карт, а также управление финансовыми операциями и персоналом.

Каждая из сущностей была детализирована для определения необходимых атрибутов и взаимосвязей [6].

Например, управление запасами топлива включает в себя такие атрибуты, как название топлива, уникальный номер позиции, поставщик и количество. Учет клиентов включает информацию о клиентах, их контактные данные и бонусные карты. Управление финансовыми операциями охватывает учет транзакций, контроль цен и торговых наценок.

Результаты анализа позволили определить структуру базы данных, которая будет хранить информацию о каждой из сущностей. Для каждой сущности была предусмотрена возможность интеграции с другими сущностями, что обеспечит целостность и согласованность данных. Это позволит пользователям легко взаимодействовать с системой и получать необходимую информацию для принятия решений в реальном времени [3].

Таким образом, проведенный анализ стал основой для разработки модели базы данных, которая будет эффективно поддерживать автоматизацию процессов на автозаправочной станции и обеспечивать удобное использование в реальных условиях.



```
CREATE TABLE Топливо (
    ТопливоID SERIAL PRIMARY KEY, -- Уникальный идентификатор для каждого типа топлива
    Название VARCHAR(100) NOT NULL, -- Название топлива (например, "Бензин", "Дизель")
    Тип VARCHAR(50), -- Тип топлива (например, "Сжиженный", "Газ", "Электрический")
    Цена DECIMAL(10, 2) NOT NULL, -- Цена за единицу топлива (например, за литр)
    Количество DECIMAL(10, 2) NOT NULL, -- Доступное количество топлива на складе
    ДатаПоставки TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP -- Дата последней поставки топлива
);
```

Рис. 2. Программная реализация таблицы «Топливо»

Система включает таблицу должностей, где каждая должность имеет уникальный идентификатор и наименование, например, «Менеджер» или «Оператор». Система включает таблицу должностей, где каждая должность имеет уникальный идентификатор и наименование, например, «Менеджер» или «Оператор». На рисунке 3 представлен код таблицы «Должность».

```
CREATE TABLE Должность (
    ID_Должности SERIAL PRIMARY KEY, -- Уникальный идентификатор должности
    Наименование VARCHAR(100) NOT NULL -- Наименование должности (например, "Менеджер", "Разработчик")
);
```

Рис. 3. Программная реализация таблицы «Должность»

Сотрудники системы имеют уникальные идентификаторы, фамилии, имена и отчества, а также ссылаются на свои должности через внешний ключ. Данная таблица представлена на рисунке 4.

```
CREATE TABLE Сотрудники (
    ID_Сотрудника SERIAL PRIMARY KEY, -- Уникальный идентификатор сотрудника
    ФИО VARCHAR(100) NOT NULL, -- Фамилия Имя Отчество сотрудника
    ID_Должности INT NOT NULL, -- Идентификатор должности (внешний ключ)
    FOREIGN KEY (ID_Должности) REFERENCES Должность(ID_Должности) -- Связь с таблицей Должность
);
```

Рис. 4. Программная реализация таблицы «Сотрудники»

Для учета оборудования в системе предусмотрена таблица оборудования, где каждый тип оборудования имеет уникальный идентификатор, название, серийный номер и дату установки. Записи о техническом обслуживании оборудования фиксируют дату обслуживания, название оборудования и ссылаются на конкретное обо-

рудование и сотрудника, проводившего обслуживание. Программная реализация таблицы «Оборудование» показана на рисунке 5.

```
CREATE TABLE Оборудование (  
    ID_типа_Оборудования SERIAL PRIMARY KEY,  
    Тип_оборудования VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Серийный_номер VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Дата_установки DATE NOT NULL  
);
```

Рис. 5. Программная реализация таблицы «Оборудование»

Система также включает таблицу типов оплаты, где каждый тип имеет уникальный идентификатор и наименование. При продаже топлива создается запись в таблице чеков, которая содержит уникальный номер чека, дату продажи, информацию о проданном топливе, количество, номер топливной карты, тип оплаты и идентификатор сотрудника, который осуществил продажу. На рисунке 6 представлен программный код таблицы «Техническое обслуживание».

Записи о техническом обслуживании содержат уникальный идентификатор записи (ID_записи), дату обслуживания (Дата_обслуживания), описание услуги (Описание) и стоимость обслуживания (Стоимость). Эта таблица фиксирует все проведенные работы по обслуживанию оборудования.

```
CREATE TABLE Техническое_обслуживание (  
    ID_записи SERIAL PRIMARY KEY,  
    Дата_обслуживания DATE NOT NULL,  
    Оборудование VARCHAR(255) NOT NULL,  
    ID_Типа_Оборудования INT REFERENCES Оборудование(ID_типа_оборудования),  
    ID_сотрудника INT REFERENCES Сотрудники(ID_Сотрудника)  
);
```

Рис. 6. Программный код таблицы «Техническое обслуживание»

На рисунке 7 представлен программный код таблицы «Тип оплаты». Каждый тип оплаты имеет уникальный идентификатор (ID_типа_оплаты) и наименование типа оплаты (Тип_оплаты). Эта

таблица используется для учета различных способов оплаты, доступных клиентам.

```
CREATE TABLE Тип_оплаты (  
    ID_типа_оплаты SERIAL PRIMARY KEY,  
    Тип_оплаты VARCHAR(255) NOT NULL  
);
```

Рис. 7. Программный код таблицы «Тип оплаты»

На рисунке 8 представлен программный код таблицы «Чек». Каждый чек содержит уникальный номер чека (Номер_Чека), дату продажи (Дата_продажи), информацию о проданном топливе (ID_топлива), количество топлива, проданного клиенту, номер карты, тип оплаты и идентификатор сотрудника, который осуществил продажу. Эта таблица фиксирует все продажи топлива клиентам.

```
CREATE TABLE Чек (  
    Номер_Чека SERIAL PRIMARY KEY,  
    Дата_продажи DATE NOT NULL,  
    ID_топлива INT REFERENCES Топливо(ID_Топлива), -- Исправлено имя столбца на ID_Топлива  
    Количество INT NOT NULL,  
    Номер_карты INT REFERENCES Топливная_карта(Номер_карты),  
    ID_типа_оплаты INT REFERENCES Тип_оплаты(ID_типа_оплаты),  
    ID_сотрудника INT REFERENCES Сотрудники(ID_Сотрудника)  
);
```

Рис. 8. Программный код таблицы «Чек»

Таким образом, система обеспечивает полный учет клиентов, топлива, сотрудников и операций по продаже топлива. Все сущности связаны между собой через внешние ключи, что позволяет легко отслеживать взаимодействия между ними и получать необходимую отчетность. На рисунке 9 представлена физическая модель базы данных.

Далее представлены результаты нескольких запросов:

1. Данный SQL-запрос выполняет выборку данных из нескольких связанных таблиц в реляционной базе данных. Он извлекает информацию о продажах топлива, включая детали о чеке, типе

топлива и клиенте. На рисунке 10 показан запрос, а на рисунке 11 его результат.



Рис. 9. Физическая модель базы данных «Автозаправочной станции»

```

=SELECT
    Чек.Номер_Чека,
    Чек.Дата_продажи,
    Топливо.Наименование AS Топливо,
    Чек.Количество,
    Клиент.ФИО AS Клиент
FROM
    Чек
INNER JOIN
    Топливо ON Чек.ID_топлива = Топливо.ID_Топлива
INNER JOIN
    Топливная_карта ON Чек.Номер_карты = Топливная_карта.Номер_карты
INNER JOIN
    Клиент ON Топливная_карта.ID_Клиента = Клиент.ID_Клиента;
  
```

Рис. 10. Код запроса 1

№	123	Номер_Че	Дата_прод	А2	Топливо	123	Количество	А:	Клиент
		1	2024-02-10	АИ-92		20			Иванов Иван Иванович
		2	2024-02-11	АИ-95		30			Петров Петр Петрович
		3	2024-02-12	АИ-100		15			Сидоров Сидор Сидорович

Рис. 11. Результат запроса 1

1. Запрос 2 выбирает всех сотрудников (таблица Сотрудники) и информацию о техническом обслуживании (таблица Техническое обслуживание), включая тех, у кого нет записей об обслуживании. На рисунке 12 представлен запрос 2.

```
SELECT
    Сотрудники.ID_Сотрудника,
    Сотрудники.ФИО,
    Техническое_обслуживание.Дата_обслуживания,
    Техническое_обслуживание.Оборудование
FROM
    Сотрудники
LEFT JOIN
    Техническое_обслуживание ON Сотрудники.ID_Сотрудника = Техническое_обслуживание.ID_сотрудника;
```

Рис. 12. Код запроса 2

```
SELECT
    Оборудование.id_типа_оборудования,
    Оборудование.Тип_оборудования,
    Оборудование.Серийный_номер,
    Техническое_обслуживание.Дата_обслуживания,
    CASE
        WHEN Техническое_обслуживание.Дата_обслуживания >= CURRENT_DATE - INTERVAL '30 days' THEN 'Недавнее обслуживание'
        ELSE 'Старое обслуживание'
    END AS Статус_обслуживания
FROM
    Оборудование
RIGHT JOIN
    Техническое_обслуживание ON Оборудование.id_типа_оборудования = Техническое_обслуживание.id_Типа_Оборудования;
```

Рис. 13. Код запроса 3

2. Предположим, что необходимо добавить в запрос информацию о статусе обслуживания оборудования (рис. 13). Если дата обслуживания находится в пределах последних 30 дней, то можно пометить его как «Недавнее обслуживание», иначе - «Старое

обслуживание». Используется CASE в PostgreSQL - это условное выражение, которое позволяет создавать условные запросы [11].

3. Запрос 4 создается CTE для подсчета количества чеков, связанных с каждым клиентом, а затем извлекаются данные из этого CTE (рис. 14).

```

WITH Чеки_по_клиентам AS (
    SELECT
        Клиент.ID_Клиента,
        Клиент.ФИО,
        COUNT(Чек.Номер_Чека) AS Количество_чеков
    FROM
        Клиент
    LEFT JOIN
        Топливная_карта ON Клиент.ID_Клиента = Топливная_карта.ID_Клиента
    LEFT JOIN
        Чек ON Топливная_карта.Номер_карты = Чек.Номер_карты
    GROUP BY
        Клиент.ID_Клиента, Клиент.ФИО
)

SELECT
    ФИО,
    Количество_чеков
FROM
    Чеки_по_клиентам
ORDER BY
    Количество_чеков DESC;

```

ент 1 ×

Н Чеки_по_клиентам AS (SELECT Кли | Введите SQL выражение чтобы отфильтровать результат

ФИО	Количество_чеков
Петров Петр Петрович	1
Сидоров Сидор Сидорович	1
Иванов Иван Иванович	1

Рис. 14. Код запроса 4 и его результат

4. Этот запрос подсчитывает количество записей о техническом обслуживании для каждого типа оборудования и сортирует результаты по количеству в порядке убывания. На рисунке 15 представлен данный запрос.

```
SELECT
    Оборудование.Тип_оборудования,
    COUNT(Техническое_обслуживание.ID_записи) AS Количество_обслуживания
FROM
    Оборудование
LEFT JOIN
    Техническое_обслуживание ON Оборудование.id_типа_оборудования = Техническое_обслуживание."id_Типа_Оборудования"
GROUP BY
    Оборудование.Тип_оборудования
ORDER BY
    Количество_обслуживания DESC;
```

удование(+)

1

Оборудование 2

×

Т.Оборудование.Тип_оборудован

Введите SQL выражение чтобы отфильтровать результаты

Тип_оборудования

123

Количество_обслуживания

Насос для топлива	1
Топливораздаточная колонка	1
Система учета топлива	0

Рис. 15. Запрос 5 и его результат

```
* SELECT
    Клиент.ФИО AS Клиент,
    COUNT(Чек.Номер_Чек) AS Количество_чеков
FROM
    Клиент
LEFT JOIN
    Чек ON Клиент.ID_Клиента = Чек.Номер_карты
GROUP BY
    Клиент.ФИО
ORDER BY
    Количество_чеков DESC;
```

удование(+)

1

Клиент 2

×

СТ Клиент.ФИО AS Клиент, COUNT(C

Введите SQL выражени

Клиент

123

Количество_чеков

Сидоров Сидор Сидорович	1
Иванов Иван Иванович	1
Петров Петр Петрович	1

Рис. 16. Запрос 6 и его результат

Чтобы подсчитать количество чеков для каждого клиента и отсортировать результаты по количеству чеков в порядке убывания, построен запрос 6 (рис. 16).

Область применения

База данных автозаправочной станции может использоваться в следующих целях:

- в управлении запасами - для учета и контроля наличия топлива и других ресурсов на автозаправочной станции;
- в обслуживании клиентов - для хранения информации о клиентах, их бонусных картах и истории покупок, что позволяет улучшить качество обслуживания;
- в финансовом учете - для автоматизации процессов учета продаж, анализа доходов и расходов, а также формирования отчетности;
- в аналитике - для проведения анализа продаж, выявления тенденций и оптимизации бизнес-процессов на основе собранных данных;
- в интеграции с другими системами - для обмена данными с системами управления, бухгалтерскими программами и другими приложениями, что обеспечивает комплексный подход к управлению автозаправочной станцией.

Заключение

В ходе разработки базы данных для автозаправочной станции была создана эффективная система управления, способствующая автоматизации процессов учета и обслуживания клиентов. Реализованные функции позволяют не только контролировать запасы топлива и управлять финансовыми операциями, но и обеспечивать высокий уровень сервиса для клиентов.

Использование реляционной модели данных и интеграция с современными инструментами, такими как PostgreSQL и DBeaver, обеспечили надежность и масштабируемость системы [10]. Вне-

дрение базы данных позволяет значительно сократить время на обработку информации, минимизировать ошибки и повысить общую эффективность работы автозаправочной станции.

База данных также открывает возможности для дальнейшего анализа данных, что может способствовать принятию более обоснованных управленческих решений и оптимизации бизнес-процессов. В будущем планируется расширение функционала системы, включая интеграцию с мобильными приложениями и системами лояльности, что позволит улучшить взаимодействие с клиентами и повысить конкурентоспособность автозаправочной станции на рынке.

Таким образом, разработанная база данных является важным инструментом для успешного функционирования автозаправочной станции, обеспечивая надежное хранение и обработку данных, а также способствуя улучшению качества обслуживания клиентов и повышению эффективности бизнес-процессов.

Список литературы

1. Остроух, А. В., & Суркова, Н. Е. (2019). *Проектирование информационных систем*. Монография. Санкт-Петербург: Лань. 164 с.
2. Громов, А. И., Фляйшман, А., & Шмидт, В. (2021). *Управление бизнес-процессами: современные методы*. Монография (под ред. А. И. Громова). Москва: Издательство Юрайт. 367 с.
3. Бондаренко, И. С. (2019). *Базы данных: создание баз данных в среде SQL Server*. Лабораторный практикум. Москва: Изд. Дом НИТУ «МИСиС». 39 с.
4. Линец, Г. И., & Братченко, Н. Ю. (2021). *Базы данных*. Учебник. Ставрополь: Изд-во СКФУ. 170 с.
5. Файли, К. (2023). *SQL. Руководство для использования с любыми SQL СУБД*. Учебное пособие (2-е изд.; пер. с англ. А. В. Хаванова). Москва: ДМК Пресс. 454 с.
6. Ёсу, М. (2021). *Принципы организации распределенных баз данных*. Учебник (пер. с англ. А. А. Слинкина). Москва: ДМК Пресс. 672 с.

7. Харрингтон, Д. (2023). *Проектирование объектно-ориентированных баз данных*. Практическое руководство (2-е изд.; пер. с англ. А. А. Слинкина). Москва: ДМК Пресс. 273 с.
8. Льюис, Д. (2023). *Ядро Oracle. Внутреннее устройство для администраторов и разработчиков баз данных*. Практическое руководство (2-е изд.; пер. с англ. А. Н. Киселева). Москва: ДМК Пресс. 373 с.
9. Мартишин, С. А., Симонов, В. Л., & Храпченко, М. В. (2024). *Базы данных. Практическое применение СУБД SQL и NoSQL типа для проектирования информационных систем*. Учебное пособие. Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М. 368 с.
10. Мартишин, С. А., Симонов, В. Л., & Храпченко, М. В. (2022). *Базы данных: проектирование и разработка информационных систем с использованием СУБД MySQL и языка Go*. Учебное пособие. Москва: ИНФРА-М. 325 с. <https://doi.org/10.12737/1830834> EDN: <https://elibrary.ru/PNOJTV>
11. Митин, А. И. (2020). *Работа с базами данных Microsoft SQL Server: сценарии практических занятий*. Учебно-методическое пособие. Москва: Директ-Медиа. 143 с. EDN: <https://elibrary.ru/SEKKTY>
12. Amin Al Ka'bi. (2021). Management of energy consumption using programmable logic controllers (PLCs). *Proceedings on Engineering Sciences*, 3(3), 267–272. <https://doi.org/10.24874/pes03.03.003> EDN: <https://elibrary.ru/MTGQZK>
13. Walters III, E. G., & Bryla, E. J. (2016). The impact of PLC program architecture on production line efficiency: Case study of a control system rewrite. *Machines*, 4(2), 13. <https://doi.org/10.3390/machines4020013>
14. Martin A. Sehr et al. (2024). Programmable Logic Controllers in the context of Industry 4.0. *IEEE Journals & Magazine*. Получено с <https://ieeexplore.ieee.org/document/9134804>
15. Tiago Cruz et al. (2024). Virtualizing Programmable Logic Controllers: Toward a convergent approach. *IEEE Journals & Magazine*. Получено с <https://ieeexplore.ieee.org/document/7564414>

References

1. Ostroukh, A. V., & Surkova, N. E. (2019). *Design of Information Systems*. Monograph. St. Petersburg: Lan'. 164 p.
2. Gromov, A. I., Fleishman, A., & Shmidt, V. (2021). *Business Process Management: Modern Methods* (Edited by A. I. Gromov). Moscow: Yurait Publishing House. 367 p.
3. Bondarenko, I. S. (2019). *Databases: Creating Databases in SQL Server Environment*. Lab manual. Moscow: MISiS Publishing House. 39 p.
4. Linec, G. I., & Bratchenko, N. Y. (2021). *Databases*. Textbook. Stavropol: SFU Publishing House. 170 p.
5. Fiayli, K. (2023). *SQL: User Guide for Any SQL DBMS* (2nd ed.; translated by A. V. Khavanov). Moscow: DMK Press. 454 p.
6. Yo, M. (2021). *Principles of Distributed Database Organization* (translated by A. A. Slinkin). Moscow: DMK Press. 672 p.
7. Harrington, D. (2023). *Object-Oriented Database Design: Practical Guide* (2nd ed.; translated by A. A. Slinkin). Moscow: DMK Press. 273 p.
8. Lewis, D. (2023). *Oracle Kernel: Internal Workings for DBAs and Developers* (2nd ed.; translated by A. N. Kiselev). Moscow: DMK Press. 373 p.
9. Martishin, S. A., Simonov, V. L., & Khrapchenko, M. V. (2024). *Databases: Practical Application of SQL and NoSQL DBMS for Information Systems Design*. Moscow: Forum INFRA-M. 368 p.
10. Martishin, S. A., Simonov, V. L., & Khrapchenko, M. V. (2022). *Databases: Design and Development of Information Systems Using MySQL DBMS and Go Programming Language*. Moscow: INFRA-M. 325 p. <https://doi.org/10.12737/1830834> EDN: <https://elibrary.ru/PNOJTV>
11. Mitin, A. I. (2020). *Microsoft SQL Server Databases: Practical Session Scenarios*. Tutorial. Moscow: Direct-Media. 143 p. EDN: <https://elibrary.ru/SEKKTY>
12. Amin Al Ka'bi. (2021). Management of energy consumption using programmable logic controllers (PLCs). *Proceedings on Engineering Sciences*, 3(3), 267–272. <https://doi.org/10.24874/pes03.03.003> EDN: <https://elibrary.ru/MTGQZK>

13. Walters III, E. G., & Bryla, E. J. (2016). The impact of PLC program architecture on production line efficiency: Case study of a control system rewrite. *Machines*, 4(2), 13. <https://doi.org/10.3390/machines4020013>
14. Martin A. Sehr et al. (2024). Programmable Logic Controllers in the context of Industry 4.0. *IEEE Journals & Magazine*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9134804>
15. Tiago Cruz et al. (2024). Virtualizing Programmable Logic Controllers: Toward a convergent approach. *IEEE Journals & Magazine*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7564414>

ВКЛАД АВТОРОВ

Гареева Г.А.: разработка базы данных для автоматизации управления данными, обработка результатов исследований.

Файзуллина А.Г.: формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов.

Аглямова З.Ш.: проведение сбора данных, подготовка начального варианта статьи.

Бурханова Ю.Н.: научное редактирование текста статьи и окончательное утверждение версии для публикации.

Спеваков Р.В.: анализ и интерпретация полученных данных, литературный анализ.

AUTHORS CONTRIBUTION

Gulnara A. Gareeva: development of the templateizer program for automation of data management, processing of research results.

Aigul G. Faizullina: formulation of the main directions of the research, development of theoretical assumptions, formation of general conclusions.

Zulfina Sh. Aglyamova: carrying out data collection, preparation of the initial version of the article.

Yulia N. Burkhanova: scientific editing of the text of the article and final approval of the version for publication.

Ruslan V. Spevakov: analysis and interpretation of the obtained data, literary analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гареева Гульнара Альбертовна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Российская Федерация
gagareeva1977@mail.ru

Файзуллина Айгуль Гинатулловна, старший преподаватель кафедры бизнес-информатики и математических методов в экономике
Казанский федеральный университет Набережночелнинский институт
проспект Мира, 68/19, г. Набережные Челны 423812, Российская Федерация
dlya_pisem_t@mail.ru

Аглямova Зульфина Шамилевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры высшей математики, моделирования и анализа данных
Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирязова пр. Московский, 67, г. Набережные Челны, 423822, Российская Федерация
aglamova@chl.ieml.ru

Бурханова Юлия Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики, моделирования и анализа данных; доцент кафедры математики, физики и методики их обучения

Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирязова; Набережночелнинский государственный педагогический университет

пр. Московский, 67, г. Набережные Челны, 423822, Российская Федерация; ул. им. Низаметдинова Р.М., 28, г. Набережные Челны, 423806, Российская Федерация
ulin2703@mail.ru

Спеваков Руслан Витальевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры высшей математики, моделирования и анализа данных

Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирязова пр. Московский, 67, г. Набережные Челны, 423822, Российская Федерация
spevakov@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Gulnara A. Gareeva, Candidate of Pedagogical sciences, Associate professor, Head of the Department of Information Systems

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation

gagareeva1977@mail.ru

SPIN-code: 3279-8465

Scopus Author ID: 36801593200

ResearcherID: M-1728-2015

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8539-4541>

Aigul G. Faizullina, Senior Lecturer of the Department of Business Informatics and Mathematical Methods in Economics
Kazan Federal University Naberezhnochelninsk Institute

*68/19, Prospekt Mira, Naberezhnye Chelny 423812, Russian Federation
dlya_pisem_t@mail.ru*

Zulfina Sh. Aglyamova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Modeling and Data Analysis
*Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov
67, Moskovsky Ave., Naberezhnye Chelny, 423822, Russian Federation
aglamova@chl.ieml.ru*

Yulia N. Burkhanova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Modeling and Data Analysis; Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Methods of their Education
*Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov; Naberezhnochelninsky State Pedagogical University
67, Moskovsky Ave., Naberezhnye Chelny, 423822, Russian Federation; 28, R.M. Nizametdinov Str., Naberezhnye Chelny, 423806, Russian Federation
ulin2703@mail.ru*

Ruslan V. Spevakov, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Modeling and Data Analysis
*Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov
67, Moskovsky Ave., Naberezhnye Chelny, 423822, Russian Federation
spevakov@mail.ru*

Поступила 01.03.2025
После рецензирования 18.03.2025
Принята 23.03.2025

Received 01.03.2025
Revised 18.03.2025
Accepted 23.03.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-358

EDN: ZAYLET

УДК 656.022



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОЖЕСТВОМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян,
Ю.П. Преображенский*

Аннотация

Обоснование. В исследовании приведено рассмотрение задачи, связанной с разработкой системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов. Проведен анализ возможностей повышения эффективности управления системами беспилотных летательных аппаратов. Показана роль методов классификации в рейтинговом оценивании системы летательных объектов. Представлена структура взаимодействия управляющего центра и множества беспилотных летательных аппаратов. Дано описание подходов, связанных с назначением рейтинга. Управляющим центром поддерживается мониторинг эффективности функционирования летательных аппаратов. Показано, как между собой связаны различные этапы рейтингового управления множества беспилотных летательных аппаратов. Общая интегральная оценка оказывает влияние на частную интегральную оценку. В случае совпадения рейтинга летательного аппарата с максимальной интегральной оценкой он будет рассматриваться как имеющий наибольший рейтинг.

Цель – разработка системы, на основе которой осуществляется управление множеством беспилотных летательных аппаратов.

Материалы и методы. Основные методы исследования связаны с применением теории множеств, рейтинговых подходов и экспертных методов.

Результаты. В данной статье подробным образом проведено рассмотрение основных принципов и особенностей формирования системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов. В зависимости от начальных условий необходимо указать параметры, которые следует учитывать в модели. Результаты работы могут быть использованы для широкого круга беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; экспертный подход; модель; эффективность; оптимизация

Для цитирования. Преображенский, А. П., Аветисян, Т. В., & Преображенский, Ю. П. (2025). Разработка системы управления множеством беспилотных летательных аппаратов. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 86–102. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-358>

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR MANY UNMANNED AERIAL VEHICLES

*A.P. Preobrazhenskiy, T.V. Avetisyan,
Yu.P. Preobrazhenskiy*

Abstract

Background. The study considers the problem associated with the development of a control system for many unmanned aerial vehicles. An analysis of the possibilities of improving the efficiency of control of unmanned aerial vehicle systems is carried out. The role of classification methods in the rating assessment of the system of flying objects is shown. The structure of interaction between the control center and a set of unmanned aerial vehicles is presented. A description of approaches related to the assignment of a rating is given. The control center maintains moni-

toring of the efficiency of the functioning of aircraft. It is shown how the various stages of rating management of a set of unmanned aerial vehicles are interconnected. The general integral assessment has an impact on the partial integral assessment. If the rating of the aircraft coincides with the maximum integral score, it will be considered as having the highest rating.

Purpose. Development of a system on the basis of which many unmanned aerial vehicles are controlled.

Materials and methods. The main research methods are related to the use of set theory, rating approaches and expert methods.

Results. In this paper, the basic principles and features of the formation of a control system for a set of unmanned aerial vehicles are considered in detail. Depending on the initial conditions, you must specify the parameters that should be taken into account in the model. The results of the work can be used for a wide range of unmanned aerial vehicles.

Keywords: unmanned aerial vehicle; expert approach; model; efficiency; optimization

For citation. Preobrazhenskiy, A. P., Avetisyan, T. V., & Preobrazhenskiy, Yu. P. (2025). Development of a control system for multiple unmanned aerial vehicles. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 86–102. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-358>

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время активно используются в различных сферах: безопасность, метеорология, строительство, лесное и сельское хозяйство и др. Во многих случаях на практике необходимо использовать не один летающий объект, а несколько. Это позволяет значительным образом уменьшить требуемые ресурсы и обеспечить высокий уровень безопасности. Среди важных задач, которые связаны с управлением в системах БПЛА, можно отметить обеспечение эффективности их работы.

В работе [1] предлагается опираться на мультиагентный подход при управлении системой БПЛА. Отдельный объект управляется на основе автоматного подхода, совокупность объектов управля-

ется в рамках нейросетевого подхода. Комбинацию двух указанных подходов достаточно просто реализовать, но не учитывается влияние внешней среды, а также взаимодействие между соседними объектами оценивается уже постфактум.

Статья [2] посвящена обсуждению некоторых особенностей синтеза структуры управления системой БПЛА. При этом система управления построена по модульному принципу и может применяться для летательных аппаратов разных типов. В качестве возможных проблем можно указать нестабильную связь и появление нештатных ситуаций.

Для того, чтобы управлять группой БПЛА, можно опираться на архитектурное описание соответствующей системы [3]. Ее особенностью является возможность учета разных видов связей. Важно для эффективного управления обеспечивать поддержку стабильных связей между отдельными летательными аппаратами. Система управления может иметь разную степень централизации. При этом для оценки характеристик отдельных объектов могут потребоваться отдельные ресурсы.

Представляет интерес создания такой системы, в которой используется соответствующее распределение разных видов ресурсных обеспечений. Управляющий центр участвует в таком распределении. С точки зрения характеристик качества в системе должна учитываться неоднородность БПЛА с точки зрения их эффективности. При этом требуется сравнивать элементы БПЛА на базе оценок, которые измеримы количественным образом. Это должно реализовываться как внутри системы БПЛА, так и когда она взаимодействует с другими системами БПЛА. Возможности в системах БПЛА оптимизации управления связаны с тем, что получают сравнительные оценки функционирования разных объектов. С точки зрения фиксированной шкалы различные аспекты деятельности учитываются, когда сравниваются и упорядочиваются БПЛА в соответствующих группах. За счет интегральной характеристики при осуществлении оценивания есть возможности для

того, чтобы с точки зрения упорядоченной последовательности указать положение БПЛА.

То есть, актуальным является проведение исследований, связанных с применением управления в системах с применением подходов, базирующихся на математическом моделировании, оптимизации и экспертном оценивании систем БПЛА. При этом принимаются решения, которые относятся к тому, чтобы обеспечивать эффективное ресурсное обеспечение с учетом того, как согласованным образом взаимодействуют БПЛА и управляющий центр.

Целью работы является разработка подхода, позволяющего повысить эффективность систем БПЛА.

Возможности повышения эффективности управления системами БПЛА

С точки зрения роста эффективности работы систем БПЛА необходимо обращать внимание оптимизацию распределения различных видов ресурсного обеспечения. Не всегда используются соответствующие оценки, когда анализируется распределение ресурсов [4]. Сами задачи могут быть слабоформализованными. В этой связи можно ориентироваться на подходы, относящиеся к управлению, которые нацелены на то, чтобы регулировать объемы ресурсного обеспечения БПЛА. В ходе решения задач применяются соответствующие методы. Может возникнуть ситуация, в которой наблюдается необходимость в выделении дополнительных ресурсов, чтобы БПЛА относились к группе объектов-лидеров.

Чтобы реализовывать механизмы управления, важно опираться на некоторые модели того, как будут БПЛА взаимодействовать с управляющим центром. Модели будут разные, что ведет в ходе принятия управленческих решений к тому, что реализуются многовариантные процессы. Управление системой БПЛА должно проводиться в рамках единой информационной компьютерной среды. Основная идея упорядочения отдельных объектов в системе связана с тем, что оценивается их рейтинговое состоя-

ние. Для того, чтобы решения были максимально эффективными и использованы на практике, после рассмотрения рейтинговых оценок необходимо сделать выбор такого варианта, который будет лучшим. Задача решается в рамках некоторых критериев и ограничений [5].

При этом необходимо ориентироваться на использование соответствующих подходов. Если требуется, то используются методы оптимизации. Большое влияние будет оказывать размерность решаемой задачи. Степень формализуемости задач будет оказывать влияние на применяемые методы решения оптимизационных задач в системе БПЛА.

Когда применяются методы экспертного оценивания? Они необходимы в тех случаях, когда слабоформализуемой будет задача, связанная с оптимальным выбором характеристик БПЛА. Она решается на основе выбранного метода. При этом необходимо ориентироваться на определенную последовательность действий, в который предусмотрен экспертный выбор.

Методика классификации в рейтинговом управлении в системе БПЛА

Проведем рассмотрение систем БПЛА. За счет управляющего центра происходит взаимодействие с БПЛА по целому спектру параметров. При этом осуществляется достижение цели эффективного работы всей системы как целого. При решении проблем будем анализировать ресурсное обеспечение того, как реализуются основные функции системы, а также развиваются БПЛА, которые входят в систему. Все то время, в течение которого система работает, необходимо реализовывать подобный анализ.

Требуется выделять для каждого БПЛА некоторый объем ресурсов. Это делается на основе того, что по всей системе происходит мониторинг, и в дальнейшем управляющий центр реализует оценку эффективности. Такая оценка осуществляется с заданной периодичностью. Поскольку показателей много, то это приводит

к тому, что будут сложности с точки зрения того, как будут приниматься решения по управлению [6].

Отмеченные признаки при проведении классификации дают возможность для того, чтобы формализовать механизмы рейтингового управления. Будут рассматриваться такие параметры:

$i = \overline{1, I}$ – множество БПЛА o_i , которые образуют систему;

По i -му БПЛА, рассматриваются значения показателей эффективности $y_{im}(t)$. Процедуры мониторинга содержатся в управляющем центре. Для того, чтобы совершить элементарный этап мониторинга, требуется временной период t . Мониторинг осуществляется в течение всего времени функционирования системы БПЛА $t = \overline{1, T}$. В каждом из БПЛА происходит выделение главных показателей $m = \overline{1, M}$. Тогда после применения инструментов рейтингового управления можно оценить эффективность функционирования i -го БПЛА. Наблюдение ведется в течение времени t , всего показателей рейтинга $j = \overline{1, J}$ – это определяет показатели эффективности $\alpha_{ij}(t)$.

Используя интегральную оценку $F_i = \varphi(\alpha_{ij})$ для n -го направления функционирования по i -му при упорядочивании БПЛА o_i рассматривается рейтинговая оценка r_{in} . Используется множество направлений функционирования $n = \overline{1, N}$ в системе БПЛА.

На базе интегральной оценки F_i применяется модель упорядочения БПЛА o_i по величине $\varphi(\cdot)$. При рассмотрении системы БПЛА по базовым параметрам учитывается ресурсное обеспечение V^0 .

Для n -го направления деятельности учитывается ресурсное обеспечение V_n^0 . Учитывается дополнительное ресурсное обеспечение V^g .

При рассмотрении i -го БПЛА в системе по базовым параметрам учитывается ресурсное обеспечение V_i^0 . При рассмотрении i -го БПЛА учитывается дополнительное ресурсное обеспечение V_i^g .

При рассмотрении i -го БПЛА в системе в ходе его развития учитывается ресурсное обеспечение V_i^p . В ресурсном обеспечении при рассмотрении i -го БПЛА рассматривается заявленная потребность \bar{V}_i .

При реализации целей БПЛА применяется для i -го БПЛА для n -го направления показатель результатов x_{in} . Для n -го направления для i -го БПЛА, чтобы реализовать результат, используются удельные затраты c_{in} . При рассмотрении i -го БПЛА рассматривается глобальная рейтинговая оценка r_i .

Когда анализируется i -й БПЛА для l -го направления, в таком случае будет обращаться внимание на рейтинговую оценку r_{il} . Процесс осуществления оценок должен являться автоматизированным.

В ходе процедур назначения рейтингов рассматривается множество направлений $l = \overline{1, L}$. Они связаны с деятельностью системы БПЛА.

Тогда можно представить структуру взаимодействия управляющего центра с системой БПЛА с учетом управления, как показано на рис. 1. На нем учтены ранее введенные обозначения. Могут быть реализованы три подхода при рейтинговании. Первый подход связан с тем, что на основе значения рейтинга r_{in} происходит распределение ресурсного обеспечения V^0 среди БПЛА o_i . Тогда управляющим центром будет проводиться выделение ресурсного обеспечения. Это выделение соотносится с соответствующим планом [7]. Пусть для каждого из i -х объектов системы БПЛА осуществляется анализ n -го направления их деятельности. При этом требуется, чтобы были применены объемы ресурсов $V_{in}^0, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$. Основная роль в распределении ресурсов принадлежит управляющему центру.

Во втором подходе проводится анализ того, как выполняются задачи системой БПЛА с учетом того, как обеспечивается минимизацию всех затрат. В таком случае приходится учесть неоднозначности, связанные с тем, что требуется правильным образом осуществить распределение общего объема ресурсов с учетом того, какое n -е направление, связанное с базовыми параметрами в системе БПЛА

$$V_n^0 = \sum_{i=1}^I V_{in}^0.$$

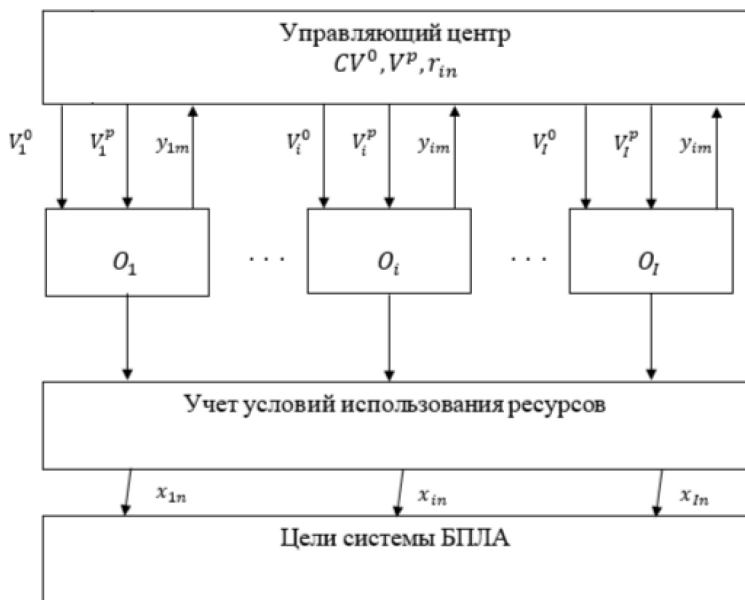


Рис. 1. Иллюстрация структуры взаимодействия управляющего центра и системы БПЛА, если реализуется рейтинговое управление

Такая задача должна быть решена при реализации алгоритма рейтингового управления. Кроме того, необходимо осуществить выделение ресурсов для отдельного БПЛА с учетом того, какое будет анализироваться n -е направление по базовым параметрам

$$V_i^0 = \sum_{n=1}^N V_{in}^0.$$

Третий подход связан с тем, что ведется рейтинговое управление по тому, как распределяется дополнительное ресурсное обеспечение V^g БПЛА $i^1 = 1, \bar{I}^1 \in \bar{I}, \bar{I}$, изменение функционирования которого ведет к тому, что будет наибольшее улучшение по рейтингу. Будет образовываться кластер БПЛА $O_{i1}, i_1 = \bar{I}, \bar{I}_1$.

Учет условий использования ресурсов может быть разным. Например, они могут распределяться равномерно, или на основе соответствующим образом назначенных приоритетов.

Управляющим центром поддерживается мониторинг эффективности функционирования БПЛА для показателей $y_{im}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$. После этого рассматриваются особенности работы любого БПЛА по различным направлениям. Затем будут вычисляться рейтинговые оценки $r_{in}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$ с ориентиром на то, какое было выбрано множество показателей α_{ij} . Полученная информация передается в управляющий центр. После решения задачи для некоторого выбранного ресурса v_{in}^0 будут определены его объемы с учетом того, какие будут требования i -го БПЛА.

Осуществление различных этапов рейтингового управления системы БПЛА управляющим центром представлено на рис. 2. На рис. 2 дана иллюстрация структурной схемы того, как реализуются процедуры в ходе рейтингового управления.

Требуется провести формирование всех процедур, которые представлены на схеме. Необходимо совместным образом реализовывать мониторинг по всей системе и с ориентацией на требуемые ресурсы выбирать в системе группы БПЛА.

В ходе проведения рейтинговых процедур в системе можно выделить различные группы операций, которые соотносятся с определенными моделями. Эти модели могут быть трех видов:

1. Упорядочение объектов с учетом их характеристик;
2. Распределение и оптимизация различных видов ресурсов;
3. Определение рейтинговых оценок объектов системы.

Укажем характеристики модели третьего вида. В управляющем центре происходит выбор ключевых показателей. На их основе будет вычисляться интегральная оценка o_i для объектов в системе. При этом определяются значения рейтингов

$$F_i = \varphi(\alpha_{ij}) \quad (1)$$

Можно говорить о влиянии значений (1) на то, каким будет нумерационное множество БПЛА $i = \overline{1, I}$, как оно упорядочивается. При этом будет назначаться рейтинговая оценка r_i . Существуют возможности для того, чтобы оценка (1) проводилась различным образом.

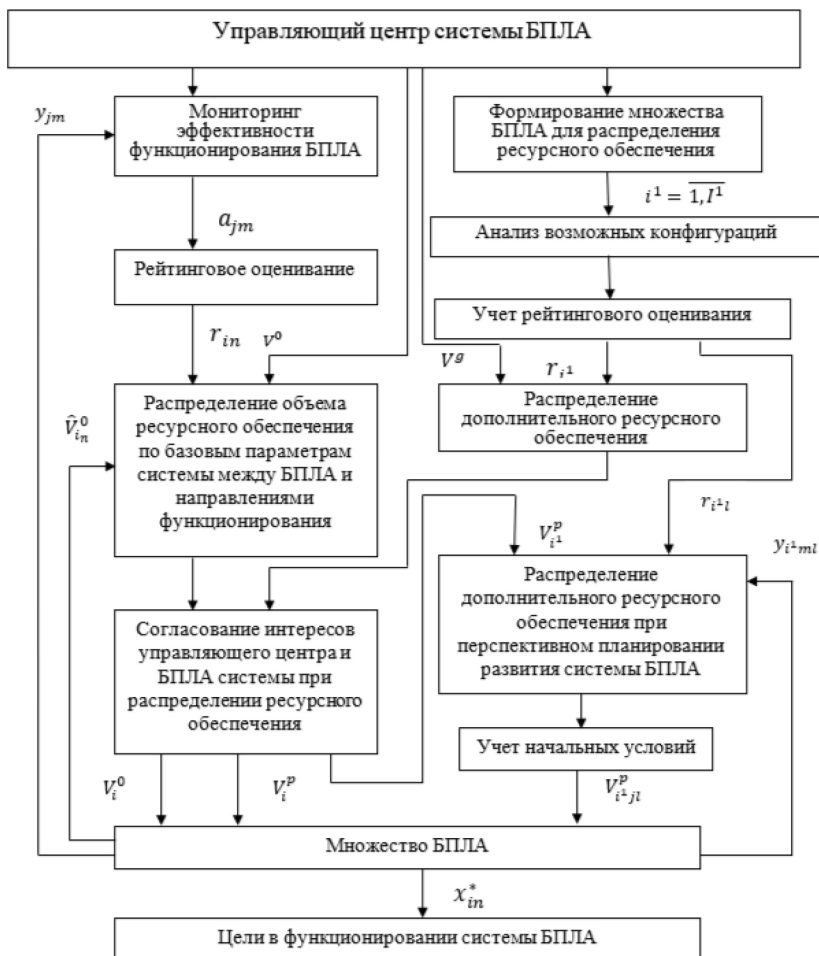


Рис. 2. Реализация управления системой БПЛА

В рассматриваемой модели есть несколько особенностей. Первая особенность состоит в том, что требуется провести расчет максимального значения интегральной рейтинговой оценки. Это необходимо для того, чтобы было реализовано условие нормировки. Если будет совпадение рейтинга объекта в системе с такой оцен-

кой, то такой объект будет рассматриваться как имеющий наибольший рейтинг.

Вычисление интегральной оценки проводится следующим образом:

$$F_i^{(1)} = \sqrt{\sum_{j=1}^J \alpha_{i,j}^2}, i = \overline{1, I}. \quad (2)$$

Следует отметить, что на интегральную оценку могут оказывать влияние конфигурации системы БПЛА. Они могут находиться в одной плоскости, находиться внутри параллелепипеда и др.

Чем больше будут рейтинговые оценки отдельных БПЛА, тем больше будет значение общей интегральной оценки. Необходимо понимать, за счет каких параметров БПЛА происходит формирование рейтинговых оценок.

Вторая особенность связана с тем, что требуется в модели учитывать вес любого из выбранных показателей $j = \overline{1, J}$

$$F_i^{(2)} = \sqrt{\sum_{j=1}^J p_{ij} \cdot \alpha_{i,j}^2}, i = \overline{1, I}. \quad (3)$$

Если вести рассмотрение некоторого показателя, $j = \overline{1, J}$, то тогда μ_j будет считаться весовым коэффициентом. Его выбор происходит на основе экспертного метода [8]. То есть, какой-то из показателей может оказаться более предпочтительным. При этом важно в ходе анализа всех показателей учитывать их относительную значимость. Дополнительное ресурсное обеспечение может занимать до половины от обеспечения по базовым параметрам.

Вследствие аддитивности функции (3) могут быть некоторые проблемы компенсации низкорейтинговых показателей высокорейтинговыми [9]. Это можно учесть за счет назначения дополнительных весовых коэффициентов.

Третья особенность заключается в том, что на основе анализа наилучшего значения интегрального показателя происходит оценка вклада в него каждого из частных показателей. Это дает возможности для выбора наиболее подходящей комбинации показателей.

На рис. 3 приведена зависимость эффективности управления от числа беспилотных летательных аппаратов в системе.

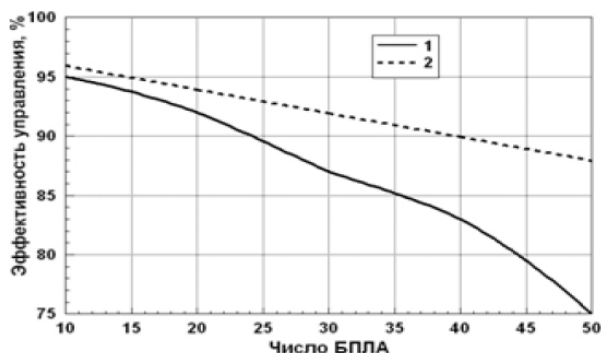


Рис. 3. Зависимость эффективности управления от числа беспилотных летательных аппаратов в системе

Кривая 1 соответствует случаю, когда рейтинговое управление отсутствует, кривая 2 соответствует случаю, когда рейтинговое управление используется.

Заключение

1. Рассмотрены возможности повышения эффективности систем БПЛА. Определены требования к формируемым моделям.
2. Даны рекомендации по использованию интегральной оценки, используемой как мера рейтинга в системе БПЛА. При этом есть требования по учету ресурсного обеспечения. Указаны характеристики подходов, используемых в ходе рейтингования.
3. Приведен пример выбора параметров в используемой модели рейтинга.
4. Рассмотрены некоторые характеристики вычисления интегральной оценки.
5. Приведена зависимость эффективности управления от числа БПЛА в системе.

Список литературы

1. Иванова, И. А., Никонов, В. В., & Царева, А. А. (2014). Способы организации управления беспилотными летательными аппаратами. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, (11-1).
2. Илюхин, С. Н., Топорков, А. Г., Корянов, В. В., Аюпов, Р. Э., & Павлов, Н. Г. (2015). Актуальные аспекты разработки системы управления перспективными беспилотными летательными аппаратами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, (9).
3. Миняйло, Д. В., Баранюк, В. В., & Крылова, О. С. (2019). Структурные и функциональные аспекты архитектурного описания управления многокомпонентным динамическим объектом. *International Journal of Open Information Technologies*, 7(11), 34–42. EDN: <https://elibrary.ru/BELDRD>
4. Зотова, В. А., Тихонова, Н. А., & Феофанова, Т. Д. (2021). Техническое состояние транспортных средств и его изменение в процессе эксплуатации. *International Journal of Advanced Studies*, 11(3), 76–82. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2021-11-3-76-82> EDN: <https://elibrary.ru/WPQQRX>
5. Карагодин, В. И. (2024). Распределение наземных транспортных и транспортно-технологических средств по объектам и видам работ с учетом их технического состояния. *International Journal of Advanced Studies*, 14(3), 77–99. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-3-309> EDN: <https://elibrary.ru/SFOAPK>
6. Король, Р. Г. (2024). Моделирование транспортных процессов при формировании и развитии трансграничной инфраструктуры. *International Journal of Advanced Studies*, 14(4), 134–153. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-4-323> EDN: <https://elibrary.ru/LTYYNJ>
7. Львович, Я. Е., Рындин, Н. А., & Сахаров, Ю. С. (2021). Оптимизация распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*, (4), 106–114. <https://doi.org/10.18137/RNU.V9187.21.04.P.106> EDN: <https://elibrary.ru/FZEJTS>

8. Рындин, Н. А., & Сахаров, Ю. С. (2022). Оптимизация процесса синхронизации распределения ресурсного обеспечения цифровой среды управления на основе экспертного оценивания. В *Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-практической конференции* (с. 42–44). Воронеж.
9. Матюшков, А. Л., & Матюшкова, Г. Л. (2017). Нейронная сеть для установления рейтинга объекта. *Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: физика, математика, информатика*, (5), 58–59. EDN: <https://elibrary.ru/ZDFLOP>

References

1. Ivanova, I. A., Nikonov, V. V., & Tsareva, A. A. (2014). Methods of unmanned aircraft control organization. *Current Problems of Humanities and Natural Sciences*, (11-1).
2. Ilyukhin, S. N., Toporkov, A. G., Koryanov, V. V., Ayupov, R. E., & Pavlov, N. G. (2015). Actual aspects of prospective unmanned aircraft control system development. *Engineering Journal: Science and Innovations*, (9).
3. Minyailo, D. V., Baranyuk, V. V., & Krylova, O. S. (2019). Structural and Functional Aspects of Architectural Description of Multicomponent Dynamic Object Control. *International Journal of Open Information Technologies*, 7(11), 34–42. EDN: <https://elibrary.ru/BELDRD>
4. Zotova, V. A., Tikhonova, N. A., & Feofanova, T. D. (2021). Technical Condition of Vehicles and Its Changes During Operation. *International Journal of Advanced Studies*, 11(3), 76–82. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2021-11-3-76-82> EDN: <https://elibrary.ru/WPQQRX>
5. Karagodin, V. I. (2024). Distribution of Ground Transport and Transport-Technological Means According to Objects and Types of Work Considering Their Technical Condition. *International Journal of Advanced Studies*, 14(3), 77–99. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-3-309> EDN: <https://elibrary.ru/SFOAPK>
6. Korol', R. G. (2024). Modelling of Transport Processes in Formation and Development of Cross-border Infrastructure. *International Journal*

- of Advanced Studies*, 14(4), 134–153. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-4-323> EDN: <https://elibrary.ru/LTYYNJ>
7. L'vovich, Ya. E., Ryndin, N. A., & Sakharov, Yu. S. (2021). Optimization of Resource Support Distribution for Development of Digital Management Environment in Organizational Systems. *Bulletin of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Management*, (4), 106–114. <https://doi.org/10.18137/RNU.V9187.21.04.P106> EDN: <https://elibrary.ru/FZEJTS>
 8. Ryndin, N. A., & Sakharov, Yu. S. (2022). Optimization of synchronization process of digital management environment resource distribution based on expert evaluations. In *Intelligent Information Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 42–44). Voronezh.
 9. Matyushkov, A. L., & Matyushkova, G. L. (2017). Neural Network for Setting Rating of an Object. *Bulletin of Brest State Technical University. Series: Physics, Mathematics, Computer Science*, (5), 58–59. EDN: <https://elibrary.ru/ZDFLOP>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и технологий

Воронежский институт высоких технологий

ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
app@vivt.ru

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель

Колледж Воронежского института высоких технологий

ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
vtatyana_avetisyan@mail.ru

Преображенский Юрий Петрович, кандидат технических наук, доцент, проректор по информационным технологиям

Воронежский институт высоких технологий

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
petrovich@vivt.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey P. Preobrazhenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies

Voronezh Institute of High Technologies

73a, Lenina Str., Voronezh, 394043, Russian Federation

app@vivt.ru

SPIN-code: 2758-1530

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

ResearcherID: A-5832-2019

Scopus Author ID: 14122417700

Tatyana V. Avetisyan, teacher

College of Voronezh Institute of High Technologies

73a, Lenina Str., Voronezh, 394043, Russian Federation

vtatyana_avetisyan@mail.ru

SPIN-code: 3062-9901

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>

Scopus Author ID: 58079888600

Yuriy P. Preobrazhenskiy, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice Rector for Information Technology

Voronezh Institute of High Technologies

73a, Lenina Str., Voronezh, 394043, Russian Federation

petrovich@vivt.ru

SPIN-code: 3797-9115

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9021-5106>

Scopus Author ID: 57210937583

Поступила 15.04.2025

После рецензирования 12.05.2025

Принята 23.05.2025

Received 15.04.2025

Revised 12.05.2025

Accepted 23.05.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-336

EDN: VERIWF

УДК 656.071



Научная статья | Управление процессами перевозок

ПРИМЕНЕНИЕ КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВТОБАЗЫ

Е.А. Калиберда, К.В. Чемерилова, О.Г. Шевелева

Аннотация

Обоснование. В статье рассматривается возможность применения кросс-функционального подхода для анализа и оптимизации бизнес-процессов автотранспортного предприятия. Кросс-функциональные и сквозные процессы являются базовыми подходами к процессному управлению предприятием. В статье анализируются особенности применения каждого из подходов, а также приводится обоснование необходимости создания кросс-функциональной команды для оптимизации рассматриваемых процессов.

Кросс-функциональная команда включает в себя сотрудников разных подразделений, вовлеченных в кросс-функциональный процесс. Эффективность выполнения задач подобной командой достигается за счет прямой коммуникации между всеми членами команды. В работе приводятся основные этапы создания кросс-функциональной команды и условия ее успешного функционирования.

Цель – повышение эффективности управления процессами автотранспортного предприятия компании за счет внедрения кросс-функционального подхода и организации кросс-функциональной команды.

Материалы и методы. Для анализа процессов автотранспортного предприятия авторами статьи применяется метод визуализации бизнес-процессов с помощью диаграмм в нотациях VAD (Value-Added Chain) EPC (Event-Driven Process Chain). Визуализация позволяет луч-

ше понять, как происходят операции внутри предприятия, выявить узкие места, ненужные задержки и другие проблемы, которые могут замедлять или ослаблять эффективность коммуникации. Для решения выявленных проблем предложено применить кросс-функциональный подход.

Результаты. В данной статье рассмотрены особенности деятельности специализированной автобазы при организации процесса выхода водителя на маршрут, выявлены проблемы процесса и предложено оптимизационное решение, позволяющее сократить время выхода водителя на маршрут, что уменьшит количество нареканий со стороны клиентов автобазы.

Ключевые слова: процессный подход; сквозной процесс; кросс-функциональный процесс; кросс-функциональная команда; оптимизационное решение

Для цитирования. Калиберда, Е. А., Чемерилова, К. В., & Шевелева, О. Г. (2025). Применение кросс-функционального подхода для оптимизации деятельности специализированной автобазы. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 103–123. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-336>

Original article | Transportation Process Management

APPLICATION OF A CROSS-FUNCTIONAL APPROACH TO OPTIMIZE THE ACTIVITIES OF A SPECIALIZED VEHICLE DEPOT

E.A. Kaliberda, K.V. Chemerilova, O.G. Sheveleva

Abstract

Background. The article considers the possibility of using cross-functional approach to analyze and optimize motor transport enterprise's business processes. Cross-functional and end-to-end processes are basic approaches to process-based enterprise management. The article analyzes the peculiarities of application of each of the approaches, and also provides

the justification of the necessity to create a cross-functional team to optimize the processes under consideration.

A cross-functional team includes employees of different departments involved in a cross-functional process. The efficiency of task fulfillment by such a team is achieved through direct communication between all team members. The paper presents the main stages of creating a cross-functional team and the conditions for its successful functioning.

The aim is to increase the efficiency of process management of the company's motor transport enterprises through the introduction of cross-functional approach and organization of cross-functional team.

Materials and methods. For the analysis of the processes of the motor transport enterprise the authors of the article apply the visualization method of business processes by using diagrams in notations VAD (Value-Added Chain), EPC (Event-Driven Process Chain). Visualization allows to understand better how operations occur within the enterprise, to identify bottlenecks, unnecessary delays and other problems that can slow down or weaken the effectiveness of communication. A cross-functional approach is proposed to address the identified problems.

Results. This article considers the peculiarities of a specialized depot in the organization of the process of driver's exit to the route, identifies the problems of the process and proposes an optimization solution to reduce the time of driver's exit to the route. It reduces the number of complaints from the depot customers.

Keywords: process approach; end-to-end process; cross-functional process; cross-functional team; optimization solution

For citation. Kaliberda, E. A., Chemerilova, K. V., & Sheveleva, O. G. (2025). Application of a cross-functional approach to optimize the activities of a specialized vehicle depot. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 103–123. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-336>

Введение

Понятие процессного подхода существует в сфере бизнеса с 80-х годов 20 века. Данное понятие основывается на представле-

нии деятельности любой компании, в виде набора процессов. При этом каждый процесс играет свою особую роль в создании продукта или услуги, имеющих ценность для конечного потребителя.

Основная идея процессного подхода состоит в описании, анализе, автоматизации и контроле деятельности организации на горизонтальном уровне. Для чего используются «сквозные» или кросс-функциональные бизнес-процессы. К кросс-функциональным относят процессы, проходящие через несколько различных функциональных подразделений компании. Синхронизация взаимодействия различных функциональных подразделений в «кросс-функциональном» бизнес-процессе дает возможность его оптимизации [8].

О необходимости применения кросс-функционального подхода как инновационного при решении задач проектирования и картирования потока создания ценности с целью устойчивого улучшения операционных показателей процесса и роста производительности труда персонала говорят также авторы статей [13; 15; 16].

Однако, на сегодняшний день, примеров применения кросс-функционального подхода при анализе деятельности конкретных организаций, встречается не так много. Поэтому задачей данной статьи является рассмотрение применения кросс-функционального подхода для организации и оптимизации бизнес-процессов автотранспортного предприятия.

Материалы и методы

Среди бизнес-процессов следует выделить такие категории процессов, как сквозные и кросс-функциональные процессы, каждая из которых дает ценный с точки зрения заказчика результат.

Процесс можно считать сквозным (межфункциональным), если:

- участники процесса работают в разных подразделениях;
- деятельность в рамках процесса рассматривается на уровне отделов или сотрудников;

- существует возможность организации контроля оперативной деятельности по процессу и полученным результатам одним руководителем;
- результат процесса важен с точки зрения достижения целей организации в целом либо удовлетворения потребностей внешнего потребителя [11].

При определении сквозных процессов можно отследить следующие характерные тенденции:

- Выход (результат) передается внешнему или внутреннему потребителю: при этом происходит постоянное взаимодействие организационной единицы, выполняющей процесс, с другими организационными единицами. Также для того, чтобы получить окончательный результат, процессу требуются ресурсы, которые целиком не производятся внутри самого процесса, а могут быть частично переданы из других процессов;
- Руководитель не может обеспечить необходимую результативность для того, чтобы удовлетворить потребность клиента и предоставить ему окончательный продукт/услугу, что, в свою очередь, ведет к тому, что часть продукта/услуги для клиента создается в рамках других процессов.

Из вышесказанного следует, что в сквозных процессах зачастую появляются критические точки («стыки»), которые образуются при последовательном переходе из одной организационной единицы в другую [6,9].

К факторам, влияющим на возникновение «стыков», можно отнести:

- Смысловые (лингвистические);
- Социально-культурные (различия в культурных традициях, различия в поведении на рабочих местах и т.д.);
- Психологические (связанные с непониманием информации в силу разного уровня компетентности и вовлеченности сотрудников) [6].

Появление «стыков» влечет за собой ряд проблем, негативно сказывающихся на эффекте автоматизации и/или оптимизации, а именно:

- В результате последовательной передачи операций/действий бизнес-процесса из одной организационной единицы в другую достаточно часто происходит искажение понимания того, каким должен быть конечный результат, предназначенный для потребителя;
- В рамках сквозного процесса, как правило, нет возможности предусмотреть выполнение качественной комплексной оптимизации, что ведет к точечной оптимизации отдельных участков процесса. Со временем внутри сквозного процесса появляются коммуникационные проблемы между подразделениями;
- При отсутствии лица, ответственного за полный конечный результат сквозного процесса, возникает проблема потери управляемости над процессом [9].

При необходимости организации управления сквозными процессами зачастую компании сталкиваются с определёнными трудностями.

Во-первых, помимо уже существующей единицы в организационной структуре создается дополнительная структура управления сквозными процессами. Наличие двух таких структур в компании, как правило, ведет к возникновению конфликтов, связанных с распределением ресурсов.

Во-вторых, сложно определить владельцев сквозных процессов, поскольку они должны обладать слишком высоким уровнем компетентности, а также понимания всех участков бизнес-процесса.

В-третьих, для сквозного процесса трудозатратно выстроить границы, поскольку для определения границ следует проанализировать достаточно большой пул документов, операций и задач.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что применение в организации сквозных бизнес-процессов не всегда достаточно це-

лесообразно, поскольку появление узких мест в точках передачи задач между подразделениями ведет к снижению эффективности как исполнения сквозных процессов, так и деятельности организации в целом.

Кросс-функциональный процесс представляет собой процесс, в ходе которого осуществляется постоянное (параллельное или последовательное) взаимодействие сотрудников отдельных подразделений в рамках нескольких бизнес-функций [2; 7]. Для кросс-функциональных процессов типично то, что относится к сквозным процессам, а именно, внезапность, неорганизованность возникновения, пересечение интересов разных подразделений на «стыках». Также для кросс-функциональных процессов характерно:

- несколько различных бизнес-функций, включенных в один бизнес-процесс;
- сложность дифференциации элементарных процессов из общей последовательности;
- проведение различных мероприятий для преодоления «стыков».

В отличие от сквозных процессов в кросс-функциональных процессах проблемы, связанные с возникновением барьеров и стыков, имеют эффективное решение, поскольку работа подразделений может быть организована и последовательно, и параллельно. Решение заключается в формировании кросс-функциональной команды сотрудников из разных подразделений [4; 6].

Кросс-функциональной командой является такая команда, которая включает в себя сотрудников, выполняющих разные функции [3; 12; 14]. Подобные команды достаточно быстро справляются с поставленными задачами в силу того, что они могут договориться и спланировать сроки и объемы выполнения работ с помощью применения Scrum – методики (методики организации совместного рабочего процесса, в основе которой лежат поэтапная разработка и совершенствование продукта небольшой командой специалистов различного профиля). При стандартной коммуникации

работников отделов тратится большее количество времени на согласование, утверждение и внесение изменений [6; 7].

К положительным аспектам формирования кросс-функциональных команд следует отнести:

- Совместное решение комплексных задач;
- Появление уникальных идей в рамках коммуникации и обмена опытом между участниками команд;
- Внедрение новых стратегий работы;
- Более глубокое понимание специфики работы других отделов и их потребностей;
- Появление новых компетенций у участников команд.

В случае применения кросс-функционального подхода следует иметь в виду, что создавать для команд традиционную модель, подразумевающую во главе проекта менеджера по проекту, не всегда целесообразно. Поскольку у кросс-функциональных команд преобладает достаточно высокий уровень самоорганизации, для них более характерна модель горизонтальной иерархии.

Результаты и обсуждение

Автотранспортное предприятие (сокращенно – АТП) – самостоятельный хозяйствующий субъект, целью которого является оказание услуг в части пассажирских и грузовых перевозок по стране и в другие государства.

Также могут присутствовать дополнительные виды деятельности, такие как хранение, техническое обслуживание (ТО) и ремонт автомобильного транспорта. Для АТП применимо деление по типу осуществления работ на грузовые, пассажирские (автобусы, легковые автомобили и др.), специальные (автомобили скорой медицинской помощи и др.) и смешанные [1].

По организации производственной деятельности АТП бывают следующих видов:

1. Автобаза – достаточно небольшое АТП, очень часто является дополнительным ведомством крупной организации.

2. Автоколонна – вид автомобилей, работающий автономно от основного АТП.
3. Автокомбинат – составное АТП, у которого общее число с автомобилей достигает 700 и более. Оно состоит из основной компании и нескольких филиалов, расположенных в районах обслуживания перевозок.
4. Автопарк – АТП, которое имеет стоянку и ТО пассажирского транспорта [14].

В настоящей статье рассматривается деятельность специализированной автобазы, основными видами деятельности которой являются:

- Деятельность по перевозкам пассажиров специализированным автомобильным транспортом, оборудованным для перевозок более восьми человек;
- Организация и проведение предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров;
- Деятельность по ремонту автомобилей, изготовлению и восстановлению запасных частей и агрегатов.

На предприятии существует проблема постоянного нарушения сроков выхода водителя на маршрут, определенных регламентом при перевозке пассажиров специализированным транспортом. Нарушение сроков влечет за собой прибытие к месту назначения с опозданием и нареканиям со стороны клиентов.

Для анализа возможных причин проблемы был проведен анализ деятельности предприятия по формированию документов при выходе водителя на маршрут. В результате анализа, выполненного с помощью диаграммы в нотации VAD, было выявлено, что в данном виде деятельности участвуют несколько подразделений предприятия и основным документом, обязательным для выхода водителя является «Путевой лист» (Рисунок 1).

Подразделения, участвующие в деятельности, сопровождающей выход водителя на маршрут:

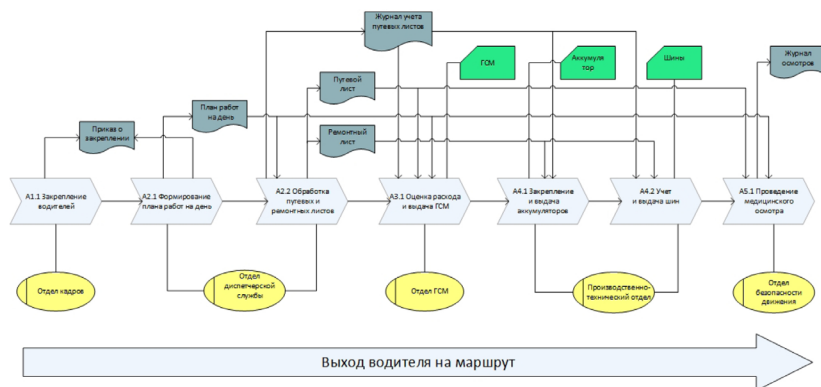


Рис. 1. Процессы и подразделения, сопровождающие выход водителя на маршрут

1. Отдел горюче-смазочных материалов (ГСМ). Данный отдел занимается учетом горюче-смазочных материалов в организации, таких как топливо, масло и др. Также они следят за настройкой различных норм расхода топлива для автомобилей.
2. Диспетчерская служба занимается заполнением, выдачей, обработкой и проверкой путевых листов. В обязанности данного отдела также входит фиксирование ремонта автомобилей, неявок, больничных, прогулов водителей и заполнение табеля учета рабочего времени;
3. Производственно-технический отдел (ПТО) следят за характеристиками каждого автомобиля (пробеги, год выпуска, тип двигателя, пассажироместимость и т.д.), своевременным выполнением ТО, учетом пробега шин и аккумуляторов у автомобилей.
4. В функции отдела кадров входит набор, увольнение, перемещение персонала, ведение учета и контроля сотрудников, формирование штатного расписания, ведение трудовых книжек, учет отработанного стажа, выдача

различных справок сотрудникам, формирования графика отпусков;

5. Отдел безопасности движения участвует в расследовании ДТП, следят за своевременным прохождением медицинского осмотра водителей АТП и технического осмотра подвижного состава.

В результате проведенного анализа у процессов, сопровождающих выход водителя на маршрут, были выявлены кросс-функциональные свойства:

- наличие разных функций внутри одного бизнес-процесса;
- сложность дифференциации элементарных процессов из общей последовательности;
- возможность преодоления «стыков» за счет формирования кросс-функциональной команды.

Также предложено решение, позволяющее устранить проблему постоянного нарушения сроков выхода водителя на маршрут. Для этого необходимо:

1. Рассмотреть деятельность по формированию документов, сопровождающих выход на маршрут, как кросс-функциональный процесс;
2. Выделить участников рассматриваемого кросс-функционального процесса, как кросс-функциональную команду без внесения изменений в существующую структуру организации;
3. Автоматизировать функции, входящие в кросс-функциональный процесс.

Для создания кросс-функциональной команды необходимо:

1. Определить цели и задачи до формирования команды
2. Определить функции, и упорядочить необходимые для достижения целей и задач. Важно учесть четкое распределение функций, чтобы не допустить перегруз команды количеством участников (Таблица)

3. Определить сотрудника, который сможет организовать эффективную работу команды

4. Закрепить зоны ответственности и критерии деятельности, которые помогают измерить степень достижения целей

5. Определить расписание регулярных совещаний (встреч участников команды);

6. Организовать предоставление обратной связи от команды (учет конструктивных комментариев от членов команды)

Таблица.

Функционально-ролевая матрица кросс-функциональной команды

Роли Функции	Сотруд- ник КС	Дис- пет- чер	Инженер отдела ГСМ	Тех- ник ПТО	Сотруд- ник ОБД	Руково- дитель команды
Формирование приказа о закреплении водителей	+					
Заполнение приказа о закреплении водителей	+					
Отправка приказа о закреплении водителей	+					
Формирование списка автомобилей		+				
Формирование списка водителей		+				
Отправка списка автомобилей		+				
Формирование списка водителей		+				
Отправка списка водителей		+				
Формирование разнарядки		+				
Отправка разнарядки		+				
Формирование путевого листа		+				
Печать путевого листа		+				

Формирование ремонтного листа		+				
Печать ремонтного листа		+				
Формирование отчета о выдаче ГСМ			+			
Отправка отчета о выдаче ГСМ			+			
Формирование отчета о выданных аккумуляторах				+		
Отправка отчета о выданных аккумуля- торах				+		
Формирование отчета о выданных шинах				+		
Отправка отчета о выданных шинах				+		
Формирование результатов меди- цинского отчета					+	
Отправка результа- тов медицинского отчета					+	
Согласование пу- тевого листа						+
Согласование ре- монтного листа						+

Для успешной деятельности созданной дополнительной единицы необходимо:

1. Предоставить команде дополнительные возможности при решении задач процесса. А, так же, возможность проведения дополнительных встреч для координации совместной деятельности и согласования взглядов на возникающие проблемы.
2. Повысить уровень самостоятельности при решении проблем процесса за счет изменения структуры подчинения членов кросс-функциональной команды. Результат активности члены

команды обсуждают только со своим руководителем, который впоследствии будет защищать проект перед вышестоящим руководством. Роль руководителя кросс-функциональной команды может выполнять руководитель одного из структурных подразделений, участвующих в кросс-функциональном процессе. В данной команде роль руководителя выполняет руководитель отдела диспетчерской службы.



Рис. 2. Автоматизированный кросс-функциональный процесс

3. Повысить уровень взаимодействия между участниками команды за счет повышения уровня коммуникаций и сокращения времени согласования спорных моментов. Специалисты, объединенные общей задачей, все спорные вопросы могут решать непосредственно в ходе работы. Автоматизация коммуникаций и согласования позволит сократить время взаимодействия. Диаграмма автоматизированного кросс-функционального процесса, реализованная в нотации EPC, представлена на Рисунке 2

Заключение

Степень организованности и согласованности внутренних бизнес-процессов является одним из факторов, оказывающих влияние на результаты деятельности организации. Применение кросс-функционального подхода позволяет согласовать деятельность отдельных подразделений организации, улучшить коммуникацию между участниками процесса и, тем самым, сократить время выполнения бизнес-процесса.

Применение кросс-функционального подхода при организации процесса выхода водителя автотранспортного предприятия на маршрут позволит исключить из рассматриваемого процесса моменты затягивания процесса в результате несогласования действий участников процесса и отсутствия должной коммуникации между ними.

Созданная кросс-функциональная команда делает возможным объединение разных точки зрения и опыта, что позволит решить проблему взаимодействия участников, выполняющих разные функции при реализации кросс-функционального процесса.

Для оптимизации деятельности кросс-функциональной команды предложено программное решение, автоматизирующее рассматриваемый кросс-функциональный процесс, улучшающее коммуникацию членов команды и дополнительно уменьшающее время процесса выхода водителя на маршрут.

Список литературы

1. Автотранспортное предприятие: понятие, задачи и организационная структура. (2018). Получено с <https://umc-auto.ru/автотранспортное-предприятие-струк/>
2. Белайчук, А. Управление кросс-функциональными процессами. Получено с https://quality.eup.ru/DOCUM7/Cross-functional_processes.htm
3. Богданович, М. Кросс-функциональное взаимодействие департаментов. Как наладить работу. Получено с <https://training-institute.ru/blog/kross-funktsionalnoe-vzaimodejstvie-departamentov-kak-naladit-rabotu>
4. Гордеева, Е. И. (2022). Кросс-функциональные бизнес-процессы как новый объект исследования. *Учет. Анализ. Аудит*, 9(3), 107–116. <https://doi.org/10.26794/2408-9303-2022-9-3-107-116> EDN: <https://elibrary.ru/KXACVB>
5. Гордеева, Е. И. (2016). Контроллинг и оценка эффективности кросс-функциональных бизнес-процессов. *Вестник профессиональных бухгалтеров*, (6). Получено с <https://www.ipbr.org/projects/vestnik/editions/2016/6/gordeeva> EDN: <https://elibrary.ru/XHXZXN>
6. Гордеева, Е. И. (2016). Учетно-аналитическое сопровождение кросс-функциональных бизнес-процессов. *Научные записки молодых исследователей*, (4-5), 53–59. EDN: <https://elibrary.ru/WTIWXZ>
7. Калабина, Е. Г., & Беляк, О. Ю. (2021). Кросс-функциональные команды: основные направления исследований в менеджменте. *Управленец*, 12(6), 104–114. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2021-12-6-7> EDN: <https://elibrary.ru/XZBVLO>
8. Коптелов, А. К. Неизбежность процессного подхода. Получено с <https://koptelov.info/kniga-upravlenie-biznes-protsessami/neizbezhnost-protsessnogo-podhoda>
9. Линева, Е. Л. (2013). Классификация автотранспортных предприятий структур. *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление*, (2), 79–84. EDN: <https://elibrary.ru/QGSBAD>

10. Миллиардов, А. Как оптимизировать бизнес-процессы. Путь к автоматизации и эффективности. Получено с <https://vb.topbook.me/books/1668850399543>
11. Репин, В. В. (2014). *Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление* (2-е изд.). Москва: Манн, Иванов и Фербер. 512 с.
12. Akuffo, I. N. (2020). Cross-functional teams and innovation performance: The case of multinational enterprises. *International Journal of Export Marketing*, 3(3), 204–218. <https://doi.org/10.1504/IJEXPORTM.2020.107720> EDN: <https://elibrary.ru/ONCRIE>
13. Powell, D. J., & Bartolome, C. P. F. (2020). Enterprise-wide Value Stream Mapping: From dysfunctional organization to cross-functional, collaborative learning and improvement. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (Singapore, 14–17 December 2020). Singapore: IEEE, 551–555. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309977>
14. Franke, H., & Foerstl, K. (2021). Goals, conflict, politics, and performance of cross-functional sourcing teams—Results from a social team experiment. *Journal of Business Logistics*, 41(1), 6–30. <https://doi.org/10.1111/jbl.12225>
15. Powell, D. J., & Coughlan, P. (2020). Rethinking lean supplier development as a learning system. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(7/8), 921–943. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2019-0486> EDN: <https://elibrary.ru/AHUOJQ>
16. Li, Y., Zhang, J. C., & Zhang, H. H. (2018). Collaborative innovation using bi-processes cross-functional team on new product development. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (Bangkok, Thailand, 16–19 December 2018). Bangkok: IEEE, 1904–1908. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607394>

References

1. Avtotransportnoe predpriyatie: poniatie, zadachi i organizatsionnaya struktura [Automotive enterprise: concept, tasks and organizational

- structure]. (2018). Retrieved from <https://umc-auto.ru/avtotransport-noe-predpriyatie-struk>
2. Belaichuk, A. Upravlenie kross-funktsional'nymi protsessami [Management of cross-functional processes]. Retrieved from https://quality.eup.ru/DOCUM7/Cross-functional_processes.htm
 3. Bogdanovich, M. Kross-funktsional'noe vzaimodeistvie departamentov. Kak naladit' rabotu [Cross-functional department interactions. How to organize work]. Retrieved from <https://training-institute.ru/blog/kross-funktsionalnoe-vzaimodeistvie-departamentov-kak-naladit-rabotu>
 4. Gordeeva, E. I. (2022). Cross-functional business processes as a new area of research. *Accounting. Analysis. Audit*, 9(3), 107–116. <https://doi.org/10.26794/2408-9303-2022-9-3-107-116> EDN: <https://elibrary.ru/KXACVB>
 5. Gordeeva, E. I. (2016). Controlling and assessment of cross-functional business processes efficiency. *Professional Accountants Bulletin*, (6). Retrieved from <https://www.ipbr.org/projects/vestnik/editions/2016/6/gordeeva> EDN: <https://elibrary.ru/XHXZXN>
 6. Gordeeva, E. I. (2016). Accounting and analytical support of cross-functional business processes. *Scientific Notes of Young Researchers*, (4-5), 53–59. EDN: <https://elibrary.ru/WTIWXX>
 7. Kalabina, E. G., & Belyak, O. Yu. (2021). Cross-functional teams: Main research directions in management. *Manager*, 12(6), 104–114. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2021-12-6-7> EDN: <https://elibrary.ru/XZBVLO>
 8. Koptelev, A. K. Neizbezhnost' protsessnogo podkhoda [Inevitability of process approach]. Retrieved from <https://koptelov.info/kniga-upravlenie-biznes-protsessami/neizbezhnost-protsessnogo-podkhoda>
 9. Lineva, E. L. (2013). Classification of automotive entrepreneurial structures. *Bulletin of Pskov State University. Series: Economics. Law. Management*, (2), 79–84. EDN: <https://elibrary.ru/QGSBAD>
 10. Million, A. Kak optimizirovat' biznes-protsessy. Put' k avtomatizatsii i effektivnosti [How to optimize business processes. Path to au-

- tomation and efficiency]. Retrieved from <https://vb.topbook.me/books/1668850399543>
11. Repin, V. V. (2014). *Business Processes: Modeling, Implementation, Management* (2nd ed.). Moscow: Mann, Ivanov and Ferber. 512 p.
 12. Akuffo, I. N. (2020). Cross-functional teams and innovation performance: The case of multinational enterprises. *International Journal of Export Marketing*, 3(3), 204–218. <https://doi.org/10.1504/IJEXPORTM.2020.107720> EDN: <https://elibrary.ru/ONCRIE>
 13. Powell, D. J., & Bartolome, C. P. F. (2020). Enterprise-wide value stream mapping: From dysfunctional organization to cross-functional, collaborative learning and improvement. In *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 551–555). Singapore: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309977>
 14. Franke, H., & Foerstl, K. (2021). Goals, conflict, politics, and performance of cross-functional sourcing teams—results from a social team experiment. *Journal of Business Logistics*, 41(1), 6–30. <https://doi.org/10.1111/jbl.12225>
 15. Powell, D. J., & Coughlan, P. (2020). Rethinking lean supplier development as a learning system. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(7/8), 921–943. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2019-0486> EDN: <https://elibrary.ru/AHUOJQ>
 16. Li, Y., Zhang, J. C., & Zhang, H. H. (2018). Collaborative innovation using bi-processes cross-functional team on new product development. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1904–1908). Bangkok: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607394>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Калиберда Елена Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математических методов и информационных технологий в экономике
Омский государственный технический университет

*проспект Мира, 11, г. Омск, 644000, Российская Федерация
elekaliberda@rambler.ru*

Чемерилова Ксения Владимировна, старший преподаватель,
кафедры математических методов и информационных тех-
нологий в экономике

*Омский государственный технический университет
проспект Мира, 11, г. Омск, 644000, Российская Федерация
trr474747@mail.ru*

Шевелева Ольга Геннадьевна, старший преподаватель, кафе-
дры математических методов и информационных техноло-
гий в экономике

*Омский государственный технический университет
проспект Мира, 11, г. Омск, 644000, Российская Федерация
osh_a@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Kaliberda, Candidate of Technical Sciences, Associate Pro-
fessor, Associate Professor of the Department of Mathematical
Methods and Information Technologies in Economics

*Omsk State Technical University
11, Mira Ave., Omsk, 644000, Russian Federation
elekaliberda@rambler.ru*

SPIN-code: 4209-8442

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2796-5913>

ResearcherID: K-1294-2018

Scopus Author ID: 57201735193

Ksenia V. Chemerilova, Senior teacher, Department of Mathematical
Methods and Information Technologies in Economics

*Omsk State Technical University
11, Mira Ave., Omsk, 644000, Russian Federation*

trr474747@mail.ru

SPIN-code: 1851-6858

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6648-3672>

ResearcherID: N-9714-2015

Olga G. Sheveleva, Senior teacher, Department of Mathematical
Methods and Information Technologies in Economics

Omsk State Technical University

11, Mira Ave., Omsk, 644000, Russian Federation

osh_a@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-4520>

Поступила 15.04.2025

После рецензирования 12.05.2025

Принята 16.05.2025

Received 15.04.2025

Revised 12.05.2025

Accepted 16.05.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-342

EDN: SJXJCE

УДК 631.1



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Крухмалев

Аннотация

Обоснование. В исследовании приведено обоснование использования современных технологий, активно внедряющихся в сельское хозяйство, особенно в условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата и ужесточение регулирования. Одним из ключевых инструментов становятся сельскохозяйственные дроны, что позволяет фермерам получать точные данные о состоянии полей в реальном времени. Таким образом, их использование может стать важным шагом к устойчивому и эффективному сельскому хозяйству.

Цель – повышение эффективности управления предприятиями сельского хозяйства путем использования беспилотных летательных аппаратов для задач агропромышленных комплексов, существенно уменьшая издержки производства сельского хозяйства.

Материалы и методы исследования. Главный метод исследования является определение многозадачности БПЛА–анализ необходимых технологий, применяемых в агропромышленных комплексах. Статья базируется на комплексе источников, представленных нормативными правовыми актами, делопроизводством, статистическими и справочными материалами, периодикой.

Результаты исследования. Проведенный анализ показал, что БПЛА часто используются в качестве воздушного мониторинга, ко-

которые могут выполнять функцию как аэрофотосъёмки, так и для доставки средств защиты растений и выполнения множество необходимых функций. Беспилотные летательные аппараты также удобно использовать для создания моделей различных сельхоз объектов (зданий, технологических сооружений, мелиоративных объектов и гидротехнических сооружений).

Ключевые слова: сельское хозяйство; дрон; технологии; мониторинг; данные; урожайность; агродрон

Для цитирования. Крухмалев, А. В. (2025). Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве: современные технологии и перспективы. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 124–142. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-342>

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE: MODERN TECHNOLOGIES AND PROSPECTS

A. V. Krukhmalev

Abstract

Background. The study provides a rationale for the use of modern technologies that are being actively introduced into agriculture, especially in the context of global challenges such as climate change and tightening regulations. Agricultural drones are becoming one of the key tools, allowing farmers to obtain accurate data on the condition of their fields in real time. Thus, their use can be an important step towards sustainable and efficient agriculture.

Purpose – increasing the efficiency of agricultural enterprise management by using unmanned aerial vehicles for the tasks of agro-industrial complexes, significantly reducing the costs of agricultural production.

Materials and methods. The main research method is to determine the multitasking of UAVs - analysis of the necessary technologies used in agro-in-

dustrial complexes. The article is based on a set of sources presented by regulatory legal acts, office work, statistical and reference materials, periodicals.

Results. The analysis showed that UAVs are often used as aerial monitoring, which can perform the function of both aerial photography and the delivery of plant protection products and perform many necessary functions. Unmanned aerial vehicles are also conveniently used to create models of various agricultural objects (buildings, technological structures, melioration facilities and hydraulic structures).

Keywords: agriculture; drone; technology; monitoring; data; yield; agrodrones

For citation. Krukhmalev, A. V. (2025). Use of unmanned aerial vehicles in agriculture: modern technologies and prospects. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 124–142. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-342>

Введение

Технологии развиваются стремительными темпами. Глобальный спрос на сельскохозяйственную технику для производства растет. Сельское хозяйство значительно выигрывает от коммерциализации использования дронов. Авиационная инженерия и аэрофотосъемка эволюционировали и объединились, что привело к созданию технологии дронов.

Сегодня фермеры сталкиваются с растущим числом сложных проблем: изменение климата, качество воды и почвы, нестабильные цены на сырьевые товары, экономические вызовы в плане производительности и рентабельности, жесткое регулирование, международная конкуренция, рост затрат на рабочую силу, увеличение населения, урбанизация, ухудшение состояния окружающей среды, изменение пищевых предпочтений и многое другое. Они обращаются к высоким технологиям для решения этих задач. Фермеры вынуждены серьезно рассматривать любые инструменты, способные повысить продуктивность. Одним из таких инструментов является дрон – доступное и легко развертываемое решение.

Дрон (Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment) чаще называют беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Хотя изначально дроны разрабатывались для военных целей, сейчас они широко применяются в гражданских сферах: сельское хозяйство, чрезвычайные ситуации, патрулирование границ, ликвидация последствий стихийных бедствий и правоохранительная деятельность. Дроны становятся популярными для аэрофотосъемки, дополняя существующие технологии, такие как спутники и пилотируемые самолеты. Они используются в коммерческих и промышленных целях: военная киносъемка, видеосъемка свадеб, мониторинг железнодорожных путей, наблюдение за дикой природой, доставка небольших грузов, обеспечение безопасности, операции правоохранительных органов, управление при стихийных бедствиях и сельское хозяйство.

Современные дроны становятся «умнее» благодаря интеграции открытых технологий, интеллектуальных датчиков, улучшенной интеграции, увеличению времени полета, отслеживанию преступников, обнаружению лесных пожаров и зон стихийных бедствий.

Дроны оснащены всем необходимым программным обеспечением, датчиками и оборудованием, которое фермеру требуется для оценки состояния и обследования сельхозугодий. Типичный дрон включает системы двигателей и навигации, GPS-датчики, инфракрасные камеры, программное обеспечение и программируемые контроллеры. Камера на дроне предназначена для наблюдения. Из-за небольших размеров дроны не могут перевозить людей. Управление возможно двумя способами: напрямую оператором или автономно. Пролетая над полем, дрон делает высококачественные снимки. Это экономически эффективный подход для сбора данных о различных условиях.

Дрон – это беспилотный самолет, предназначенный для сбора более точной информации, чем самолеты или спутники. После обработки данных дрон передает их фермеру в удобном формате для принятия управленческих решений. Данные анализируются

с помощью специализированного ПО для сельскохозяйственных дронов, что позволяет фермеру оперативно корректировать производственные проблемы.

Цель исследования. Повышение эффективности управления предприятиями сельского хозяйства путем использования беспилотных летательных аппаратов для задач агропромышленных комплексов.

Как и любая технология, дроны имеют плюсы и минусы. Их растущая доступность объясняет рост популярности. Ключевые преимущества:

1. Повышение продуктивности

— Дроны помогают удовлетворять растущий спрос на продовольствие.

— Точные данные с камер показывают развитие, что особенно важно для мелких фермерских хозяйств.

2. Снижение загрязнения

— Минимизация сельскохозяйственных стоков за счет точного внесения удобрений и пестицидов.

3. Адаптация к изменению климата

— Экстремальные погодные условия (засухи, наводнения) угрожают продовольственной безопасности.

— Дроны помогают фермерам внедрять устойчивые практики для смягчения последствий.

4. Мультипликативный эффект

— Создание новых рабочих мест в сельской местности: операторы дронов, IT-специалисты, инженеры.

Слабые стороны внедрения дронов:

Распространению технологии мешают:

— Безопасность: Риск столкновений с самолетами из — за общего воздушного пространства.

— Конфиденциальность: Вопросы сбора данных и соблюдения приватности.

— Сложность и стоимость:

- Высокие капитальные затраты на оборудование и ПО.

- Необходимость оплаты труда операторов.

Проблемы с подключением:

- Зависимость от интернета (например, для работы с картами).

- Отсутствие связи в удаленных районах.

- Регуляторные ограничения:

- Дроны могут использоваться только на небольших территориях за один полет.

Растет число фермеров, внедряющих дроны. Технологии дронов постоянно совершенствуются: улучшаются батареи, снижается стоимость оборудования. Будущее дронов в сельском хозяйстве выглядит многообещающим. Они уже стали неотъемлемой частью агроиндустрии.

Материалы и методы

Дрон, используемый в сельском хозяйстве, называют сельскохозяйственным дроном. Его могут приобретать два типа специалистов: фермеры и поставщики сельскохозяйственных услуг.

В условиях быстро меняющегося мира фермерам необходимы технологии нового поколения для решения возникающих проблем. Дроны помогают справляться с широким спектром задач. Использование дронов в сельском хозяйстве может стать переломным моментом. Получая доступ к большому объему данных, фермеры могут повысить урожайность, сэкономить время, сократить расходы и действовать с высокой точностью.

Данные с дронов – мощный инструмент, позволяющий фермерам визуализировать свои поля. Высокое разрешение съемки помогает оценить плодородность, что позволяет точнее вносить удобрения и сокращать потери.

Сельское хозяйство предлагает разнообразные и перспективные способы использования дронов. На сегодня технология применяется для мониторинга, картографирования, орошения, инспекции, опрыскивания, обследования обширных территорий.

1. Мониторинг

— Сельскохозяйственные поля часто занимают огромные площади, что затрудняет наблюдение.

— Дроны позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние полей точнее и дешевле, чем спутниковые снимки.

— С помощью датчиков дроны выявляют участки, требующие полива, анализируют здоровье, потребность в воде, состав почвы и растительные индексы (NDVI и др.).

— Раннее обнаружение болезней или вредителей помогает предотвратить их распространение.

2. Картографирование

— Дроны проводят регулярную съемку полей (ежедневно, еженедельно).

— Специальное ПО преобразует данные в детальные карты, выявляя скрытые проблемы (например, неравномерный рост).

— На основе актуальной информации фермеры принимают меры для улучшения состояния растений.

3. Посев семян

— Дроны могут «выстреливать» капсулы с семенами в подготовленную почву.

— Это сокращает затраты на ручной посев и экономит время.

4. Опрыскивание

— Дроны распыляют воду, удобрения или гербициды с высокой точностью, минимизируя контакт человека с химикатами.

— Сенсоры и камеры помогают обнаруживать зараженные участки для точечной обработки.

5. Точное земледелие

— Подход, основанный на использовании GPS, ГИС (геоинформационных систем).

— Дроны предоставляют актуальные данные для оптимизации внесения ресурсов (удобрений, воды), что повышает эффективность и урожайность.

Ключевые технологии:

— GPS и ГИС: интеграция с дронами позволяет создавать точные карты полей и автоматизировать задачи.

— Мультиспектральные камеры: анализируют здоровье через индексы.

— ИИ-алгоритмы: обрабатывают данные для прогнозирования урожайности и выявления аномалий.

Эти инструменты делают дроны незаменимыми для современного сельского хозяйства, где скорость и точность решений критически важны.

Принципы устойчивости сельского хозяйства:

— Устойчивое управление земельными ресурсами может обратить вспять последствия деградации почв, вызванной изменением климата.

— Дроны играют ключевую роль в улучшении устойчивых практик, помогая агрономам и фермерам оптимизировать операции.

— Технология способствует достижению Целей устойчивого развития (ЦУР), таких как борьба с голодом и сохранение экосистем.

Возрастающая численность населения на Земле за последнее десятилетие создаёт ситуацию дефицита производимой сельскохозяйственной продукции. По оценке ФАО, к 2050 году население на планете достигнет – 10 млрд. человек, то есть станет на треть больше, чем сегодня. Следовательно, сельскохозяйственным предприятиям нужно производить в 2 раза больше сельскохозяйственной продукции. Вот почему развитие сельскохозяйственной отрасли необратимо, что является итогом рыночной экономики приводящей к усилению конкуренции по качеству, цене и независимости урожая от погодных условий и вредителей, затратам на содержание техники и персонала [6].

Современный агропромышленный комплекс работает по тем же принципам, что и любой бизнес, при постоянном стремлении снижать себестоимость валовой единицы продукции с повыше-

нием производительности в расчёте на единицу затраченных ресурсов. На протяжении XX века достижение этих целей позволял классический инструментарий: энергоёмкие сельскохозяйственные машины, высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных культур, эффективные методы ухода (регуляторы роста, удобрения), а также оптимальные агротехнические приемы. Сегодня эти инструменты по-прежнему действительны, но их потенциал практически достиг предела возможного. В нынешнее время появились новые инструменты, в том числе спутниковые и компьютерные технологии, ставшие общедоступными, Освоение таких технологий и внедрение их в сельское хозяйство, привело к возникновению точного земледелия [4; 7].

Одним из многообещающих направлений в точном земледелии является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – «дронов», в обиходе – «беспилотников». Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – это летательный аппарат без экипажа на борту, способный обладать разной степенью автономности – от управляемого дистанционно, до полного автоматического режима, а также иметь различия по конструкции и назначению.

«Дроны» используются в коммерческих целях с начала 1980 года. В минувшее время возможности практического применения дронов начинают расширяться [1; 3].

Так, в 2018 году оценка мирового рынка беспилотных летательных аппаратов составила 7,5 млрд. долларов к 2021 году он вырос до 9,5 млрд. долларов. В нынешнее время Россия занимает незначительную долю в продаже «дронов», около 2%, но имеется высокие возможности для дальнейшего роста. Специфика российского рынка БПЛА состоит в преобладании производителей военных «дронов» и фактически полном отсутствии производителей потребительских и коммерческих «дронов». При этом преимущественно часть производителей военных БПЛА имеет в своем распоряжении либо уже устаревшие технические модели, либо только опытные современные прототипы, которые *наглядно показывает-*

ся на выставках, но не поступают в массовое производство, и, несмотря на существенные бюджетные вливания со стороны государства, продукция российских компаний сейчас не выдерживает конкуренции с западными образцами.

Использование БПЛА в сельском хозяйстве может совершить настоящий прогресс, существенно снизив производственные затраты. Использование беспилотных летающих аппаратов в производстве продукции сельскохозяйственного производства широко внедряются в США, Китае, Японии, Бразилии и многих европейских странах. По данным организации AUVSI, в отчете под названием «The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States» [13], применения БПЛА в сельском хозяйстве будут превалировать над всеми остальными классическими инструментами («dwarf all others») и к 2026 году около 80% рынка беспилотных машин («дронов») будет занято в сельском хозяйстве США.

Результаты и обсуждение

Огромная актуальность использования беспилотных летательных средств для сельского хозяйства России сохраняется. Стране с обширной территорией и большой площадью под сев, мониторинг сельхозугодий довольно часто является трудной задачей. При государственной поддержке Россия к 2035 году может занять от 15–20% (базовый прогноз) до 20–25% (оптимистический прогноз) мирового рынка в сельском хозяйстве.

В денежном эквиваленте объём рынка по предоставлению услуг на основе БАС в аграрном секторе, занимаемая российскими компаниями, – 340 млрд. рублей, а продажа БВС реализуется дополнительно на 37 млрд. рублей.

Использование БПЛА в аграрном секторе (табл. 1) имеет внушительный масштаб внедрения, и с каждым годом интерес к их использованию растет. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве является новшеством для России, в первую очередь, при исполнении задач точного земледелия [8].

«Беспилотники» оборудуются различными датчиками, в том числе мультиспектральными камерами, высокой четкости изображения которые дают возможность точно определять проблемные участки поля, системами спутниковой навигации.

Таблица 1.

Целевые возможности применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве [10; 11]

В земледелии	В зоотехнии и ветеринарии
<ul style="list-style-type: none"> • инвентаризация сельхозугодий; • проектирование электронных карт полей; • оценка объема работ и отслеживание их выполнения; • оперативный контроль состояния посевов; • определение всхожести сельскохозяйственных культур; • охран сельхозугодий; • предварительная обработка посевов пестицидами для борьбы с вредными болезнями и сорняками. Просматривая посевы, могут распылять необходимое количество жидкости, изменяя высоту полета и объем жидкости в реальном времени и обеспечивая равномерное покрытие всей площади посевов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг здоровья животных; • наблюдение мест выпаса; • ветеринарная помощь (с помощью «БПЛА» можно дистанционно ввести успокоительное, вакцину, антибиотик или глистогонное средство); • судебная экспертиза (оценка причиненного ущерба посевов, животным); • защищенность и охрана животных на пастбищах; • контроль питания и водного баланса животных; • сбор скота в стадо.

Следует отметить, что на сегодняшний день БПЛА в нашей стране не так распространены, данное направление находится на начальном этапе.

Заключение

За последние несколько лет создано множество разнообразных проектов применения сельскохозяйственных «Беспилотников», но более 90% до сегодняшнего дня не воплощены в реальность [12]. Причин этого несколько (табл. 2):

Во-первых, слабым звеном «БПЛА» остаётся управление, которое нуждается в специфическом обучении. Так, при управлении «дроном» весом в несколько килограммов, умеющими совершать полёт на высоте в несколько сотен метров, недостаток опыта управления пилотов-операторов, представляет риск для окружающих людей, имущества.

Во-вторых, защищённость полетов относительно вопросов неприкосновенности личной жизни. Однако главной трудностью для сельского хозяйства является качество получаемых данных.

В-третьих, существенным барьером остается влияние погодных факторов на управление беспилотными летательными аппаратами.

В-четвертых, основной проблемой для агропромышленного комплекса остается вопрос цены «БПЛА», все зависит от технологического уровня компьютерного обеспечения беспилотной системы.

В-пятых, комплексному внедрению дронов в сельское хозяйство препятствует законодательство.

В-шестых, по мнению И. А. Родионова, Р. В. Кошкарлова, М. Н. Николаева, «Несмотря на высокую степень автоматизации, БПЛА все еще подвержены риску различных факторов, которые могут привести к возгоранию» [26]. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости знаний по предотвращению возгораний БПЛА.

В соответствии с Федеральным законом, от 03.07.2016 №291-ФЗ «О внесении изменений в воздушный кодекс Российской Федерации» беспилотные авиационные системы и их элементы подлежат обязательной сертификация на основе федеральных авиационных правил. Обязательная сертификация завершается выдачей сертификата, если в ходе проведения сертификации установлено, что беспилотные авиационные системы и (или) их элементы соответствуют требованиям к летной годности и к охране окружающей среды [14].

Иначе говоря, все владельцы беспилотных летательных аппаратов обязаны регистрировать свои аппараты весом от 0,25 до 30 кг, ввезенные или произведенные в РФ. Технически под это определение попадают не только промышленно изготовленные «БПЛА», но и продукция кружков авиамоделирования, но и детские радиоуправляемые игрушки. Основываясь на федеральном законе, управлять дроном может только внешний пилот с правами [5]. В таком ходе развития событий необходимо обеспечить грамотное обучение «специалистов-агров», адресованное на оперативную работу с информацией и принятия эффективных управленческих решений. Для нормального

роста отрасли нужны также правила, разрешающие полеты «БПЛА» в явочном порядке, а не в разрешительном, ограничивая их лишь определенной высотой, установив запрещенные зоны.

Анализ «Использования «беспилотников» в сельском хозяйстве Российской Федерации»

Положительные стороны	Отрицательные стороны
<ul style="list-style-type: none"> Оперативность поступления снимков. Дроны позволяют вести съемку даже в условиях облачности, что недоступно спутникам и ограничивает использование авиации. Вероятность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов. Дроны могут характеризоваться различной степенью автономности – от управляемых дистанционно до полностью автоматических. Доступность и простота использования. 	<ul style="list-style-type: none"> Небольшое время полёта ввиду малой ёмкостью аккумулятора. Ограниченный подъемная сила (к примеру, агродрон для сельского хозяйства DJI Agras T10, главной функцией которого является опрыскивание полей, предел подъема жидкости для орошения до 10 кг). Не надежны в плохих погодных условиях (сильный дождь, ветер). Необходимо надлежащее программное обеспечение, так как количество систем мобильного мониторинга с использованием «Агродронов» является крайне скудным и в основном находится на стадии проектирования.
Возможности	Риски
<ul style="list-style-type: none"> Обследование и подкормка всхожих посевов, так как во многих случаях такие технологические операции ограничены при высоком стеблестое некоторых культур, по причине которой невозможно использования для этих целей наземных устройств. Опрыскивание посевов химическими препаратами для борьбы с вредителями и вирусами. Создание электронных карт полей. Переучет сельхозугодий. Оценка и контроль объема выполнения работ. Мониторинг NDVI для точного внесения удобрений. В динамике контролирование состояния посевов сельскохозяйственных культур и быстрое принятие управленческих решений на изменяющуюся ситуацию. 	<ul style="list-style-type: none"> Согласно федеральному закону №291-ФЗ от 03.07.2016. «О внесении изменений в воздушный кодекс Российской Федерации», управлять беспилотным летательным аппаратом может только внешний пилот с правом управления. Требуется пройти регистрацию «Дрона». Дефицит специалистов. Захват управления «Агродрона», угон. Дефицитное финансовое обеспечение сельскохозяйственного производства. Зарубежное производство «Дронов» и подходящего программного обеспечения.

Несмотря на сложности, которые претерпевает индустрия беспилотной авиации сейчас, в ближайшем будущем в сфере

беспилотных летательных аппаратов предвидится прорыв: дроны станут доступны практически каждому, будут обладать большим временем полета, оборудоваться камерами с высокой четкостью, разнообразными специализированными устройствами, системами безопасности полета и помощью контроля управления [12].

Благодаря развитию авиационных технологий, БПЛА будут активно входить во все сферы жизнедеятельности человека, в том числе и в агропромышленные комплексы, существенно увеличивая производительность труда и уменьшая издержки производства сельского хозяйства.

Список литературы

1. Бауэрс, П. (2016). *Летательные аппараты нетрадиционных схем*. Москва: Мир. 320 с.
2. Василян, Н. Я. (2017). *Беспилотные летательные аппараты*. Минск: Попурри. 272 с.
3. Витер, А. Ф., Турусов, В. И., Гармашов, В. М., & др. (2014). *Обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия*. Монография. Москва: НИЦ ИНФРА-М. 173 с.
4. Кучкарова, Д. Ф., & Хаитов, Б. У. (2015). Современные системы ведения сельского хозяйства. *Молодой учёный*, (12), 222–223.
5. Лященко, Ю. В. (2016). Правовой аспект использования беспилотных аппаратов в России. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2(12), 612–614.
6. Семькин, В. А., & Пигорев, И. Я. (2008). Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства Курской области. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (1), 3–7.
7. Труфляк, Е. В. (2016). *Основные элементы системы точного земледелия*. Краснодар: КубГАУ. 39 с.
8. Хорт, Д. О., Личман, Г. И., Филиппов, Р. А., & Беленков, А. И. (2016). Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) в точном земледелии. *Фермер. Поволжье*, (7), 34–37.
9. Можно ли использовать беспилотники в животноводстве? (2016). Форум робототехники RoboTrends. Получено с <http://robotrends>.

- ru/pub/1617/mozhno-li-ispolzovat-bespilotniki-v-zhivotnovodstve-i-veterinarii-bezuslovno (обращение 28 января 2025 г.)
10. Как дроны преобразовывают сельское хозяйство. (2016). Независимое издание RUSBASE. Получено с <http://rb.ru/list/agriculture-drones> (обращение 28 января 2025 г.)
 11. Будущее животноводства за беспилотными летательными аппаратами. (2016). Информационное агентство Milknews.ru. Получено с http://milknews.ru/index/Technology/Technology_952.html (обращение 28 января 2025 г.)
 12. Что мешает беспилотникам развиваться? (2015). Независимое издание RUSBASE. Получено с <https://rb.ru/opinion/drones-challenge> (обращение 28 января 2025 г.)
 13. The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States. (2013). Получено с https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf (обращение 28 января 2025 г.)
 14. Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 291-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации». (2016). Получено с <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/775843/#ixzz5dtiboWRA> (обращение 28 января 2025 г.)
 15. Закон о квадрокоптерах в РФ 2022. Нужно ли регистрировать квадрокоптер? 150 вместо 250 грамм. (2022). ПрофПВ.ру. Получено с <https://profpv.ru/zakon-o-bespilotnikah-v-rf-nuzhno-li-reg> (обращение 25 мая 2025 г.)
 16. Дрон и квадрокоптер – в чём разница? Сайт SlySky.ru. Получено с <https://slysky.ru/blog/between-dron-and-quadrocopter.html> (обращение 25 мая 2025 г.)
 17. Агродрон DJI Agras T30. Сайт ParaGraph.ru. Получено с <https://www.paragraf.ru/product-page/агродрон-dji-agras-t30> (обращение 25 мая 2025 г.)
 18. Караев, В. В., & Нартикоева, Л. Г. (2018). Беспилотники в сельском хозяйстве. Получено с https://russiadrone.ru/publications/bespilotniki-v-selskom-khozyaystve_/ (обращение 25 мая 2025 г.)

19. Сергеев, К. (2023). Беспилотники в сельском хозяйстве. *Ресурсосберегающее земледелие*, (2).
20. БПЛА как основа земледелия ближайшего будущего. (2017). Сетевое издание «Айоти.ру». Получено с <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/bpla-kak-osnova-zemledeliya-blizhayshego-budushchego> (обращение 25 мая 2025 г.)
21. Дроны в сельском хозяйстве. (2024). Tadviser.ru. Получено с https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Дроны_в_сельском_хозяйстве (обращение 25 мая 2025 г.)
22. На полях Самарской области используют дроны для борьбы с сорняками. (2020). Agrarii.com. Получено с <https://agrarii.com/napoljah-samarskoj-oblasti-ispolzujut-drony-dlja-borby-s-sornjakami> (обращение 25 мая 2025 г.)
23. Сельскохозяйственные квадрокоптеры. Rusgeocom.ru. Получено с <https://www.rusgeocom.ru/catalog/bespilotniki-dlya-selskogo-khoziajstva> (обращение 25 мая 2025 г.)
24. Беспилотники в сельском хозяйстве. (2019). Geomir.ru. Получено с <https://www.geomir.ru/publikatsii/bespilotniki-v-selskom-khozyaystve> (обращение 25 мая 2025 г.)
25. Родионов, И. А., Кошкарров, Р. В., & Николаева, М. Н. (2024). Пожарная опасность, вызванная выходом из строя беспилотных летательных аппаратов. В *Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России* (Иваново, 21 ноября 2024 г.) (с. 555–558). Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ. EDN: <https://elibrary.ru/DTTXPK>

References

1. Bauers, P. (2016). *Non-traditional Aircraft Configurations*. Moscow: Mir. 320 p.
2. Vasilin, N. Y. (2017). *Unmanned Aerial Vehicles*. Minsk: Popurri. 272 p.

3. Viter, A. F., Turusov, V. I., Garmashov, V. M., et al. (2014). *Soil Processing as a Factor of Soil Fertility Regulation*. Monograph. Moscow: NC INFRA-M. 173 p.
4. Kuchkarova, D. F., & Khaitov, B. U. (2015). Modern agricultural management systems. *Molodoj Uchenyj*, (12), 222–223.
5. Lyashchenko, Yu. V. (2016). Legal aspects of unmanned aerial vehicles use in Russia. *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics*, 2(12), 612–614.
6. Semykin, V. A., & Pigorev, I. Ya. (2008). Scientific support for innovative development of agriculture in the Kursk region. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*, (1), 3–7.
7. Truflyak, E. V. (2016). *Basic Elements of Precision Agriculture System*. Krasnodar: KubGAU. 39 p.
8. Hort, D. O., Lichman, G. I., Filippov, R. A., & Belenkov, A. I. (2016). Application of unmanned aerial vehicles (drones) in precision agriculture. *Farmer. Volga Region*, (7), 34–37.
9. Can unmanned aerial vehicles be used in animal husbandry? (2016). *RoboTrends Robotics Forum*. Retrieved January 28, 2025, from <http://robotrends.ru/pub/1617/mozhno-li-ispolzovat-bespilotniki-v-zhivotnovodstve-i-veterinarii-bezuslovno>
10. How drones are transforming agriculture. (2016). *Independent publication RUSBASE*. Retrieved January 28, 2025, from <http://rb.ru/list/agriculture-drones>
11. The future of animal husbandry lies in unmanned aerial vehicles. (2016). *Information agency Milknews.ru*. Retrieved January 28, 2025, from http://milknews.ru/index/Technology/Technology_952.html
12. What hinders the development of unmanned aerial vehicles? (2015). *Independent publication RUSBASE*. Retrieved January 28, 2025, from <https://rb.ru/opinion/drones-challenge>
13. *The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States*. (2013). Retrieved January 28, 2025, from https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic Report 2013 Full.pdf

14. *Federal Law No. 291-FZ of July 3, 2016 "On Amendments to the Air Code of the Russian Federation"*. (2016). Retrieved January 28, 2025, from <http://www.garant.ru/hotlaw/federal/775843/#ixzz5dtiboWRA>
15. Law on quadcopters in the Russian Federation 2022. Is it necessary to register a quadcopter? 150 instead of 250 grams. (2022). *ProfPV.ru*. Retrieved May 25, 2025, from <https://profpv.ru/zakon-o-bespiotnikah-v-rf-nuzhno-li-reg>
16. Drone and quadcopter - what's the difference? *SlySky.ru website*. Retrieved May 25, 2025, from <https://slysky.ru/blog/between-dron-and-quadrocopter.html>
17. Agricultural drone DJI Agras T30. *ParaGraph.ru website*. Retrieved May 25, 2025, from <https://www.paragraf.ru/product-page/агродрон-dji-agras-t30>
18. Karaev, V. V., & Nartikoeva, L. G. (2018). Unmanned aerial vehicles in agriculture. Retrieved May 25, 2025, from https://russiadrone.ru/publications/bespiotniki-v-selskom-khozyaystve_
19. Sergeev, K. (2023). Unmanned aerial vehicles in agriculture. *Resource-saving agriculture*, (2).
20. Unmanned aerial vehicles as the basis of agriculture of the near future. (2017). *IoT.ru online publication*. Retrieved May 25, 2025, from <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/bpla-kak-osnova-zemledeliya-blizhayshego-budushchego>
21. Drones in agriculture. (2024). *Tadviser.ru*. Retrieved May 25, 2025, from https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Дроны_в_сельском_хозяйстве
22. Drones are used in the fields of Samara region to combat weeds. (2020). *Agrarii.com*. Retrieved May 25, 2025, from <https://agrarii.com/na-poljah-samarskoj-oblasti-ispolzujut-drony-dlja-borby-s-sornjakami>
23. Agricultural quadcopters. *Rusgeocom.ru*. Retrieved May 25, 2025, from <https://www.rusgeocom.ru/catalog/bespiotniki-dlya-selskogo-khoziajstva>
24. Unmanned aerial vehicles in agriculture. (2019). *Geomir.ru*. Retrieved May 25, 2025, from <https://www.geomir.ru/publikatsii/bespiotniki-v-selskom-khozyaystve>

25. Rodionov, I. A., Koshkarov, R. V., & Nikolaeva, M. N. (2024). Fire hazard caused by unmanned aerial vehicles failure. In *Fire and Emergency Safety: Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference dedicated to the 375th anniversary of the Russian Fire Service* (Ivanovo, November 21, 2024) (pp. 555–558). Ivanovo: Ivanovo State Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia. EDN: <https://elibrary.ru/DTTXPK>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Крухмалев Александр Владимирович, магистр, преподаватель кафедры специальной подготовки факультета дополнительного профессионального образования
Дальневосточная пожарно-спасательная академия — филиал Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России
поселок Аякс, 27, о. Русский Остров, г. Владивосток, 690922, Российская Федерация
boysplus90@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Aleksandr V. Krukhmalev, Master, Lecturer, Department of Specialized Training, Faculty of Continuing Professional Education
Far Eastern Fire and Rescue Academy – Branch of St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia
27, Ayaks settlement, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation
boysplus90@mail.ru
SPIN-code: 3419-4045
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7191-3946>

Поступила 15.05.2025

После рецензирования 10.06.2025

Принята 20.06.2025

Received 15.05.2025

Revised 10.06.2025

Accepted 20.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-367

EDN: KZWCR



УДК 656.022

Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Д.В. Кузьмин

Аннотация

Обоснование. В статье рассматривается вопрос оценки морфометрических свойств полигона с целью формирования матрицы рейтингов необходимой для решения задачи поиска пути в дискретном пространстве. Такой подход к решению задачи пространственного развития линейных объектов наземного транспорта будет полезен при решении практических задач камерального трассирования.

Материалы и методы. Рассматриваемый полигон сепарируется на отдельные территориальные единицы, каждая из которых имеет собственный рейтинг по совокупности различных критериев (антропогенная нагрузка, морфометрия и т.д.). Рейтинг отдельной территориальной единицы определяет перспективность ее рассмотрения при решении задачи трассирования. Такая дискретная модель полигона фактически является взвешенным графом, поиск пути в котором осуществляется различными алгоритмами поиска: A^* , Дейкстры, Поиска в ширину (BFS). Так как оценка отдельной территориальной единицы по морфометрическим свойствам местности зависит от ее размеров, предлагается оценивать полигон в два этапа с различным разрешением дискретного пространства, т.е. укрупняя отдельные территориальные единицы в блоки. В качестве примера, в работе, программно была сформирована исходная матрица высот с высоким разрешением,

которая в последствии была объединена в блоки. В отношении матрицы сформированных блоков выполнен анализ чувствительности по 4 критерия: средний уклон по блоку, стандартное отклонение высот, диапазон высот и индекс шероховатости.

Результаты. Из результатов эксперимента следует вывод, что наибольшую среднюю чувствительность и, как следствие, вес имеет критерий «Диапазон высот». Это означает, что именно этот критерий в большей степени влияет на формировании рейтингов блоков. При этом график изменений рейтингов по данному критерию и цветовая матрица диапазона весов, позволяют сделать вывод о том, что данный критерий наименее информативный, так как слабо различает блоки между собой.

Ключевые слова: морфометрия рельефа; поиск пути в дискретных пространствах; пространственное развитие транспортной инфраструктуры; наземный транспорт

Для цитирования. Кузьмин, Д. В. (2025). Морфометрические критерии оценки отдельных территориальных единиц при решении задачи пространственного развития линейных объектов наземной транспортной инфраструктуры. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 143–160. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-367>

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

MORPHOMETRIC CRITERIA FOR EVALUATING INDIVIDUAL TERRITORIAL UNITS IN SOLVING THE PROBLEM OF SPATIAL DEVELOPMENT OF LINEAR OBJECTS OF TERRESTRIAL TRANSPORT INFRASTRUCTURE

D.V. Kuzmin

Abstract

Background. The article discusses the issue of evaluating the morphometric properties of a polygon in order to form a rating matrix necessary

to solve the problem of finding a path in a discrete space. This approach to solving the problem of spatial development of linear objects of land transport will be useful in solving practical problems of camera tracing.

Materials and methods. The landfill in question is separated into separate territorial units, each of which has its own rating based on a set of different criteria (anthropogenic load, morphometry, etc.). The rating of a particular territorial unit determines the prospects of its consideration when solving the tracing problem. Such a discrete polygon model is actually a weighted graph, in which the search for a path is carried out by various search algorithms: A*, Dijkstra, Breadth-first search. Since the assessment of a particular territorial unit based on the morphometric properties of an area depends on its size, it is proposed to evaluate the polygon in two stages with different resolutions of discrete space, i.e. enlarging individual territorial units into blocks. As an example, in the work, the initial high-resolution height matrix was programmatically generated, which was later combined into blocks. With respect to the matrix of formed blocks, sensitivity analysis was performed according to 4 criteria: the average slope of the block, the standard deviation of heights, the height range and the roughness index.

Results. It follows from the experimental results that the “Height range” criterion has the highest average sensitivity and, as a result, weight. This means that this criterion has a greater impact on the formation of block ratings. At the same time, the graph of rating changes according to this criterion and the color matrix of the weight range allow us to conclude that this criterion is the least informative, since it weakly distinguishes the blocks from each other.

Keywords: morphometry of relief; pathfinding in discrete spaces; spatial development of transport infrastructure; ground transportation

For citation. Kuzmin, D. V. (2025). Morphometric criteria for evaluating individual territorial units in solving the problem of spatial development of linear objects of terrestrial transport infrastructure. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 143–160. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-367>

Введение

При использовании условных координатных сеток для территориальной фрагментации и локального рассмотрения, оценку отдельных полигонов целесообразно осуществлять по совокупности критериев, характеризующих пространственные (антропогеографические, топографические, геологические, гидрографические и т.д.) характеристики местности. Здесь необходимо отметить, что принципиальным фактором, определяющим как набор критериев, так и диапазоны количественных ограничений их критериальных показателей является размер ячейки условной координатной сетки. Например, такой показатель как радиус кривой пути при малом размере ячейки (до нескольких километров в диаметре) может иметь существенное значение, то при значительном размере ячейки (десятки километров), локальное изменение направления трассы (например, для обхода естественных препятствий) не играет существенной роли, следовательно, такая характеристика как радиус кривой может быть исключена из рассмотрения, в рамках такого масштаба, как погрешность.

Так как значимость и применимость различных критериев определяется в том числе масштабом ячейки сетки разделения пространства, часто для решения задачи изучения пространственных свойств используют иерархические методы разделения. Иерархические методы подразумевают разделение пространства на отдельные равные области, каждая из которых, при необходимости, может быть рекурсивно дополнительно неоднократно разделена на меньшие полигоны. То есть ячейки макроуровня, могут содержать в себе блок более мелких полигонов, которые в свою очередь также являются материнскими ячейками, для других. Такой тип иерархии называется грануляцией. Разделенное таким образом пространство может быть представлено в виде графа древовидной структуры. Степень детализации (классификация критериев между разными типоразмерами ячеек) также определяется размером ячейки (разрешением сетки).

Ключевым элементом проекта железной дороги является трасса, которая определяет ее пространственные характеристики как в плане, так и в профиле. Помимо этого, трасса определяет расположение капитальных инфраструктурных сооружений (мостов, тоннелей, станций), перемещение которых не допускается.

Комплексная характеристика трассы на локальном уровне определяется множеством документов, регламентирующих нормы и правила проектирования, строительства, содержания и эксплуатации транспортной инфраструктуры. Согласно [5, с. 119] Основные параметры проектируемой железнодорожной линии, включая выбор направления, следует устанавливать на основании технико-экономического расчета на перспективу с учетом возможности дальнейшего этапного усиления и стоимости затрат в течение всего жизненного цикла.

В настоящий момент, вопрос определения пространственных характеристик железнодорожной трассы в условиях северных регионов не имеет богатого методологического арсенала решений. Например, отсутствуют методологические подходы к определению пространственных свойств трассы в региональных условиях, характерных для большинства северных регионов: слабой заселенности, низкого производственного потенциала, рассредоточения мест добычи полезных ископаемых, локальных топографических и гидрографических характеристик местности, подверженности снегозаносимости и снегоотложениям и т.д.

Пространственные характеристики трассы зависят от множества факторов, определяющих условия эксплуатации, среди которых наиболее значимыми являются: категория железной дороги; текущий и прогнозируемый объем перевозок; пространственная характеристика существующей транспортной сети и условия примыкания проектируемой линии к ней; планируемый род тяги; антропогеографические, топографические, геологические, гидрографические и др. условия местности.

Международный и отечественный опыт эксплуатации железнодорожных линий в условиях севера показывает, что основной

спрос на транспортные услуги в северных регионах формируется преимущественно за счет разработки месторождений и определяется фактическими количественными показателями добычи и прогнозными показателями спроса на сырье. Помимо этого, для большинства северных регионов мира характерна слабая заселенность, низкая плотность населения и сильное рассредоточение поселений. Данные условия, зачастую, не позволяют качественно удовлетворить спрос в пассажирском сообщении. Следовательно, транспортное железнодорожное сообщение в первую очередь должно быть ориентировано на удовлетворение потребностей экономики в перевозках грузов.

Таблица 1.

Категорирование новых железнодорожных линий в зависимости от характера и размера перевозок (без учета скоростной и пассажирской категории)

Категория железнодорожной линии	Назначение	Признак определения категори- рованности		Максимальная ско- рость движения	
		Суммарный расчетный объ- ем перевозок грузов (нетто) на 10-й год экс- плуатации млн т	Пасса- жирское движение	пассажир- ских	Контей- нерных, рефриже- раторных / грузовых
Особогру- зонапря- женная	Железнодорожные линии для большо- го объема грузовых перевозок	Свыше 80	Не регла- ментиру- ется	140	140/90
I	Универсальные железнодорожные линии	40 – 80		160	160/90
II		20 – 40		160	140/90
III		8 – 20		140	120/80
IV		< 8		120	100/80
V	Подъездные пути организованным пассажирским движением	Не регламенти- руется		80	80/60
	Подъездные пути			–	60

Данная специфика транспортных потребностей региона позволяет определить требования к инфраструктурным характеристикам трассы, подвижного состава, а также технологическим и

эксплуатационным особенностям транспортной инфраструктуры. Согласно п. 4.2 [5] новые железнодорожные линии и подъездные пути, дополнительные главные пути и реконструируемые существующие линии, предназначенные для совместного движения грузовых и пассажирских поездов в общей сети железных дорог, в зависимости от характера и размера перевозок подразделяются на категории, приведенные в таблице 1.

Учитывая очевидный малый объем спроса на пассажирские перевозки из рассмотрения исключены железнодорожные линии скоростной и пассажирской категорий. Определение категории проектируемой линии требует соответствия не менее чем одному из перечисленных в таблице критериев.

Материалы и методы

Топографическая характеристика местности определяет пространственные характеристики трассы железнодорожного пути, которые выражаются в крутизне уклонов, количестве и радиусе кривых. Это определяет капитальные и эксплуатационные затраты на строительство и содержание линейной инфраструктуры. Так как крутизна и длина уклонов определяют степень дополнительного сопротивления движению поезда при подъеме от их количественных характеристик зависит тип используемой тяги, количество локомотивов, максимальная масса поезда, скоростной режим и тд.

Крутизна и длина уклонов определяется разницей высот начальной и конечной точки. Руководящий уклон должен быть не более 0,002 на новых скоростных линиях, 0,009 – на особогрузонапряженных линиях, 0,012 – на линиях I категории, 0,015 – на линиях II категории, 0,02 – на линиях III категории и 0,03 – на линиях IV категории. Значение максимального уклона (включая уклон усиленной тяги) не должно превышать на скоростных и пассажирских линиях - 40‰, на особогрузонапряженных железнодорожных линиях и линиях категории I - 18‰, категории II – 20 ‰, категории III – 30 ‰, категорий IV и V – 40 ‰ [5, с. 119].

Согласно [6] местность по характеру рельефа классифицируется на горную (низкогорная, среднегорная, высокогорная), холмистую и равнинную.

Равнинная местность имеет следующую рельефную характеристику: отсутствие выраженных неровностей земной поверхности, крутизна скатов до 2° с относительными превышениями до 25 метров. Абсолютные высоты, как правило, не превышают 300 метров над уровнем моря.

Холмистая местность имеет неровности земной поверхности в виде холмов и гряд, с относительным превышением от 25 до 200 метров и крутизной скатов от 2° до 3° . Абсолютные высоты до 500 метров.

В низкогорной местности абсолютные высоты находятся в диапазоне 500 – 1000 метров, относительные превышения составляют 200-500 метров с преобладающей крутизной скатов 5° - 10° . Характеристика низкогорной местности позволяет организовать комфортное проживание, поэтому часто регионы с таким типом рельефа имеют хорошую обитаемость, большое количество поселений и транспортной инфраструктуры.

Среднегорная местность имеет абсолютные высоты над уровнем моря от 1000 до 2000 метров, относительные превышения от 500 до 1000 метров, преобладающая крутизна скатов составляет 10° - 25° . Среднегорная местность, как правило расчленена на горные массивы, гряды и цепи, гребни и вершины которых имеют сглаженную форму.

Высокогорная местность, характеризуется абсолютными высотами от 2000 метров над уровнем моря, относительными превышениями от 1000 метров и преобладающей крутизной скатов от 25° .

Определение значимости критериев оценки морфометрических свойств местности

Практическое проведение морфометрического анализа местности требует определения значимости рассматриваемых критериев.

Значимость критериев зависит от фактических морфометрических свойств местности и специфики решаемой задачи [7].

Существует множество способов определения значимости критериев при решении задач принятия решения [8]. Анализ работ [1; 9; 10] посвящённых задачам многокритериального анализа в области геоинформационной проблематики позволяет сделать вывод о том, что определение весов морфометрических критериев используемых для оценки свойств новой, слабоизученной территории, требует использования преимущественно объективных, а не экспертных методов оценки. В условиях слабой информационной базы исходных данных определение весов экспертом будет либо затруднено, либо невозможно вовсе. Помимо этого, существенно возрастает риск ошибок.

Более того, решение пространственных задач, как правило, связано с рассмотрением значительных территориальных областей, что в свою очередь сопрягается с высокой вариативностью оцениваемого пространственного свойства [11]. Например, в рамках рассматриваемого пространственного полигона могут присутствовать равнины, пересеченная и горная местность, таким образом значимость одних и тех же критериев различна даже в рамках одного рассматриваемого полигона поиска пути, что затрудняет использование субъективных методов оценки.

Исходя из этого, при проведении многокритериального анализа слабоизученной местности для определения стартовых величин значимости используемых критериев наиболее предпочтительным является анализ чувствительности. После определения стартовых значения критериальной значимости, возможно использование экспертных мнений с целью их корректировки.

Формально процесс анализа чувствительности критериев опишем следующим образом. Пусть рассматриваемый полигон поделен на M отдельных территориальных единиц, $i = 1, \dots, M$. Имеется K критериев, описывающих их морфометрические свойства, $k = 1, \dots, K$. Тогда x_{ik} – нормированное значение k -го критерия для i -й территориальной единицы, $x_{ik} \in [0, 1]$.

Веса критериев $w = (w_1, \dots, w_K)$ должны удовлетворять следующим условиям $w_k \geq 0$ и $\sum_{k=1}^K w_k = 1$.

Рейтинг отдельной территориальной единицы определяется как сумма произведений веса критерия и соответствующего нормированного критериального показателя.

$$R_i(w) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot x_{ik}$$

Для анализа чувствительности по критерию k , варьируется его вес w_k в диапазоне от 0 до 1 с шагом Δw : $w_{k^*} = w$, $w \in \{0, \Delta w, 2\Delta w, \dots, 1\}$. Значения весов оставшихся критериев определяются путем деления остатка поровну:

$$w_k = \frac{1-w}{K-1}, \quad \forall k \neq k^*$$

Для каждого значения w рассчитываются рейтинги $R_i(w)$ для всех i . Для каждой отдельной территориальной единицы фиксируются все значения рейтинга в условиях изменяемого w : $\{R_i(w(w)): w \in [0, 1]\}$.

Чувствительность отдельной территориальной единицы к критерию k^* определяется как:

$$S_i^{(k^*)} = \sigma_w(R_i(w(w)))$$

где, σ_w – стандартное отклонение по всем значениям w .

Тогда, средняя чувствительность по критерию k^* :

$$\bar{S}_{k^*} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M S_i^{(k^*)}$$

Для получения относительных весов критериев необходимо выполнить нормализацию чувствительности

$$v_{k^*} = \frac{\bar{S}_{k^*}}{\sum_{l=1}^K \bar{S}_l}$$

где, v_{k^*} – нормированный вес критерия k^* , отражающий его относительное влияние на итоговую оценку.

Таким образом, \bar{S}_{k^*} – это мера того насколько сильное изменение веса критерия k^* влияет на итоговую интегральную оценку

объектов, а v_{k^*} – относительная значимость критерия k^* в формировании итогового рейтинга.

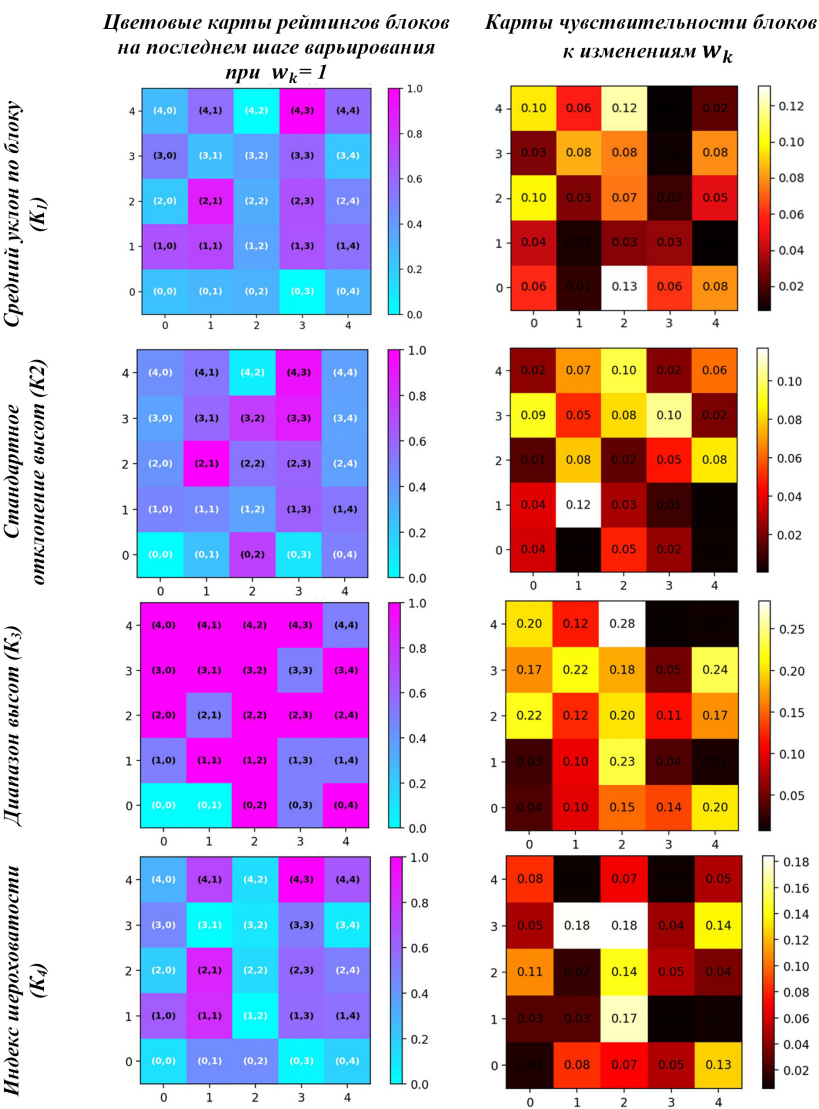


Рис. 1. Результаты эксперимента при варьировании значений

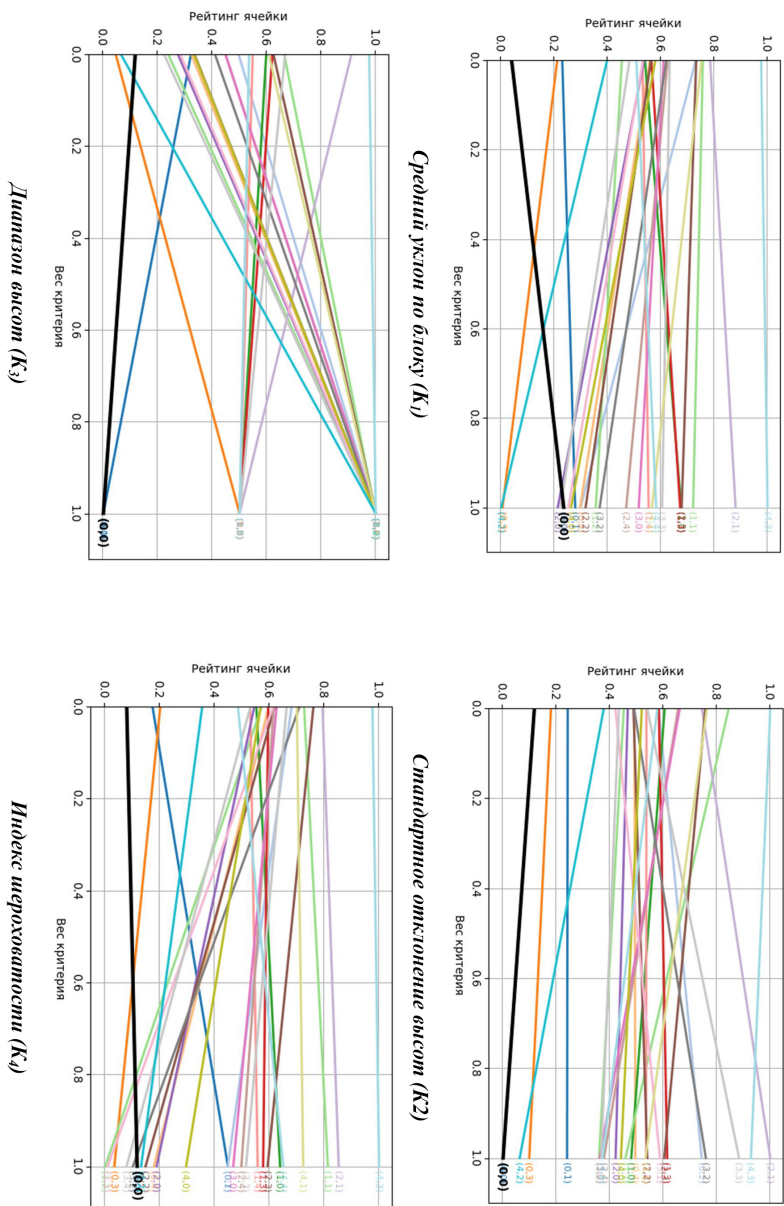


Рис. 2. Изменение рейтингов блоков при варьировании весов морфометрических критериев оценки

Цветовая матрица «д» отображает рейтинг блоков по совокупности морфометрических свойств входящих в них пикселей. Морфометрические свойства блоков определяет следующий набор критериев: средний уклон по блоку (K_1), стандартное отклонение высот (K_2), диапазон высот (K_3) и индекс шероховатости (K_4). В рамках проведенного эксперимента получена матрица, отражающая рейтинг блоков. Чем ближе интегральная оценка к нулю, тем более предпочтителен блок для трассирования. В рамках проведенного эксперимента значимость всех используемых критериев была равна, что безусловно не отражает их реальной ценности.

Для определения числовых значений критериальных весов с помощью Python – библиотек NumPy [12] и Matplotlib [13] проведем анализ чувствительности [14; 15]. Варьирование веса критерия w_k выполняется в диапазоне от 0 до 1 с шагом $\Delta w = 0,05$. Данный направленный перебор осуществляется в отношении всех четырех критериев. Остаток веса делится между оставшимися блоками поровну. Для каждого блока i вычисляется $R_i(w(w))$. Для каждого блока высчитывается чувствительность к критерию и определяется средняя чувствительность по критерию для всех блоков.

Результаты

На основе полученных, в результате проведенного эксперимента, цветовых матриц определим средние значения чувствительности и итоговую значимость морфометрических критериев оценки. Результаты расчетов представлены в таблице 2

Таблица 2.

Итоговые значения чувствительности и значимости критериев

<i>Критерий</i>	<i>Средняя чувствительность</i>	<i>Вес</i>
Средний уклон по блоку (K_1)	0,0524	0,1734
Стандартное отклонение высот (K_2)	0,0464	0,1535
Диапазон высот (K_3)	0,1336	0,4417
Индекс шероховатости (K_4)	0,07	0,2314

Из результатов эксперимента следует вывод, что наибольшую среднюю чувствительность и, как следствие, вес имеет критерий К3 (диапазон высот). Это означает, что именно этот критерий в большей степени влияет на формировании рейтингов блоков. При этом график изменений рейтингов по данному критерию (рисунок 2) и цветовая матрица диапазона весов, позволяют сделать вывод о том, что критерий К3 наименее информативный, так как слабо различает блоки между собой. На графике, при значениях w_{k3} близких к 1 рейтинги всех блоков сходятся в три точки на области графика. Также об этом свидетельствует слабое разнообразие цветов, содержащихся в цветовой матрице морфометрического анализа. Такие аномалии характерны для исходных данных, полученных случайной генерацией.

После определения стартовых значений весов, скорректируем матрицу итоговых рейтингов блоков. Сравнение результатов итоговых значений рейтингов, приведены в цветовых матрицах на рисунке 3.

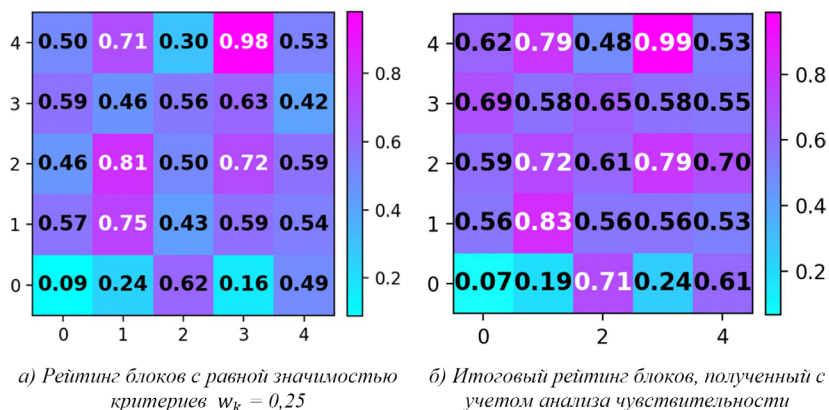


Рис. 3. Цветовые матрицы рейтингов

Данный пример оценки морфометрических свойств местности выполнен на основе значений высот отдельных территориальных единиц, полученных путем случайной генерации данных в диа-

пазоне от 100 до 170 ед. Это означает, что распределение морфометрических характеристик местности хаотично. При изменении структуры исходных данных, изменяются нормированные величины критериальных показателей, чувствительность рейтингов блоков к изменению весов критериев, и, как следствие, значимость самих критериев и интегральные рейтинги блоков.

Несмотря на абстрактность приведенного примера, его ценность заключается в апробации метода количественной оценки морфометрических свойств местности. Полученные результаты могут быть использованы на практике для получения интегральных оценок отдельных территориальных единиц при решении задач пространственного развития линейных объектов инфраструктуры наземного транспорта.

Список литературы

1. Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
2. Ahuja, R., Mehlhorn, K., Orlin, J., & Tarjan, R. (1990). Faster Algorithms for the Shortest Path Problem. *Journal of the ACM*, 37, 213–223. <https://doi.org/10.1145/77600.77615>
3. Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
4. Botea, A., Müller, M., & Schaeffer, J. (2004). Near Optimal Hierarchical Path-Finding. *Journal of Game Development*, 1(1), 1–22.
5. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95 (с изменением N 1). (2017). Получено с <https://docs.cntd.ru/document/550965737> (дата обращения: 19.07.2023).
6. Классификация местности по высоте - Геоинформационная система. Получено с <https://geo.god-tigra.ru/klassifikatsiya-mestnosti-po-vysote.php> (дата обращения: 05.06.2025).

7. Объяснительная морфометрия рельефа. *Геологический портал GeoKniga*. Получено с <https://www.geokniga.org/books/16102> (дата обращения: 06.06.2025).
8. Осинцев, Н. А. (2021). Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике. *Мир Транспорта*, 19(5), 105–114. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>
9. Uyan, M., Cay, T., Akcakaya, O., & A Spatial Decision Support System design for land reallocation: A case study in Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.010>
10. Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*, 65, 2105–2128. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0463-3>
11. Minh, N. Q., Huong, N. T. T., Khanh, P. Q., Hien, L. P., & Bui, D. T. (2024). Impacts of Resampling and Downscaling Digital Elevation Model and Its Morphometric Factors: A Comparison of Hopfield Neural Network, Bilinear, Bicubic, and Kriging Interpolations. *Remote Sensing*, 16(5), 819. <https://doi.org/10.3390/rs16050819>
12. NumPy. Получено с <https://numpy.org> (дата обращения: 02.06.2025).
13. Matplotlib - Visualization with Python. Получено с <https://matplotlib.org> (дата обращения: 02.06.2025).
14. Подиновский, В. В. (2017). Чувствительность многокритериального выбора к изменению оценок важности неоднородных критериев. *Итноу: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*, (4), 23–27.
15. Нелюбин, А. П. (2019). Разработка методов анализа многокритериальных задач с использованием информации о важности критериев. 138 с.

References

1. Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>

2. Ahuja, R., Mehlhorn, K., Orlin, J., & Tarjan, R. (1990). Faster algorithms for the shortest path problem. *Journal of the ACM*, 37, 213–223. <https://doi.org/10.1145/77600.77615>
3. Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
4. Botea, A., Müller, M., & Schaeffer, J. (2004). Near optimal hierarchical path-finding. *Journal of Game Development*, 1(1), 1–22.
5. SP 119.13330.2017 Railways of 1520 mm gauge. Updated version of SNiP 32-01-95 (with Amendment No. 1). (2017). Retrieved July 19, 2023, from <https://docs.cntd.ru/document/550965737>
6. Terrain classification by height - Geoinformation system. Retrieved June 5, 2025, from <https://geo.god-tigra.ru/klassifikatsiya-mestnosti-po-vysote.php>
7. Explanatory morphometry of relief | GeoKniga geological Portal. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.geokniga.org/books/16102>
8. Osintsev, N. A. (2021). Multicriteria decision-making methods in “green” logistics. *The World of Transport*, 19(5), 105–114. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>
9. Uyan, M., Cay, T., Akcakaya, O., & A Spatial Decision Support System design for land reallocation: A case study in Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.010>
10. Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*, 65, 2105–2128. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0463-3>
11. Minh, N. Q., Huong, N. T. T., Khanh, P. Q., Hien, L. P., & Bui, D. T. (2024). Impacts of resampling and downscaling digital elevation model and its morphometric factors: A comparison of Hopfield neural network, bilinear, bicubic, and kriging interpolations. *Remote Sensing*, 16(5), 819. <https://doi.org/10.3390/rs16050819>
12. NumPy. Retrieved June 2, 2025, from <https://numpy.org>

13. Matplotlib – Visualization with Python. Retrieved June 2, 2025, from <https://matplotlib.org>
14. Podinovskiy, V. V. (2017). Sensitivity of multicriteria selection to changes in assessments of the importance of heterogeneous criteria. *Itnou: Information Technologies in Science, Education and Management*, (4), 23–27.
15. Nelyubin, A. P. (2019). Development of methods for analyzing multi-criteria tasks using information on the importance of criteria. 138 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Кузьмин Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Логистика и управление транспортными системами
Российский университет транспорта (МИИТ)
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, Российская Федерация
kuzminmiit@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Dmitry V. Kuzmin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Logistics and Management of Transport Systems
Russian University of Transport (MIIT)
9, build. 9, Obraztsova Str., Moscow, Russian Federation
kuzminmiit@yandex.ru
SPIN-code: 1092-1985
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0585-393X>
Scopus Author ID: 57208305058

Поступила 25.05.2025

После рецензирования 02.06.2025

Принята 15.06.2025

Received 25.05.2025

Revised 02.06.2025

Accepted 15.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-341

EDN: GJGBJR

УДК 631.372



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОСИ КОЛЕСА

Ю.П. Корнюшин, М.В. Сидоров

Аннотация

Обоснование. В статье рассматривается влияние динамических свойств технологического модуля на процесс формирования вертикальных колебаний оси колеса при движении по заданной опорной поверхности. В исследовании использовались: математическая модель половины технологического модуля, модель шины. Получены амплитудно-частотные характеристики системы и спектральные плотности по вертикальному перемещению и ускорению оси колеса для четырех комплектаций при изменении параметра, характеризующего динамические свойства технологических модулей. Для анализа зависимостей использовались методы статистической динамики. При увеличении массы технологического модуля с 1429 кг до 3929 кг (для перевода трактора из тягового класса 1,4 в тяговый класс 2 и 3 соответственно), при использовании шин 15,5R38, наблюдается снижение собственной частоты технологического модуля с 24 до 14 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-3}$. При увеличении массы технологического модуля с 2343 кг до 4847 кг (для перевода трактора из тягового класса 3 в тяговый класс 4 и 5 соответственно), при использовании шин 21,3R24, наблюдается снижение собственной частоты колебаний технологического модуля с 18 до 12 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $1,5 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}$. Спектральная плотность

(характеризующая распределение энергии процесса) вертикальных колебаний опорной поверхности в диапазоне частот (0...5 рад/с.) совпадает с спектральной плотностью оси колеса технологических модулей всех комплектаций.

Цель – получение и анализ статистических характеристик, описывающих динамические свойства технологических модулей при движении по заданной опорной поверхности.

Метод и методология проведения работы. В статье использовались методы математического моделирования и статистической динамики.

Результаты. Получены статистические характеристики, описывающие динамические свойства технологических модулей при движении по заданной опорной поверхности.

Область применения результатов. Полученные результаты целесообразно применять организациям и учреждениям, занимающимся разработкой методов и средств изучения динамики тракторов и автомобилей.

Ключевые слова: технологический модуль; шина; опорная поверхность, математическая модель, методы статистической динамики

Для цитирования. Корнюшин, Ю. П., & Сидоров, М. В. (2025). Влияние динамических свойств технологического модуля на вертикальные колебания оси колеса. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 161–176. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-341>

Original article | Operation of Road Transport

INFLUENCE OF DYNAMIC PROPERTIES OF THE PROCESS MODULE ON VERTICAL VIBRATIONS OF THE WHEEL AXIS

Yu.P. Korniyushin, M.V. Sidorov

Abstract

Background. The article examines the influence of the dynamic properties of the technological module on the process of forming vertical vi-

brations of the wheel axis when moving along a given bearing surface. The following methods were used in the study: a mathematical model of half of the technological module, a bus model. The amplitude-frequency characteristics of the system and spectral densities for vertical displacement and acceleration of the wheel axis for four configurations are obtained when changing the parameter characterizing the dynamic properties of technological modules. Statistical dynamics methods were used to analyze the dependencies. With an increase in the mass of the technological module from 1429 kg to 3929 kg (to transfer the tractor from traction class 1.4 to traction class 2 and 3, respectively), when using 15.5R38 tires, there is a decrease in the natural frequency of the technological module from 24 to 14 rad/s and an increase in the maximum spectral density from $0.5 \cdot 10^{-3}$ to $4 \cdot 10^{-3}$. With an increase in the mass of the technological module from 2343 kg to 4847 kg (to transfer the tractor from traction class 3 to traction class 4 and 5, respectively), when using tires 21.3R24, there is a decrease in the natural oscillation frequency of the technological module from 18 to 12 rad/s and an increase in the maximum spectral density from $1.5 \cdot 10^{-3}$ to $6 \cdot 10^{-3}$. The spectral density (characterizing the distribution of process energy) of vertical vibrations of the support surface in the frequency range (0...5 rad/s) coincides with the spectral density of the wheel axis of technological modules of all configurations.

Purpose. Obtaining and analyzing statistical characteristics describing the dynamic properties of technological modules when moving along a given support surface.

Methodology. In the article were used the methods of mathematical modeling and also statistical methods of the analysis.

Results. Statistical characteristics describing the dynamic properties of technological modules when moving along a given support surface are obtained.

Practical implications. It is advisable to apply the results obtained to organizations and institutions involved in the development of methods and tools for studying the dynamics of tractors and automobiles.

Keywords: technological module; tire; support surface; mathematical model; methods of statistical dynamics

For citation. Korniyushin, Yu. P., & Sidorov, M. V. (2025). Influence of dynamic properties of the process module on vertical vibrations of the wheel axis. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 161–176. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-341>

Введение

В последнее время в мировом тракторостроении наметился рост энергонасыщенности тракторов и для реализации их «избыточной» мощности многие зарубежные и отечественные производители применяют балластирование. Отрицательным эффектом балластирования является повышение энергозатрат на самопередвижение трактора и рост удельных энергозатрат.

Одним из путей снижения удельных энергозатрат является использование энергонасыщенных тракторов по модульному принципу, сформированного путем применения на двухосных тракторах дополнительного ведущего моста (технологического модуля) [1]. Технологический модуль представляет собой одноосную приводную тележку-цепку, выполненную на основе шарнирно-сочлененной несущей рамы, оборудованной ведущими колесами и гидронавесным механизмом. Использование энергонасыщенных тракторов по модульному принципу, позволяет менять тяговый класс трактора с номинального до следующего тягового класса, или на два.

Методы и материалы

Обоснование параметров технологического модуля с учетом колебаний опорной поверхности при выполнении трактором технологических операций имеет определенный научный и практический интерес. Для исследования вертикальных колебаний остова технологического модуля воспользуемся одномассовой системой [2-3], представленной на рис. 1.

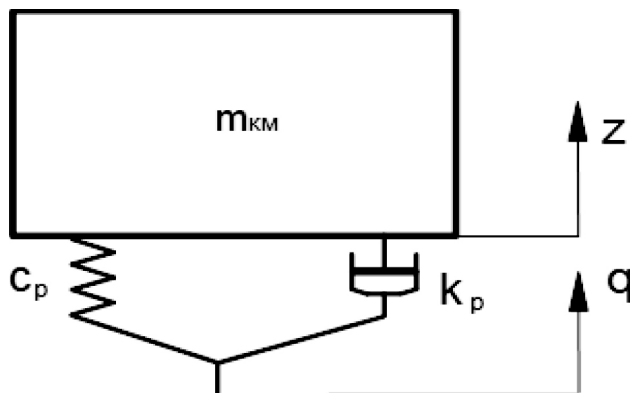


Рис. 1. Расчетная схема вертикальных колебаний технологического модуля как одномассовой системы

Уравнение движения рассматриваемой системы имеет вид [4]:

$$m_{к.м} \ddot{z} + k_p \dot{z} + c_p z = k_p \dot{q} + c_p q,$$

где $m_{к.м}$ – масса, приходящаяся на ось колеса, кг; z – вертикальное перемещение оси колеса; q – вертикальное перемещение по опорной поверхности; c_p – коэффициент радиальной жесткости шины, Н/м; k_p – коэффициент радиального демпфирования, Н*с/м.

С учетом преобразования Лапласа передаточная функция такой системы по вертикальному перемещению оси колеса относительно возмущения со стороны опорной поверхности описывается соотношением [5, 6]:

$$W_{zq}(s) = \frac{k_p s + c_p}{m_{к.м} s^2 + k_p s + c_p},$$

s – аргумент функции изображения оригинала.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы по вертикальному перемещению оси колеса описывается соотношением:

$$H_{zq}(\omega) = |W_{zq}(j\omega)| = \frac{\sqrt{c_p^2 + (k_p \omega)^2}}{\sqrt{(c_p - m_{к.м} \omega^2)^2 + (k_p \omega)^2}},$$

где $j = \sqrt{-1}$;

ω – циклическая частота колебаний, рад/с

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы по вертикальным виброускорениям оси колеса описывается соотношением:

$$H_{zq}(\omega) = \omega^2 H_{zq}(\omega) = \omega^2 \frac{\sqrt{c_p^2 + (k_p \omega)^2}}{\sqrt{(c_p - m_{к.м} \omega^2)^2 + (k_p \omega)^2}}$$

Для получения рационального значения параметров шин технологического модуля для выбранного режима работы за показатель эффективности демпфирования выбираем величину среднеквадратического отклонения ускорения оси колеса [7]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\infty |H_{zq}(\omega)|^2 S_q(\omega) d\omega},$$

где $S_q(\omega)$ – спектральная плотность возмущения.

Изменение высоты q профиля опорной поверхности вдоль движения трактора по пути L в работах [8, 9] предложено рассматривать как стационарный случайный процесс с общим аппроксимирующим выражением корреляционной функции вида [10-11]:

$$R_z = \sigma_z^2 (A_1 e^{-a_1(l)} + A_2 e^{-a_2(l)} \cos(bl)).$$

где σ_z – среднеквадратическое отклонение, см; a_1 , a_2 и b – коэффициенты, характеризующие затухание и периодичность функции; A_1 и A_2 – коэффициенты, характеризующие доли экспоненциальной и периодической составляющих.

Параметры, входящие в выражение корреляционной функции для стерни колосовых культур взяты из литературного источника [8] и приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Численные значения коэффициентов аппроксимации корреляционной функции высот профиля опорной поверхности при скорости транспортно-технологического средства $V = 1$ м/с

Вид опорной поверхности	σ_z , см	A_1	A_2	a_1 , 1/м	a_2 , 1/м	b , 1/м
Стерня колосовых культур	3,26	0,9	0,1	0,7	0,2	1,57

Результаты

Спектральная плотность опорной поверхности представлена на рис. 2. Основной спектр часто находится в диапазоне от нуля до 7 рад/с и с характерным всплеском при частоте около 3 рад/с.

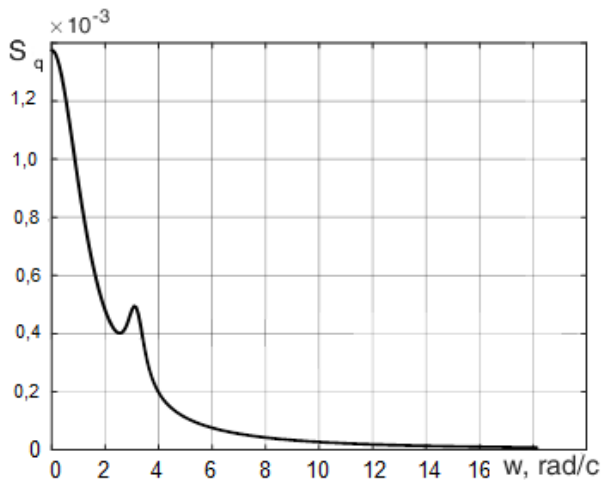


Рис. 2. Спектральная плотность вертикальных перемещений опорной поверхности стерня колосовых культур

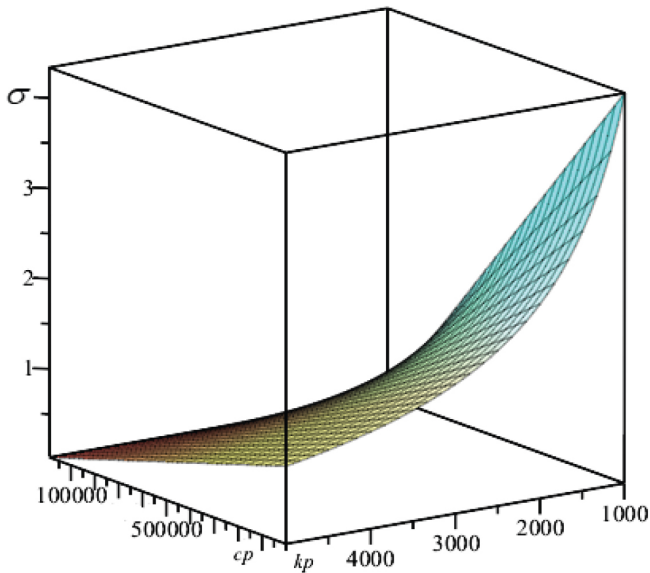


Рис. 3. Поверхность целевой функции среднеквадратического отклонения ускорения оси ведущего колеса технологического модуля при изменении радиальной жесткости и демпфирования шины

Поверхности целевых функций среднеквадратического отклонения ускорения и вертикальной координаты оси ведущего колеса технологического модуля при изменении радиальной жесткости и демпфирования шины приведены на рис. 3 и 4.

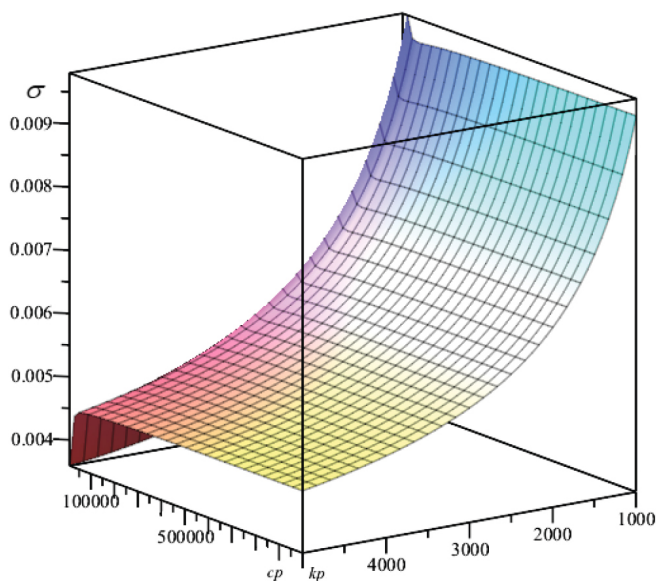


Рис. 4. Поверхность целевой функции среднеквадратического отклонения вертикальной координаты оси ведущего колеса технологического модуля при изменении радиальной жесткости и демпфирования шины

Анализируя полученные целевые функции среднеквадратических отклонений ускорения и вертикальной координаты оси ведущего колеса технологического модуля при изменении радиальной жесткости от нуля до 1000000 Н/м и демпфирования от 1000 до 5000 Н*с/м его шины, можно сделать вывод, что минимальные значения среднеквадратических отклонений ускорений и вертикальной координаты оси ведущего колеса соответствуют минимальным значениям радиальной жесткости и максимальным значениям коэффициента демпфирования шины. Однако известно, что применение слишком мягких шин и введение в конструкцию

большого показателя демпфирования ухудшают показатели плавности хода [7].

Проведем оценку вертикальных колебаний оси колеса технологического модуля для конкретной его комплектации в зависимости от тягового класса трактора и его перехода в другой тяговый класс. Характеристики технологических модулей приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Характеристика технологических модулей

Тяговый класс	Масса $m_{к.м}$, кг	Марка шины	Радиальная жесткость c_p , кН/м	Источник
1.4 - 2	1429	15,5R38	400	[12]
1.4 - 3	3929	15,5R38	400	[12]
3 - 4	2347	21,3R24	352	[12]
3 - 5	4847	21,3R24	352	[12]

Результаты моделирования движения технологического модуля со скоростью 2 м/с по опорной поверхности стерня колосовых культур, приведены на рис. 6 - 9. Амплитудно-частотная характеристика по вертикальному перемещению оси колеса технологического модуля массой 1429 кг имеет частоту равную 24 рад/с и максимальное значение равное 11,5 (Рис. 5). При данной частоте на спектральной плотности вертикальных перемещений оси колеса наблюдается всплеск, соответствующий собственной частоте технологического модуля 24 рад/с (Рис. 6). При этом сглаживание частоты вертикальных колебаний опорной поверхности не наблюдается. При увеличении массы технологического модуля до 3929 кг (для перевода трактора из тягового класса 1,4 в тяговый класс 3), при использовании тех же шин, наблюдается снижение собственной частоты технологического модуля с 24 до 14 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-3}$ (Рис. 6).

Амплитудно-частотная характеристика по вертикальному перемещению оси колеса технологического модуля массой 2347 кг для трактора тягового класса 3, позволяющего перевести его в тяговый класс 4, имеет резонансную частоту равную 18 рад/с и максималь-

ное значение равное 12,5 (Рис.5). В результате при резонансной частоте наблюдается увеличение спектральной плотности вертикальных перемещений оси колеса относительно спектральной плотности вертикальных колебаний опорной поверхности (Рис. 6).

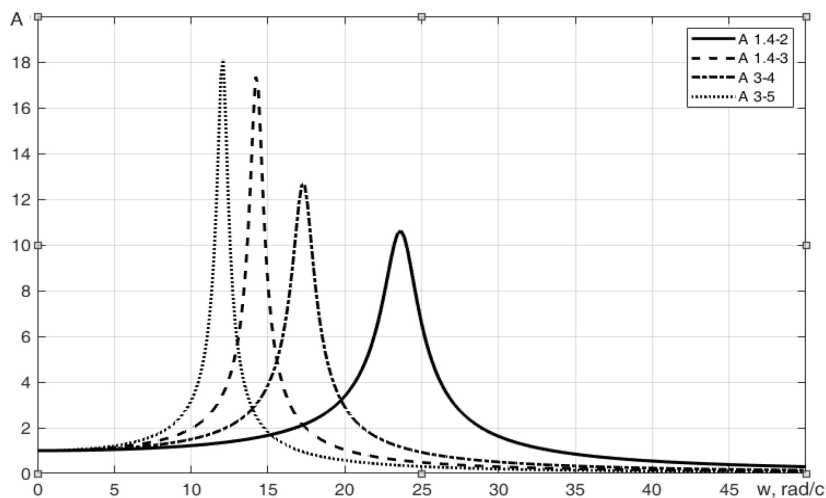


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика по вертикальному перемещению оси колеса

При увеличении массы технологического модуля до 4847 кг (для перевода трактора из тягового класса 3 в тяговый класс 5) наблюдается снижение собственной частоты колебаний технологического модуля с 18 до 12 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $1,5 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}$ (Рис. 5). Анализируя спектральные плотности вертикальных перемещений (Рис. 6), можно отметить, что спектральная плотность (характеризующая распределение энергии процесса) вертикальных колебаний опорной поверхности в диапазоне частот (0...5 рад/с.) совпадает со спектральной плотностью оси колеса технологических модулей всех комплектаций. Это говорит об отсутствии сглаживания технологическим модулем колебаний опорной поверхности. При чем максимальные значения спектральных плотностей соб-

ственных частот лежат в области более высоких частот (от 12 до 24 рад/с.) в отдельных случаях превышает значение спектральной плотности вертикальных колебаний опорной поверхности до 4 раз.

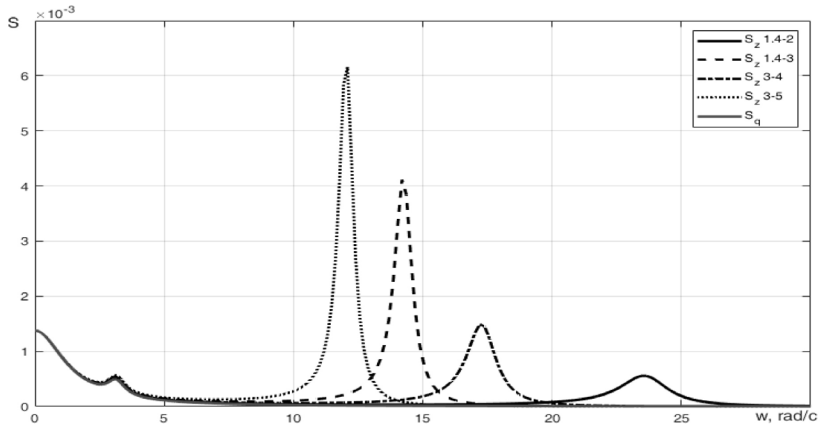


Рис. 6. Спектральная плотность вертикальных перемещений

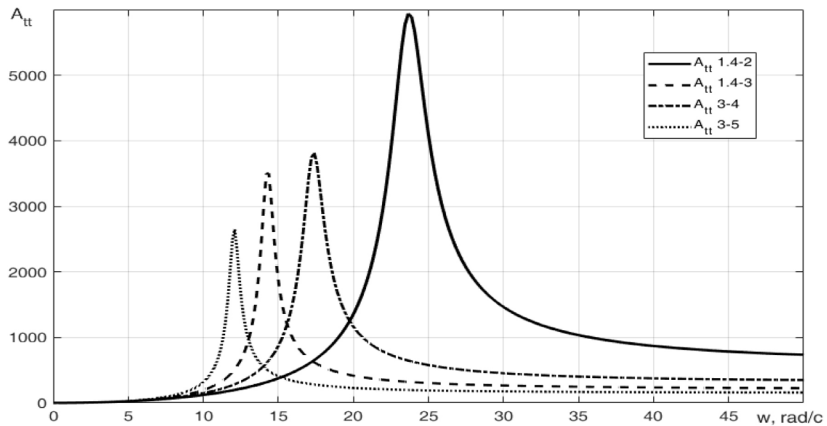


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика по вертикальному ускорению оси колеса

Амплитудно-частотная характеристика по вертикальному ускорению оси колеса технологического модуля имеет частоты, совпадающие с частотами вертикальных перемещений оси колес (Рис. 7 и 8).

Основная частота вертикальных ускорений оси колеса технологического модуля имеют такие же частоты, при этом отсутствуют частоты опорной поверхности (Рис. 8).

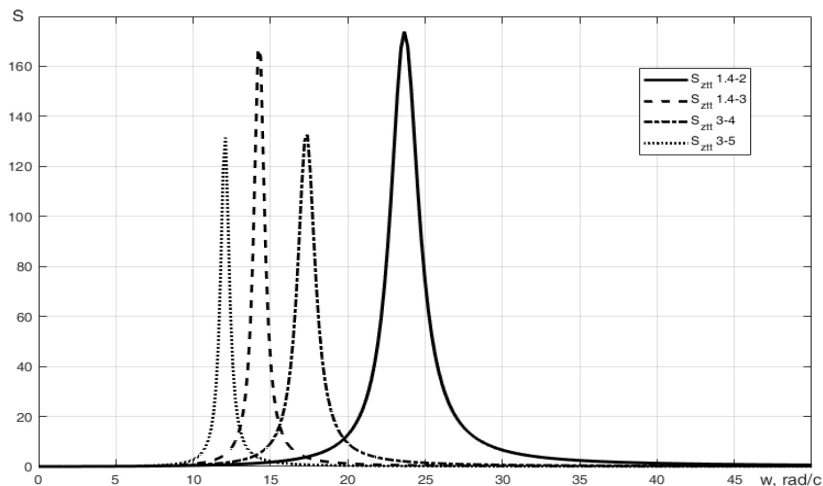


Рис. 8. Спектральная плотность вертикальных ускорений оси колеса

Выводы

1. Минимальные значения среднеквадратических отклонений ускорений и вертикальной координаты оси ведущего колеса технологического модуля соответствуют минимальным значениям радиальной жесткости и максимальным значениям коэффициента демпфирования шины колеса.

2. При увеличении массы технологического модуля с 1429 кг до 3929 кг (для перевода трактора из тягового класса 1,4 в тяговый класс 2 и 3 соответственно), при использовании шин 15,5R38, наблюдается снижение собственной частоты технологического модуля с 24 до 14 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-3}$.

3. При увеличении массы технологического модуля с 2343 кг до 4847 кг (для перевода трактора из тягового класса 3 в тяговый класс 4 и 5 соответственно), при использовании шин 21,3R24, на-

блюдается снижение собственной частоты колебаний технологического модуля с 18 до 12 рад/с и увеличение максимального значения спектральной плотности с $1,5 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}$.

4. Спектральная плотность (характеризующая распределение энергии процесса) вертикальных колебаний опорной поверхности в диапазоне частот (0...5 рад/с.) совпадает с спектральной плотностью оси колеса технологических модулей всех комплектаций. Что говорит об отсутствии сглаживания технологическим модулем вертикальных колебаний опорной поверхности.

Список литературы

1. Лавров, А. В., Сидоров, М. В., & Воронин, В. А. (2021). Технологический модуль для крестьянских фермерских хозяйств. *Сельский механизатор*, (3), 5. EDN: <https://elibrary.ru/WKMHWK>
2. Скрынников, А. В., Шихин, А. В., Попов, А. А., & Сидоров, В. Н. (2022). Моделирование взаимодействия шины колеса с опорным основанием опорно-ходового модуля. *Инженерный вестник Дона*, (6). Получено с ivdon.ru/ru/magazine/archive/nbu2022/7695 EDN: <https://elibrary.ru/RIGKUW>
3. Певзнер, Я. М., Гридасов, Г. Г., & Конев, А. Д., & др. (1979). *Колебания автомобиля. Испытания и исследования*. Москва: Машиностроение. 208 с.
4. Хачатуров, А. А., Афанасьев, В. Л., & Васильев, В. С., & др. (1976). *Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель*. Москва: Машиностроение. 535 с.
5. Сидорова, А. В., Степин, П. И., & Сидоров, В. Н. (2020). Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink. *Инженерный вестник Дона*, (4). Получено с ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395 EDN: <https://elibrary.ru/VVKADR>
6. Сидоров, М. В., Судейко, О. В., & Сидоров, В. Н. (2021). Имитационное моделирование вибронагруженности пассажирских мест автобуса для внутрихозяйственных перевозок сельскохозяйственного назначения.

- зяйственных предприятий. *АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал*, (2). Получено с http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_216.pdf EDN: <https://elibrary.ru/NIUORD>
7. Котиев, Г. О., & Сарач, Е. Б. (2010). *Комплексное подрессоривание высокоподвижных двухзвенных гусеничных машин*. Москва. 184 с. EDN: <https://elibrary.ru/ZCLELL>
 8. Лурье, А. Б. (1981). *Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов*. Москва. 382 с.
 9. Попов, В. Б. (2005). Математическое моделирование мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого*, (3), 13–18. EDN: <https://elibrary.ru/PYVSMT>
 10. Проектирование полноприводных колесных машин. (2008). Москва. Книга 1. 496 с.
 11. Жилейкин, М. М., Котиев, Г. О., & Сарач, Е. Б. (2018). *Математические модели систем транспортных средств: методические указания*. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана. Получено с <https://e.lanbook.com/book/103321>
 12. Бойков, В. П., & Белковский, В. Н. (1988). *Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин*. Москва: Агропромиздат. 240 с.

References

1. Lavrov, A. V., Sidorov, M. V., & Voronin, V. A. (2021). Technological module for peasant farms. *Sel'skij Mekhanizator*, (3), 5. EDN: <https://elibrary.ru/WKMHWK>
2. Skrynnikov, A. V., Shikhin, A. V., Popov, A. A., & Sidorov, V. N. (2022). Wheel-Tire Interaction Modeling with Support Base of Mobile Module. *Don Engineering Bulletin*, (6). Retrieved from ivdon.ru/magazine/archive/n6y2022/7695 EDN: <https://elibrary.ru/RIGKUW>
3. Pevzner, Ya. M., Gridasov, G. G., & Konev, A. D., et al. (1979). *Car Oscillations. Testing and Research*. Moscow: Mashinostroenie. 208 p.
4. Khachaturov, A. A., Afanasiev, V. L., & Vasilev, V. S., et al. (1976). *Dynamic Behavior of Driver-Vehicle-Wheel-Road System*. Moscow: Mashinostroenie. 535 p.

5. Sidorova, A. V., Stepin, P. I., & Sidorov, V. N. (2020). Simulation of Mass Center Oscillation of Wheeled Machine Using Simulink Software. *Don Engineering Bulletin*, (4). Retrieved from ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395 EDN: <https://elibrary.ru/VVKADR>
6. Sidorov, M. V., Sudeyko, O. V., & Sidorov, V. N. (2021). Simulation of vibration loading of passenger seats in buses used for intra-farm transportation of agricultural enterprises. *AgroEcoInfo: Electronic Scientific and Industrial Journal*, (2). Retrieved from http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_216.pdf EDN: <https://elibrary.ru/NIUORD>
7. Kotiev, G. O., & Sarach, E. B. (2010). *Complex Suspension System for Highly Mobile Two-Section Tracked Vehicles*. Moscow. 184 pp. EDN: <https://elibrary.ru/ZCLELL>
8. Lur'e, A. B. (1981). *Statistical Dynamics of Agricultural Units*. Moscow. 382 p.
9. Popov, V. B. (2005). Mathematical modeling of mobile agricultural equipment in transport crossing mode. *Bulletin of Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi*, (3), 13–18. EDN: <https://elibrary.ru/PYVSMT>
10. Projecting all-wheel drive wheel machines. (2008). Moscow. Book 1. 496 p.
11. Zhileykin, M. M., Kotiev, G. O., & Sarach, E. B. (2018). *Mathematical Models of Transport Systems: Guidelines*. Moscow: BMSTU. Retrieved from <https://e.lanbook.com/book/103321>
12. Boykov, V. P., & Belkovskii, V. N. (1988). *Tires for tractors and agricultural machinery*. Moscow: Agropromizdat. 240 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Корнюшин Юрий Петрович, профессор кафедры «Системы автоматического управления», доктор технических наук
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал
ул. Баженова, 2, г. Калуга, 248000, Российская Федерация
theroland@yandex.ru

Сидоров Максим Владимирович, доцент кафедры «Колесные машины и прикладная механика», кандидат технических наук

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал

*ул. Баженова, 2, г. Калуга, 248000, Российская Федерация
sidorov-kaluga@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuri P. Korniyushin, Professor of the Department “Automatic Control Systems”, Doctor of Technical Sciences

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch
2, Bazhenova Str., Kaluga, 248000, Russian Federation
theroland@yandex.ru*

SPIN-code: 4391-3096

Maksim V. Sidorov, Associate Professor of the Department “Wheeled vehicles and Applied Mechanics”, Candidate of Technical Sciences

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch
2, Bazhenova Str., Kaluga, 248000, Russian Federation
sidorov-kaluga@yandex.ru*

SPIN-code: 6131-3669

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6686-2282>

Scopus Author ID: 57211752346

Поступила 19.05.2025

После рецензирования 12.06.2025

Принята 20.06.2025

Received 19.05.2025

Revised 12.06.2025

Accepted 20.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-366

EDN: ROXGOS

УДК 656.1



Научная статья | Управление процессами перевозок

АВТОМОБИЛИЗАЦИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ РОССИИ

Ю.А. Колебер, Е.О. Чебакова

Аннотация

Состояние вопроса. В настоящее время в крупных городах России получили большое распространение вопросы автомобилизации. Это связано с ее стремительным развитием и существенным влиянием на функционирование городских транспортных систем. Процесс автомобилизации является одним из факторов, определяющих развитие городского пассажирского транспорта общего пользования, состояние экологии и экономики города. Однако бурный процесс развития автомобилизации порождает ряд проблем городской среды, которые напрямую влияют на снижение качества жизни населения и привлекательность города. В результате представляется актуальным исследование, посвященное развитию автомобилизации в городах России.

Цель – определить степень влияния автомобилизации на развитие городов России и исследовать опыт развития механизмов по ее регулированию.

Метод и методология проведения работы. В исследовании используется метод анализа, метод систематизации данных.

Результаты. Рассмотрена специфика и дано авторское определение понятия «автомобилизация». Подробно исследованы и описаны предпосылки, этапы, положительные и отрицательные стороны, определяющие факторы, а также современное состояние развития автомобилизации в России. Исследован опыт развития механизмов, необходимых для сдерживания процесса автомобилизации в целях

безопасности, сохранения здоровья и социального благополучия населения, снижения нагрузки на улично-дорожную сеть и уменьшения вредного воздействия транспорта на окружающую среду.

Область применения результатов. Полученные результаты могут быть использованы учеными, а также специалистами в области транспорта для формирования управленческих решений в процессе функционирования городских пассажирских перевозок.

Выводы. Автомобилизация является одним из факторов, определяющих функционирование современного города. Однако неконтролируемый процесс развития автомобилизации негативно сказывается на состоянии городской среды. Органам местного самоуправления важно выбирать рычаги по регулированию автомобилизации в зависимости от специфики города.

Ключевые слова: автомобилизация; легковой автомобиль; город; факторы; развитие

Для цитирования. Колебер, Ю. А., & Чебакова, Е. О. (2025). Автомобилизация и ее влияние на развитие городов России. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 177–201. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-366>

Original article | Transportation Process Management

MOTORIZATION AND ITS IMPACT ON THE DEVELOPMENT OF RUSSIAN CITIES

Yu.A. Koleber, E.O. Chebakova

Abstract

Background. Currently, issues of motorization have become widespread in large cities of Russia. This is due to its rapid development and significant impact on the functioning of urban transport systems. The process of motorization is one of the factors determining the development of urban public passenger transport, the state of the environment and the economy of the

city. However, the rapid development of motorization generates a number of problems of the urban environment, which directly affect the decline in the quality of life of the population and the attractiveness of the city. As a result, a study on the development of motorization in Russian cities seems relevant.

The aim is to determine the degree of influence of motorization on the development of Russian cities and to explore the experience of developing mechanisms for its regulation.

Methodology. The study uses the method of analysis, the method of systematization of data.

Results. The specifics are considered and the author's definition of the concept of "motorization" is given. The prerequisites, stages, positive and negative sides, determining factors, as well as the current state of development of motorization in Russia are studied and described in detail. The article examines the experience of developing mechanisms necessary to curb the process of motorization in order to ensure safety, preserve the health and social well-being of the population, reduce the burden on the road network and reduce the harmful effects of transport on the environment.

The scope of application of the results obtained. The results obtained can be used by scientists, as well as experts in the field of transport, to form management decisions in the process of urban passenger transportation.

Conclusions. Motorization is one of the factors determining the functioning of a modern city. However, the uncontrolled process of motorization has a negative impact on the urban environment. It is important for local governments to choose levers to regulate motorization, depending on the specifics of the city.

Keywords: motorization; passenger car; city; factors; development

For citation. Koleber, Yu. A., & Chebakova, E. O. (2025). Motorization and its impact on the development of Russian cities. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 177–201. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-366>

Введение

На сегодняшний день большую актуальность получают вопросы, касающиеся автомобилизации и её влияния на развитие круп-

ных и крупнейших городов. Процесс автомобилизации, начавшийся еще в XIX веке в результате появления первых двигателей внутреннего сгорания, получил в дальнейшем свое стремительное развитие. С одной стороны, он являлся показателем улучшения благосостояния граждан, повышения комфортности передвижений по городу, развития экономики, с другой стороны - спровоцировал ряд существенных проблем в развитии городов.

В данном исследовании рассмотрены и обобщены сущность и определяющие факторы автомобилизации, этапы ее развития в России, положительное и отрицательное влияние на развитие городов, а также меры по контролю развития рассматриваемого процесса.

Материалы и методы

Сущность автомобилизации. Автомобилизация относится к косвенным характеристикам оценки автомобильного рынка и определяет социально-экономическое развитие города и страны в целом. Автомобилизация определяется как оснащенность населения автомобилями [6, с. 378], или процесс насыщения населения легковыми автомобилями [10, с. 17]. Стоит отметить, что в данном исследовании для изучения такого явления, как автомобилизация, выбрано понятие «легковой автомобиль». Согласно Приложению № 1 «ТР ТС 018/2011. Технического регламента Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств» легковые автомобили – это «транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения» [17]. Данный выбор обоснован тем, что увеличение количества легковых автомобилей в собственности граждан явилось основным рычагом бурного развития автомобилизации.

Согласно [3; 6, с. 378; 10, с. 17; 11, с. 67], уровень автомобилизации (моторизации) i -го города (региона, страны) (A_i , автомобилей/1000 жителей) рассчитывается по формуле (1):

$$A_i = \frac{P_i}{N_i} \cdot 1000, \quad (1)$$

где P_i – размер парка легковых автомобилей в i -ом городе (регионе, стране), автомобилей;

N_i – численность населения в i -ом городе (регионе, стране), человек.

В исследовании сформировано авторское определение процесса автомобилизации. Автомобилизация – это степень обеспечения населения города (региона, страны) легковыми автомобилями, обусловленная рядом причин, факторов, взаимосвязей и оказывающая социально-экономическое воздействие на развитие города (региона, страны).

История развития автомобилизации. Первый автомобиль появился в 1769 году и был паровым, затем в 1828 году был создан электромобиль, а уже позднее в 1886 году К. Бенц создал первый трехколесный автомобиль BenzMotorwagen с двигателем внутреннего сгорания [5, с. 12]. Примерно в это же время в России конструктор дирижабля Костович О.С. построил легкий бензиновый двигатель [7, с. 86]. К концу XIX века доля автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в структуре автомобилей с разными энергоносителями составляла всего 22 % [12, с. 142]. Однако в дальнейшем следующие предпосылки определили бурный рост количества автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и их массовое распространение с постепенным вытеснением паровых и электрических автомобилей:

1. Развитие дорожной инфраструктуры. Бензиновые автомобили оказались способными обеспечивать наиболее дальние поездки.
2. Развитие нефтедобывающей отрасли. Это способствовало снижению ограничений для использования бензина в качестве основного топлива.
3. Появление электрического стартера и глушителя в составе автомобиля, которые обеспечили простоту и комфортность его эксплуатации [12, с. 142].

4. Победы в автогонках, которые популяризовали автомобили с двигателями внутреннего сгорания [12, с. 142].
5. Реализация Г. Фордом конвейерной системы организации производства автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, что позволило снизить стоимость автомобилей [12, с. 142; 29].
6. Постепенное увеличение производительности автомобилей и эффективности их работы как результат научно-технического прогресса.
7. Намеренное подавление развития городского пассажирского транспорта общего пользования и, как следствие, его кризис [12, с. 142].
8. Массовое строительство автомобильных дорог.
9. Популяризация концепции главенствующей роли автомобильного транспорта.
10. Быстрое моральное устаревание автомобилей в условиях развития производства новых моделей.
11. Стремительный процесс урбанизации городов, и развитие городской агломерации.
12. Градостроительство, основанное на приоритете легкового автомобиля.
13. Развитие городских транспортных систем.

На основе изучения источников [7, с. 86-87; 11, с. 67-68; 12, с. 144-149] были выявлены основные этапы развития автомобилизации в России в период с 1930-х годов по настоящее время, которые отражены в таблице 1.

Таблица 1.

Этапы развития автомобилизации в России (1930-е гг.– настоящее время)

Период	Характеристика
1900 г.-1930-е гг.	Первые попытки производства автомобилей в России. Большое давление со стороны иностранных монополий.
1930-е гг. – начало 1940-х гг.	Национальная промышленность. Ограниченное предложение. Низкая значимость автомобиля.

Начало 1940-х г.г. – 1969 г.	Выпуск первых автомобилей индивидуального пользования. Быстрый рост автомобильной промышленности. Увеличение экспорта. Ограничение предложения на внутреннем рынке.
1969 г. – 1992 г.	Прекращение импорта легковых автомобилей. Значительный рост обеспеченности населения легковыми автомобилями.
1992 г. – 1998 г.	Бурная автомобилизация. Повышенный спрос на легковые автомобили. Развитие импорта автомобилей.
1998 г. – 2002 г.	Снижение импорта автомобилей. Восстановление автомобильного рынка после кризиса. Рост продаж автомобилей.
2002 г. – 2007 г.	Введение транспортного налога с предоставлением местным властям возможности его повышения. Снижение спроса на новые автомобили. Повышение спроса на подержанные импортные автомобили.
2007 г. – 2009 г.	Пик продаж автомобилей, в том числе, новых.
2010 г. – 2019 г.	Скачкообразный характер на рынке продаж автомобилей, связанный с экономической нестабильностью.
2020 г. – 2021 г.	Снижение продаж на автомобильном рынке, связанное с ограничениями пандемии COVID-19.
2022 г. – настоящее время	Развитие автомобильной промышленности в условиях импортозамещения. Угроза дефицита автомобилей на рынке. Необходимость развития собственных технологий производства автомобилей.

На рисунке 1 отражен уровень автомобилизации в России в период с 2000 по 2023 гг.

Согласно рисунку 1, за 24 года автомобилизация в России выросла в 2,5 раза и имеет стойкую тенденцию к дальнейшему росту. Автомобиль сейчас есть практически в каждой семье. В соответствии с прогнозом доля городского населения России к 2030 году достигнет 60 % [20, с. 39]. За январь-октябрь 2023 года было продано на 60 % больше новых легковых автомобилей, чем в январе-октябре 2022 года [23], а в 2024 году было продано на 48,4 % больше новых легковых автомобилей, чем в 2023 году [1].

По прогнозам NavigantResearch к 2035 году количество автомобилей в мире достигнет 2 млрд. [19, с. 859].

На сегодняшний день легковой автомобиль достаточно популярен и позиционируется как:

- средство передвижения;
- средство производства;
- объект большого социально-экономического значения;
- имущественный объект;
- объект индивидуализации, позволяющий человеку ощутить свою значимость в обществе.

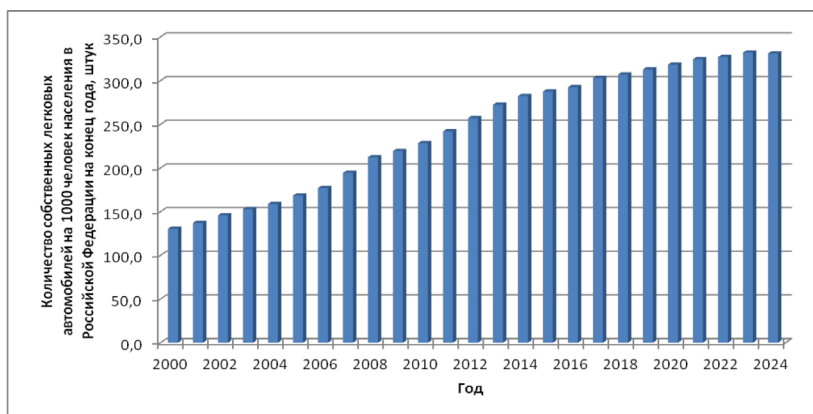


Рис. 1. Уровень автомобилизации в России в период с 2000 по 2024 г.г.

Факторы, обуславливающие автомобилизацию. Согласно формуле (1) уровень автомобилизации зависит с одной стороны от численности населения (демографического положения), с другой стороны – от развития автомобильного рынка. Анализ источников [3; 8; 12; 13] позволил выявить ряд других факторов, которые оказывают существенное влияние на развитие автомобилизации в городах. Данные факторы сгруппированы и представлены в таблице 2.

Спорным остается вопрос относительно влияния на автомобилизацию такого фактора, как уровень благосостояния населения. Так в работе [16] этот фактор отмечается авторами как один из основополагающих среди всех. Однако примечательно, что экономический кризис 1990-х годов не повлиял на развитие автомобилизации в стране. Более того, автомобилизация продолжала наращивать темпы своего развития. В исследовании [13, с. 29-30]

выявлено, что на начальных этапах экономического развития и роста благосостояния населения уровень автомобилизации растёт, затем наступает стадия насыщения автомобилями. В результате можно сделать вывод о косвенном влиянии уровня благосостояния населения на уровень автомобилизации.

Таблица 2.

Факторы, влияющие на автомобилизацию в городе

Группа факторов	Факторы
1. Экономические факторы	Уровень благосостояния населения; уровень экономического развития; уровень ВВП на душу населения [15]; уровень цен на бензин; стоимость эксплуатации легкового автомобиля; уровень цен на платные парковочные места; размер государственных инвестиций в развитие городских транспортных систем.
2. Административные факторы	Законодательство в области эксплуатации и утилизации автомобильного транспорта; ограничения на получение водительских прав [8, с. 129]; условия пользования парковочными местами.
3. Эксплуатационные факторы	Уровень развития инфраструктуры города (транспортной сети, застройки); уровень развития городского пассажирского транспорта общего пользования; плотность улично-дорожной сети; уровень урбанизации; климатические условия.
4. Демографические факторы	Численность населения; доля населения, которая не может пользоваться личным легковым автомобилем (дети, пенсионеры, люди с ограниченными возможностями здоровья).
5. Социокультурные факторы	Уровень престижа наличия собственного легкового автомобиля в пользовании; уровень склонности населения к демонстративному потреблению; развитие культуры личного автомобиля [8, с. 129]; образ и стиль жизни.

Бурный рост автомобилизации во время кризиса можно объяснить и тем, что доходы населения - не единственный фактор, оказывающий влияние на автомобилизацию. Согласно данным таблицы 2, на рассматриваемый процесс влияет одновременно целый комплекс факторов.

Результаты

Важность и положительное влияние автомобилизации на развитие городов. Автомобилизация играет важную роль в развитии общества. На основе анализа источников [2; 10; 11; 13; 14;

19] можно отметить следующие положительные стороны процесса автомобилизации.

1. Ведущая роль в развитии транспортной системы страны.
2. Маневренность, мобильность, доставка (перевозка) «точно в срок», высокая скорость доставки (перевозки).
3. Увеличение продуктивности населения за счет экономии времени и повышении комфортности передвижения, увеличения мобильности людей.
4. Рост транспортной подвижности населения и, как результат, повышение уровня занятости населения.
5. Обеспечение автомобильным транспортом 80 % всех грузовых перевозок [2, с. 1].
6. Развитие всех областей жизнедеятельности города (торговля, промышленность, туризм, обслуживание, технологии).
7. Автомобилизация – это показатель платежеспособности населения, уровня его благосостояния.
8. Способствование развитию дорожного строительства, содержания и ремонта дорог. В свою очередь дорожное строительство и качество дорог тем или иным образом определяют уровень социального и культурного развития города [19, с. 860].
9. Доступность районов города с плохо развитой маршрутной сетью.
10. Отсутствие необходимости подстраиваться под городской пассажирский транспорт общего пользования.
11. Развитие агломераций, расширение, освоение и развитие новых территорий для жизни и работы населения.
12. Расширение возможностей получения образования.
13. Автомобилизация - неотъемлемая часть научно-технического прогресса страны, один из рычагов его развития.
14. Развитие рынка автомобильного сервиса.
15. Отсутствие ограничений в возможности покупки автомобиля и его эксплуатации.

16. Возможность перевозки багажа и личных вещей в количестве, большем, чем можно было бы перевезти на городском пассажирском транспорте общего пользования.
17. Максимально полное удовлетворение потребности в поездках делового и культурно-бытового характера. Следствием этого является развитие сферы оказания услуг, торговли.
18. Дополнительный доход в бюджет государства за счет транспортного налога, платного техосмотра, дорожных и регистрационных сборов, акцизов на топливо, оплаты страховки.
19. Комфортность поездки на личном легковом автомобиле.
21. Относительная свобода выбора места работы и, как следствие, рост производительности труда.
22. Усиление глобализации и, как следствие, повышение геополитического статуса государства.
23. Сокращение бюджетных расходов на содержание городского пассажирского транспорта общего пользования.
24. Снижение уровня безработицы, главным образом, в сфере дорожного строительства, поскольку автомобилизация требует строительства новых дорог.
25. Ликвидность сбережений владельцев легковых автомобилей за счёт вложений финансовых средств в их покупку [19, с. 860].
26. Удобство использования личного автомобиля в малом бизнесе за счёт улучшения использования грузоподъемности.

Все изложенные выше положения доказывают, что автомобилизация способствует развитию экономики страны в целом.

Отрицательные последствия автомобилизации. Автомобилизация имеет свои отрицательные стороны. Многие авторы в своих работах приводят результаты негативного влияния автомобилизации на развитие городов [2; 4; 6; 11; 14; 19; 20]. Анализ указанных работ позволил выделить и сгруппировать основные проблемы автомобилизации, которые изложены ниже.

1. Экологические проблемы

Автомобилизация является источником загрязнения окружающей среды за счёт большого количества выделяющихся вредных

веществ. Это в свою очередь приводит к негативному влиянию на жизнь и здоровье населения города.

Исследования показали, что с ростом величины транспортного потока в городе растёт содержание в воздухе тяжёлых металлов, пыли и органических веществ [22]. А при средней интенсивности движения, равной 314 единиц в час, запутанность воздуха на тротуарах превышает ПДК-1 (предельно допустимую концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе). При этом влияние выбросов транспортных средств действует на расстоянии 1–2 км и на высоте до 300 м от источника [2, с. 1; 4, с. 6]. Кроме того загрязнение окружающей среды осуществляется не только от выхлопных выбросов, но и от продуктов износа шин, дорожного полотна, сточных вод с автомобильных дорог, стоянок, а также после мойки автомобилей. Согласно исследованиям, в течение года один легковой автомобиль поглощает более 4 тонн кислорода, выделяя при этом почти 800 кг окиси углерода, порядка 200 кг углеводов и 40 кг окислов азота [19, с. 860].

Загрязнение земли вдоль автодороги.

Шум, исходящий от транспортных средств, является угрозой здоровью людей и, согласно исследованиям, может способствовать развитию таких заболеваний, как ухудшение сна, повышение уровня стресса, сердечно-сосудистые заболевания [19, с. 860; 27].

Колебания в виде вибраций, исходящих от транспортных средств, также негативно влияют на окружающие объекты и зоны.

Электромагнитное загрязнение.

Проблема утилизации автомобилей. Горюче-смазочные материалы, содержащиеся в системах автомобиля, литий, свинец, никель и другие тяжелые металлы, содержащиеся в аккумуляторных батареях автомобилей, вредят экологии.

Высокие энергозатраты, связанные с использованием невозобновляемого ресурса – нефти.

2. Инфраструктурные проблемы

Необходимость постоянного развития городской дорожной сети, архитектурно-строительных решений в условиях взрывной автомобилизации и увеличивающихся требований к качеству дорог.

Массовые заторы на магистралях города.

Акцизов, налогов и пошлин, которые платят автомобилисты, не хватает для строительства и ремонта дорог, в то время как бурное развитие автомобилизации требует этих мер.

Снижение скорости движения транспортного потока.

Существующая транспортная инфраструктура российских городов была сформирована для уровня автомобилизации, заданного на уровне 60 автомобилей/1000 человек [18, с. 72]. Реальный уровень автомобилизации на сегодняшний день, равный 332,1 автомобилей/1000 человек [21], превышает заданный уровень в 5,5 раз и не обеспечивается реальным состоянием инфраструктуры.

3. Проблемы городской среды

Автомобилизация неизбежно приводит к расширению городской зоны и, следовательно, к поглощению и уничтожению природной среды.

Поглощение пешеходной инфраструктуры города, а также городского пространства, пригодного для озеленения.

В целом вся инфраструктура, связанная с обслуживанием индивидуальных автомобилей (места для парковок, гаражей, городские автомобильные дороги, автозаправочные станции), забирает до 50 % городского пространства [20, с. 39]. Все это усугубляется в условиях высокой плотности зданий и сооружений.

Исчезновение (сношение) исторической застройки, ландшафта.

Снижение туристической привлекательности города.

Проблема нехватки парковочных мест и, как следствие, парковки автомобилей в запрещенных местах.

4. Проблемы безопасности и здорового образа жизни

Развитие гиподинамии у людей.

Значительное увеличение риска возникновения ДТП на дорогах города. Это в результате негативно влияет на социально-экономическое развитие города: трудоспособное население гибнет или становится инвалидами, наносится вред имуществу. Из-за возникновения ДТП движение на городских магистралях может

быть приостановлено, при этом продолжительность затора достигает 3–4 часов [18, с. 72].

Автомобилизация является парадоксальным явлением. С одной стороны, она определяет уровень развития общества, ускоряет социальные связи, с другой стороны – способствует индивидуализации населения, его обособлению в рамках передвижений. Передвижение на автомобиле позволяет экономить личное время, но в то же время большой поток автомобилей на дорогах города снижает время передвижения ввиду образования заторов.

Автомобилизация зависит от уровня экономического развития города, и в то же время определяет развитие экономики. Такого рода цикличность процесса автомобилизации отражена на рисунке 2.

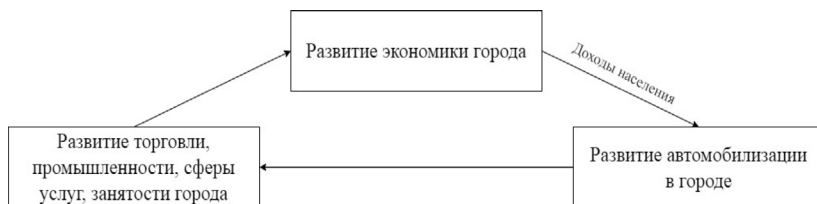


Рис. 2. Цикличность процесса автомобилизации

Очевидно, что процесс автомобилизации не только невозможно, но и нецелесообразно остановить ввиду множества положительных моментов его развития. В то же время, учитывая достаточно весомые отрицательные стороны и увеличивающееся массовое развитие автомобилизации, можно сделать вывод о необходимости ее сдерживания.

Обсуждение результатов

По результатам исследования изучен отечественный и зарубежный опыт развития механизмов по регулированию процесса автомобилизации в городах.

1. Корректировка системы налогообложения на топливо с целью мотивации к улучшению его качества.

2. Развитие прогрессивных силовых установок подвижного состава.

3. Оптимизация городских маршрутов.

4. Разработка соответствующих экологических стандартов.

5. Развитие методов снижения расхода топлива для автомобилей.

6. Непрерывный контроль технического состояния эксплуатируемых легковых автомобилей.

7. Корректировка планов социально-экономического развития городов.

8. Развитие каршерингового сервиса [25].

9. Использование альтернативных видов топлива. Это, например, электрическое топливо, газ, биодизели [26]. Стоит отметить, что в настоящее время необходимая для обслуживания электротранспорта инфраструктура стала значительно расширяться во многих российских городах. Кроме того электромобиль гораздо выгоднее автомобиля с дизельным двигателем: согласно подсчетам, приведенным в исследовании [9], стоимость энергоносителя в расчете на километр пробега электромобиля в 7 раз дешевле, чем аналогичный показатель автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Электромобили особенно популярны в таких странах, как Китай, Германия, Норвегия. Однако, как отмечают авторы работы [5, с. 9], переход на электродвигатели сопряжен с рядом проблем:

- необходимость изменения привычного способа передвижения;
- зависимость от времени заряда батареи (для электродвигателей);
- необходимость создания специальной инфраструктуры для зарядки батарей.

Стоит отметить, что полностью устранить вредные выбросы продуктов двигателей внутреннего сгорания автомобилей в силу специфики их работы не удастся. Однако можно снизить выбросы за счёт повышения топливной экономичности автомобилей.

Ожидается, что эти меры приведут к снижению уровня потребления топлива автомобилем на треть по сравнению с сегодняшним днём [5, с. 13].

10. Альтернативные виды топлива решат лишь экологическую проблему, в то время как проблема массовых заторов останется. В таком случае необходимо развивать и популяризировать городской пассажирский транспорт общего пользования при поддержке органов местного самоуправления. Это имеет ряд несомненных преимуществ:

- городской пассажирский транспорт общего пользования – это более дешевое средство передвижения по сравнению с личным легковым автомобилем;
- городской пассажирский транспорт общего пользования способствует сокращению количества пассажирских транспортных средств на дорогах города за счет своей большей вместимости;
- в результате уменьшается количество транспортных заторов, увеличивается уровень безопасности передвижения, улучшается экологическая обстановка в городе.

В данном случае эффективно также стимулирование развития пешеходного и велосипедного передвижений в городах [24], создание всей необходимой городской инфраструктуры в пользу велосипедных дорожек, тротуаров [28].

11. Освоение подземного пространства под автомобилями [20]. Первым городом, в котором данная идея была воплощена в реальный проект, стал Бостон. В результате в городе было отмечено снижение уровня угарного газа на 12 %, а территория бывшей городской автомагистрали была преобразована в парк [20, с. 39]. Концепция подземных автодорог также была реализована в таких городах, как Мадрид, Хельсинки, Лондон, Амстердам. В России подобные проекты реализуются в Москве и Санкт-Петербурге. В результате значительно разгружается городское пространство под улично-дорожную сеть, улучшается экология города.

12. Кроме того, существует практика применения инфраструктурных ограничений для сдерживания процесса автомобилизации:

- платные парковки;
- перехватывающие парковки;
- штрафные санкции и другие ограничения.

13. Развитие умных транспортных систем также является эффективным механизмом контроля городских потоков и увеличения пропускной способности улично-дорожной сети города в условиях массовой автомобилизации.

Заключение

Автомобилизация – распространенный на сегодняшний день процесс, который обусловлен рядом предпосылок и имеет длительную историю своего развития. Процесс автомобилизации сложно прогнозировать, поскольку на него влияет одновременно целый ряд факторов, имеющих различную специфику.

Автомобилизация, несомненно, является важным показателем развития современного города, обуславливает его экономическое развитие, комфорт населения, а также способствует процессу глобализации. В то же время достаточно распространены негативные последствия автомобилизации, которые снижают качество жизни и безопасность населения, провоцируют целый комплекс экологических проблем, а также проблем городской среды.

Процесс автомобилизации невозможно остановить, но его необходимо контролировать. Для сдерживания процесса автомобилизации должны приниматься комплексные меры, которые включают в себя развитие дорожно-транспортной инфраструктуры, интеллектуальных транспортных систем, совершенствование нормативно-правовой базы в области транспорта.

Список литературы

1. АВТОСТАТ. (2025). Продажи новых легковых автомобилей в России в 2024 году и в декабре. Получено с <https://www.autostat.ru/press-releases/59224> (обращение 30 мая 2025 г.)

2. Акулов, К. А., & Воеводин, Е. С. (2021). Автомобилизация и ее воздействие на экологию Красноярского края. *Техника и технология транспорта*, (2). Получено с <http://transport-kgasu.ru/files/N21-24IT221.pdf> (обращение 29 мая 2025 г.) EDN: <https://elibrary.ru/IPZTDY>
3. Васильев, М. М. (2015). Анализ влияния отдельных факторов на уровень автомобилизации в различных странах мира. *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*, (3), 116–122. EDN: <https://elibrary.ru/VBWJCT>
4. Воеводин, Е. С., Акулов, К. А., Катаев, С. А., & др. (2021). Роль автомобилизации в экологии городской среды. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*, (3), 5–13. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.03.01> EDN: <https://elibrary.ru/TIPDOS>
5. Воробьев, С. А. (2023). *Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике*. Монография. Санкт-Петербург: Научное издательство «Лань». 122 с. EDN: <https://elibrary.ru/CZPXHD>
6. Гасанов, А. О., Бендик, М. М., & Ковтуненко, М. Г. (2020). Угроза автомобилизации развитию современного города. *Научные труды КУБГУ*, (8), 377–395. EDN: <https://elibrary.ru/FGIYAR>
7. Данцев, С. А. (2009). Автомобилизация в России: история и перспективы. *Проблемы экономики и юридической практики*, (1), 85–87. EDN: <https://elibrary.ru/JWSNHF>
8. Козулин, А. Ю. (2021). Современное состояние процессов автомобилизации в Алтайском крае. *Актуальные вопросы функционирования экономики Алтайского края*, (13), 128–136. EDN: <https://elibrary.ru/HZNZKB>
9. Коновалова, Т. В., Надирян, С. Л., Сенин, И. С., & Коцурба, С. В. (2023). К вопросу эффективности использования электротранспорта в городах. *International Journal of Advanced Studies*, 13(4), 92–104. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-92-104> EDN: <https://elibrary.ru/IUURTY>
10. Леонтьев, Р. Г. (2005). Позитивные и негативные свойства автомобилизации населения. *Вестник транспорта*, (9), 5–12. EDN: <https://elibrary.ru/PYKIDT>

11. Литвинов, А. В., & Донченко, В. В. (2020). Взаимосвязь между уровнем автомобилизации населения и долей передвижений на легковых автомобилях в городах. *International Journal of Advanced Studies*, 10(3), 64–82. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2020-3-64-82> EDN: <https://elibrary.ru/FDXKTR>
12. Милякин, С. Р. (2023). Автомобилизация: история, факторы и закономерности. *Проблемы прогнозирования*, (2), 141–153. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-141-153> EDN: <https://elibrary.ru/BERWDM>
13. Нгуен, Т. Х. Д. (2007). Проблемы автомобилизации городов. *Архитектура и строительство России*, (10), 26–33. EDN: <https://elibrary.ru/KAJGTF>
14. Косяков, С. А. (2014). Общественный транспорт как способ борьбы с негативными последствиями автомобилизации. В *Организация и безопасность дорожного движения: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции* (Тюмень, 4 апреля 2014 г.) (с. 104–106). EDN: <https://elibrary.ru/SYXMTN>
15. Чедрик, А. Ю., & Шустров, И. Н. (2024). Основные аспекты автомобилизации в России. В *Развитие современной экономики России: Материалы Международной конференции молодых ученых-экономистов* (Санкт-Петербург, 11–13 апреля 2024 г.) (с. 1652–1657). EDN: <https://elibrary.ru/GPNBIY>
16. Орлова, Е. А. (2020). Развитие автомобилизации в мире. В *Право, экономика и управление: актуальные вопросы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (Чебоксары, 21 июля 2020 г.) (с. 54–57). EDN: <https://elibrary.ru/NHGPFB>
17. Решение Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 877 (ред. от 27 сентября 2023 г.). О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». Получено с https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125114 (обращение 30 мая 2025 г.)
18. Семенова, Е. Д., & Давыдова, Е. В. (2020). Состояние УДС в условиях развития автомобилизации. *Символ науки*, (12), 71–72. EDN: <https://elibrary.ru/EIXBII>

19. Атрошенко, А. О., Астафьева, О. Р., & Жаркова, И. А., & др. (2023). Социально-экономические последствия автомобилизации. В *Весенние дни науки: Материалы международной конференции студентов и молодых ученых* (Екатеринбург, 20–22 апреля 2023 г.) (с. 859–862). EDN: <https://elibrary.ru/OQDMJM>
20. Тимофеева, М. А., Романевич, К. В., & Поцешковская, И. В. (2021). Тенденции освоения подземного пространства городов в связи с растущей автомобилизацией. *Метро и тоннели*, (2), 38–42. EDN: <https://elibrary.ru/XAMSSR>
21. Федеральная служба государственной статистики. (2025). Транспорт. Транспортные средства и происшествия с подвижным составом. Получено с <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (обр. 29 мая 2025 г.)
22. Цховребова, И. Ч., & Кочиев, Г. К. (2024). Проблема влияния автомобилизации на человека и окружающую среду. *Экономика и безопасность*, (6), 71–74. EDN: <https://elibrary.ru/ECMDRY>
23. Экономика и жизнь. (2025). Подсчитаны продажи новых легковых автомобилей в России за месяц. Получено с <https://www.eg-online.ru/news/476038> (обращение 29 мая 2025 г.)
24. Ek, K., Wårell, L., & Andersson, L. (2021). Motives for walking and cycling when commuting—differences in local contexts and attitudes. *European Transport Research Review*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00502-5> EDN: <https://elibrary.ru/ELTXCD>
25. Kim, J., Rasouli, S., & Timmermans, H. J. P. (2017). The effects of activity-travel context and individual attitudes on car-sharing decisions under travel time uncertainty: A hybrid choice modeling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.022>
26. Liaquat, A. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. N., & Jayed, M. N. (2010). Potential emissions reduction in road transport sector using biofuel in developing countries. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3869–3877. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.003>
27. Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., et al. (2018). Environmental noise and the cardiovascular system. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>

28. Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784–7805. <https://doi.org/10.3390/su7067784>
29. Fayziyev, P. R., Ikromov, I. A., Abduraximov, A. A., & Dehqonov, Q. M. (2022). Timeline: History of the electric car, trends and future developments. *Eurasian Research Bulletin*, (6), 89–94.

References

1. AVTOSTAT. (2025). Sales of new cars in Russia in 2024 and December. Retrieved May 30, 2025, from <https://www.autostat.ru/press-releases/59224>
2. Akulov, K. A., & Voevodin, E. S. (2021). Automobiliation and its impact on ecology of Krasnoyarsk Territory. *Technique and Technology of Transport*, (2). Retrieved May 29, 2025, from <http://transport-kgasu.ru/files/N21-24IT221.pdf> EDN: <https://elibrary.ru/IPZTDY>
3. Vasilyev, M. M. (2015). Analysis of the influence of certain factors on the level of automobiliation in different countries of the world. *Bulletin of V.N. Tatischev Volga University*, (3), 116–122. EDN: <https://elibrary.ru/VBWJCT>
4. Voevodin, E. S., Akulov, K. A., Kataev, S. A., et al. (2021). Role of automobiliation in urban ecology. *Transport. Transport Facilities. Ecology*, (3), 5–13. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.03.01> EDN: <https://elibrary.ru/TIPDOS>
5. Vorobyov, S. A. (2023). Prospects for the development of alternative-energy-powered automobile transport. Monograph. St. Petersburg: Nauchnoemkie Tekhnologii. 122 p. EDN: <https://elibrary.ru/CZPXHD>
6. Gasanov, A. O., Bendik, M. M., & Kovtunenkov, M. G. (2020). Automobiliation threatens the development of modern cities. *Scientific Reports of KUBGTU*, (8), 377–395. EDN: <https://elibrary.ru/FGIYAR>
7. Dantsov, S. A. (2009). Automobiliation in Russia: History and prospects. *Problems of Economics and Legal Practice*, (1), 85–87. EDN: <https://elibrary.ru/JWSNHF>

8. Kozulin, A. Yu. (2021). Current state of automobilization processes in the Altai Territory. *Topical Issues of Functioning of the Altai Territory Economy*, (13), 128–136. EDN: <https://elibrary.ru/HZNZKB>
9. Konovalova, T. V., Nadiryān, S. L., Senin, I. S., & Kotsuba, S. V. (2023). On the effectiveness of electric transport use in cities. *International Journal of Advanced Studies*, 13(4), 92–104. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-92-104> EDN: <https://elibrary.ru/IUURTY>
10. Leont'ev, R. G. (2005). Positive and negative properties of populace automobilization. *Bulletin of Transport*, (9), 5–12. EDN: <https://elibrary.ru/PYKIDT>
11. Litvinov, A. V., & Donchenko, V. V. (2020). Correlation between the level of population automobilization and share of trips made by private cars in cities. *International Journal of Advanced Studies*, 10(3), 64–82. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2020-3-64-82> EDN: <https://elibrary.ru/FDXKTR>
12. Mil'jakin, S. R. (2023). Automobilization: History, Factors, and Laws. *Forecasting Problems*, (2), 141–153. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-141-153> EDN: <https://elibrary.ru/BERWDM>
13. Nguyen, T. H. D. (2007). Problems of automobilization in cities. *Architecture and Construction of Russia*, (10), 26–33. EDN: <https://elibrary.ru/KAJGTF>
14. Kosyakov, S. A. (2014). Public transport as a solution to the negative consequences of automobilization. In *Organization and Road Safety: Proceedings of the VII All-Russia Scientific and Practical Conference* (Tyumen, April 4, 2014) (pp. 104–106). EDN: <https://elibrary.ru/SYXMTN>
15. Chedrick, A. Yu., & Shuistrov, I. N. (2024). Main aspects of automobilization in Russia. In *Development of Modern Russian Economy: Proceedings of the International Conference of Young Economists* (St. Petersburg, April 11–13, 2024) (pp. 1652–1657). EDN: <https://elibrary.ru/GPNBIY>
16. Orlova, E. A. (2020). Development of automobilization worldwide. In *Law, Economy and Management: Current Issues: Proceedings of*

- the All-Russia Scientific and Practical Conference with International Participation* (Cheboksary, July 21, 2020) (pp. 54–57). EDN: <https://elibrary.ru/NHGPFB>
17. Decision of the Customs Union Commission No. 877 dated December 9, 2011 (as amended on September 27, 2023). On acceptance of the Customs Union technical regulation “Safety of Wheeled Transport Vehicles”. Retrieved May 30, 2025, from https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125114
18. Semenova, E. D., & Davydova, E. V. (2020). Status of road network in conditions of growing automobilization. *Symbol of Science*, (12), 71–72. EDN: <https://elibrary.ru/EIXBII>
19. Atroshenko, A. O., Astafeva, O. R., Zharkova, I. A., et al. (2023). Socioeconomic consequences of automobilization. In *Spring Days of Science: Proceedings of the International Student and Young Scholar Conference* (Ekaterinburg, April 20–22, 2023) (pp. 859–862). EDN: <https://elibrary.ru/OQDMJM>
20. Timofeyeva, M. A., Romanevich, K. V., & Potseshekovskaya, I. V. (2021). Trends in underground space exploitation in connection with rising automobilization. *Subway and Tunnels*, (2), 38–42. EDN: <https://elibrary.ru/XAMSSR>
21. Federal State Statistics Service. (2025). Transport. Transport vehicles and incidents involving rolling stock. Retrieved May 29, 2025, from <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>
22. Tsokhrebova, I. Ch., & Kochiev, G. K. (2024). Problem of automobilization influence on humans and environment. *Economy and Safety*, (6), 71–74. EDN: <https://elibrary.ru/ECMDRY>
23. Economy and Life. (2025). Monthly sales of new cars in Russia calculated. Retrieved May 29, 2025, from <https://www.eg-online.ru/news/476038>
24. Ek, K., Wårell, L., & Andersson, L. (2021). Motives for walking and cycling when commuting—differences in local contexts and attitudes. *European Transport Research Review*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00502-5> EDN: <https://elibrary.ru/ELTXCD>

25. Kim, J., Rasouli, S., & Timmermans, H. J. P. (2017). Effects of activity-travel context and individual attitudes on car-sharing decisions under travel time uncertainty: A hybrid choice modeling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.022>
26. Liaquat, A. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. N., & Jayed, M. N. (2010). Potential emissions reduction in road transport sector using biofuels in developing countries. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3869–3877. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.003>
27. Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., et al. (2018). Environmental noise and the cardiovascular system. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>
28. Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: Beyond megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784–7805. <https://doi.org/10.3390/su7067784>
29. Fayziyev, P. R., Ikromov, I. A., Abduraximov, A. A., & Dehqonov, Q. M. (2022). Timeline: History of Electric Cars, Trends and Future Developments. *Eurasian Research Bulletin*, (6), 89–94.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Колебер Юлия Андреевна, преподаватель кафедры «Экономика, логистика и управление качеством»
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
пр. Мира, 5, г. Омск, Омская область, 644080, Российская Федерация
uljachabol@mail.ru

Чебакова Елена Олеговна, доцент кафедры «Экономика, логистика и управление качеством», кандидат технических наук
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

*пр. Мира, 5, г. Омск, Омская область, 644080, Российская
Федерация
elena_chebakova@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuliya A. Koleber, Lecturer of the Department of Economics, Logistics and Quality Management

*Siberian State Automobile and Highway University
5, Mira Ave., Omsk, Omsk region, 644080, Russian Federation
uljachabol@mail.ru*

SPIN-code: 5455-7507

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6844-1895>

ResearcherID: JDW-2885-2023

Scopus Author ID: 57219312035

Elena O. Chebakova, Associate Professor of the Department of Economics, Logistics and Quality Management, Candidate of Technical Sciences

*Siberian State Automobile and Highway University
5, Mira Ave., Omsk, Omsk region, 644080, Russian Federation
elena_chebakova@mail.ru*

SPIN-code: 9648-7789

Поступила 29.05.2025

После рецензирования 15.06.2025

Принята 24.06.2025

Received 29.05.2025

Revised 15.06.2025

Accepted 24.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-347

EDN: HHJBXM

УДК 004.032.26



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАГРУЖЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Р.Р. Загидуллин, А.Н. Хайбуллин

Аннотация

Обоснование. В статье разрабатывается комплексный подход к прогнозированию транспортной загруженности с использованием синтетических данных, имитирующих динамику городского трафика. Гибридная методология позволяет объединить анализ временных рядов и глубокое обучение, что актуально для моделирования нелинейных зависимостей и закономерностей в транспортных данных.

Цель. Целью работы является разработка и тестирование прогностической модели, способной точно предсказывать уровни транспортной загруженности с учётом сезонных и погодных факторов.

Материалы и методы. Для выявления паттернов в данных применено аддитивное разложение временного ряда, спектральный анализ на основе быстрого преобразования Фурье и оценка автокорреляционных зависимостей. Прогностическая модель реализована в виде двухэтапного подхода: классический алгоритм ARIMA используется для базового прогнозирования, а архитектура LSTM с двумя рекуррентными слоями и регуляризацией – для обучения на последовательностях длиной 24 часа. Дополнительно для сопоставления и подтверждения результатов применён ансамблевый метод Random Forest, настроенный с гиперпараметрами: 200 деревьев, максимальная глубина – 12, минимальное количество объектов в листе – 2.

Результаты. Результаты демонстрируют превосходство LSTM-модели над ARIMA и Random Forest по точности предсказаний, что подтверждается визуальным сопоставлением прогнозов с тестовыми данными и метрикой среднеквадратичной ошибки. Выявлены ключевые факторы, влияющие на загруженность: суточные циклы интенсивности трафика, рост нагрузки при осадках (до 30% при снеге и 20% при дожде), а также температурно-зависимая модуляция транспортного потока.

Ключевые слова: транспортная загруженность; транспортное средство; нейронная сеть; машинное обучение; прогнозирование

Для цитирования. Загидуллин, Р. Р., & Хайбуллин, А. Н. (2025). Прогнозирование транспортной загруженности с использованием методов машинного обучения. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 202–216. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-347>

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

TRAFFIC CONGESTION FORECASTING USING MACHINE LEARNING METHODS

R.R. Zagidullin, A.N. Khaybullin

Abstract

Background. This study develops a comprehensive approach to traffic congestion forecasting using synthetic data that simulates the dynamics of urban traffic. A hybrid methodology is proposed that combines time series analysis and deep learning, which is highly relevant for modeling nonlinear dependencies and patterns in traffic data.

Purpose. The purpose of this study is to develop and test a predictive model capable of accurately forecasting traffic congestion levels while accounting for seasonal and weather-related factors.

Materials and methods. To identify patterns in the data, additive time series decomposition, spectral analysis based on the fast Fourier transform,

and autocorrelation analysis were applied. The predictive model was implemented using a two-stage approach: the classical ARIMA algorithm was used for baseline forecasting, while an LSTM architecture with two recurrent layers and regularization was trained on 24-hour sequences. Additionally, to compare and validate the results, the ensemble method Random Forest was used, configured with the following hyperparameters: 200 trees, maximum depth of 12, minimum samples per leaf of 2.

Results. The results demonstrate the superiority of the LSTM model over ARIMA and Random Forest in terms of predictive accuracy, as confirmed by visual comparison of forecasts with test data and by the mean squared error metric. Key factors influencing congestion were identified, including daily traffic intensity cycles, increased load during precipitation events (up to 30% during snow and 20% during rain), as well as temperature-dependent modulation of traffic flow.

Keywords: traffic congestion; vehicle; neural network; machine learning; forecasting

For citation. Zagidullin, R. R., & Khaybullin, A. N. (2025). Traffic congestion forecasting using machine learning methods. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 202–216. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-347>

Введение

Многие населенные пункты сталкиваются с растущими вызовами в организации транспортных потоков, где традиционные подходы к управлению инфраструктурой и логистикой [4-6] становятся недостаточно эффективными. В этом контексте интеллектуальные транспортные системы (ИТС), объединяющие IoT-сенсоры, облачные вычисления и алгоритмы анализа данных, формируют новый парадигмальный подход к оптимизации дорожных сетей. Ключевым элементом таких систем выступает прогнозирование транспортной загруженности [7; 8], позволяющее реагировать на текущие изменения трафика и осуществлять предиктивное управление маршрутизацией.

Актуальность задачи обусловлена нелинейной зависимостью интенсивности движения от множества факторов: от циклических колебаний (суточных, недельных, сезонных) до различных переменных, таких как погодные аномалии. Современные исследования подтверждают, что даже кратковременные метеоусловия могут приводить к статистически значимым изменениям трафика: так, среднесуточное увеличение интенсивности на 20–30% наблюдается при неблагоприятной погоде в утренние часы пик. Более того, в условиях мегаполисов эффект резонанса между осадками и транспортной плотностью приводит к существенному росту задержек и снижению средней скорости потока.

Особенности исследования и данные

Исследование подобных задач требует разработки гибридных моделей, способных интегрировать гетерогенные данные в единый прогнозный контур. В частности, важной задачей становится моделирование взаимодействия между метеофакторами, социальными событиями (праздничные дни, массовые мероприятия) и типичными шаблонами трафика. Результаты эмпирических работ показывают, что игнорирование хотя бы одного из этих факторов приводит к смещению прогноза на интервале 5–15%, что в практическом плане может выражаться в необоснованной перегрузке отдельных магистралей.

В рамках настоящего исследования фокус смещен на исследование методов машинного обучения [9; 10] и анализа временных рядов для создания адаптивного инструмента прогнозирования транспортного движения. Особенностью подхода является использование синтетически сгенерированных данных, имитирующих реальные условия населенного пункта с контролируруемыми параметрами:

- сезонные колебания базовой нагрузки,
- нелинейное влияние осадков (дождь/снег),
- температурно-зависимая модификация трафика.

Такой подход позволяет валидировать модели в условиях ограниченности реальных данных и проводить стресс-тестирование для экстремальных сценариев. В ходе численных экспериментов была оценена устойчивость модели к варьированию погодных параметров и цикличности: выявлено, что исключение суточных паттернов из обучающего множества снижает точность прогноза на 25–27%, в то время как исключение погодных данных – на 10–15%, что демонстрирует относительный вклад каждого из факторов.

Методы прогнозирования транспортной загруженности

Основной научный вклад работы заключается в комбинации методов частотного анализа (FFT) для детекции скрытых периодичностей с архитектурами LSTM, ориентированными на долгосрочные зависимости, – синтез, редко встречающийся в современных исследованиях транспортных систем. Практическая реализация разработанной модели может включать её интеграцию в городские центры управления движением для автоматической адаптации сигналов светофоров и прогнозирования загрузки ключевых магистралей. Такой подход позволит повысить пропускную способность транспортной сети и снизить задержки на дорогах за счёт адаптивного управления трафиком в режиме реального времени.

Для вычислений созданы синтетические данные, имитирующие поведение транспортного потока. В модели учитывается влияние температуры и погодных условий на интенсивность движения. Формально индекс загруженности определяется по следующей формуле:

$$C_t = \frac{T(t)}{\Theta(t) + 1} * (1 + \beta_{snow} * 1_{P(t)=snow} + \beta_{rain} * 1_{P(t)=rain}), \quad (1)$$

где:

- $T(t)$ – интенсивность трафика

$$T(t) = T_0 + A * \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) + \varepsilon_t, \quad (2)$$

- $\Theta(t)$ – параметр, который отражает влияние температуры,
- β – случайный шум,

- $1_{P(t)=snow}$, $1_{P(t)=rain}$ – индикаторы наличия снега и дождя. Случайный шум добавляется для имитации реальных данных. Для выявления трендов и сезонных колебаний применяется аддитивное разложение временного ряда по формуле:

$$X(t) = T(t) + S(t) + R(t), \quad (3)$$

где:

- $T(t)$ – трендовая составляющая,
- $S(t)$ – сезонная компонента,
- $R(t)$ – случайная (шумовая) компонента.

Этот метод позволяет визуально оценить характер суточных и годовых циклов в данных.

Чтобы выявить частотные компоненты, применяется быстрое преобразование Фурье (FFT). Функция Фурье описывается следующим выражением:

$$F(\omega) = \sum_{t=0}^{N-1} x_t e^{-\frac{2\pi i \omega t}{N}}, \quad (4)$$

Анализ спектра позволяет обнаружить доминирующие циклы, что важно для прогноза сезонных изменений в трафике.

Модель LSTM

Для прогнозирования временных рядов используется рекуррентная нейронная сеть [11, 12] LSTM. Перед подачей данных в модель происходит нормализация по следующей формуле:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}. \quad (5)$$

Затем данные преобразуются в последовательности длиной 24 часа, что соответствует одному дню. Базовая архитектура модели [13; 14] включает два слоя LSTM, между которыми применяется слой Dropout для предотвращения переобучения, и финальный полносвязный слой с линейной активацией:

$$h_t = \sigma(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b), \quad (6)$$

$$y_t = W_o h_t + b_o. \quad (7)$$

где h_t – скрытое состояние, а W и b – веса и смещения соответственно.

Для обучения модели использован алгоритм оптимизации Adam с настройкой весов на минимизацию среднеквадратичной ошибки (MSE):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2, \quad (8)$$

Adam адаптивно корректирует скорость обучения, что важно для сходимости модели при работе с нестационарными временными рядами, а MSE обеспечивает чёткую оценку отклонений прогноза от реальных значений. Дополнительно использование Adam ускоряет процесс обучения [15; 16] за счёт автоматической настройки шага градиентного спуска.

Применим описанную модель для прогнозирования интенсивности трафика и сравним полученные результаты с графиком фактических данных.

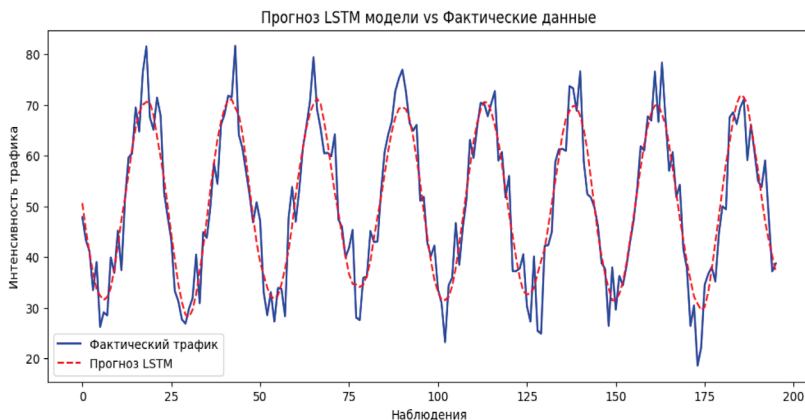


Рис. 1. Графики интенсивности трафика: линии фактических данных и прогнозов модели LSTM

Величина среднеквадратической ошибки (MSE) для модели LSTM = 2.19.

Модель ARIMA

Для комплексного анализа временных зависимостей в данных транспортного трафика применена модель ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Её ключевое преимущество заключается в способности описывать стационарные и нестационарные ряды через комбинацию авторегрессии (AR), интегрирования (I) и скользящего среднего (MA). Такой подход позволяет учесть как краткосрочные автокорреляции (через AR), так и долгосрочные тренды и сезонность (через I и MA), обеспечивая гибкость при работе с данными, в которых присутствуют циклические и сезонные колебания транспортного потока. Кроме того, ARIMA модель обладает хорошо разработанным математическим аппаратом для оценки остатков, автокорреляций и ошибок прогноза, что позволяет не только строить прогнозы, но и проверять их адекватность с использованием статистических тестов (например, теста Льюн-Бокса или анализа автокорреляционной функции остатков).

Для оценки зависимости текущих значений трафика от предыдущих использована автокорреляционная (ACF) функция:

$$p_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}, \quad (9)$$

Эта функция помогает определить порядок модели ARIMA.

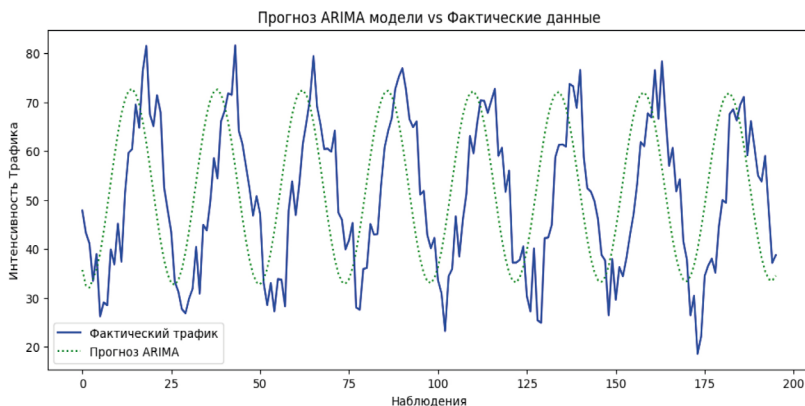


Рис. 2. Графики интенсивности трафика: линии фактических данных и прогнозов модели ARIMA

Применим описанную модель для прогнозирования интенсивности трафика и сравним полученные результаты с графиком фактических данных.

Величина среднеквадратической ошибки (MSE) для модели ARIMA = 3.08.

Модель Random Forest

Метод Random Forest представляет собой ансамблевый алгоритм машинного обучения [17], основанный на объединении большого количества решающих деревьев (Decision Trees). В контексте прогнозирования транспортной загруженности он используется для предсказания значения трафика (например, интенсивности или индекса загруженности) на основе исторических данных. Random Forest использует бэггинг (bagging, bootstrap aggregating), то есть создаёт множество деревьев решений на разных подвыборках обучающей выборки и усредняет их прогнозы, чтобы уменьшить переобучение и повысить точность модели.

Применим описанную модель для прогнозирования интенсивности трафика и сравним полученные результаты с графиком фактических данных.

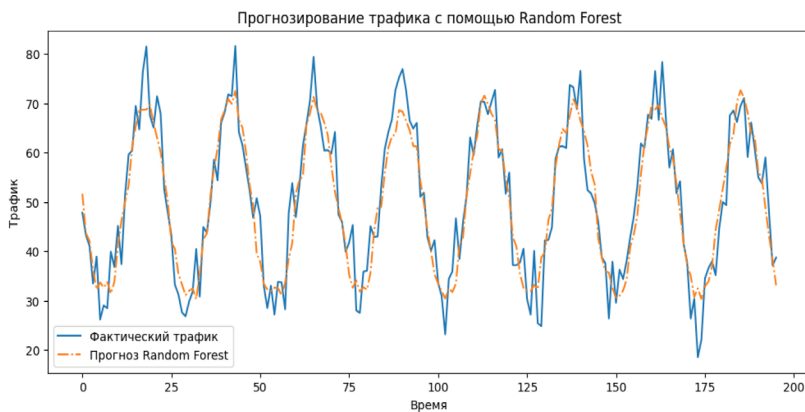


Рис. 3. Графики интенсивности трафика: линии фактических данных и прогнозов модели Random Forest

Величина среднеквадратической ошибки (MSE) для модели Random Forest равна 5.29.

Результаты

В данной задаче прогнозирования транспортной загруженности применялись три модели: Random Forest, ARIMA и LSTM.

ARIMA эффективно справилась с описанием сезонности и трендов в данных. Она показала хорошую точность ($MSE = 3.08$) и позволила учесть как краткосрочные автокорреляции, так и долгосрочные изменения транспортного потока. Применение статистических тестов (например, теста Льюнг-Бокса) подтвердило адекватность модели и её способность предсказывать временные зависимости.

LSTM, благодаря своей архитектуре, способной улавливать долгосрочные зависимости, показала наилучшие результаты среди всех моделей ($MSE = 2.19$). Использование нормализации данных и архитектуры с двумя слоями LSTM, а также алгоритма оптимизации Adam, позволило минимизировать ошибку прогноза и более точно учитывать циклические изменения интенсивности движения.

Random Forest показал, что настройка гиперпараметров ($n_estimators$, max_depth , $min_samples_leaf$, $max_features$) существенно влияет на стабильность и точность прогноза. Для повышения устойчивости при наличии шума в данных и учёте циклических колебаний трафика использовались параметры: $n_estimators = 200$, $max_depth = 12$, $min_samples_leaf = 2$ и $max_features = \sqrt{N}$. Несмотря на то что Random Forest продемонстрировал менее высокую точность ($MAE = 4.20$, $MSE = 5.29$) по сравнению с другими методами, он обеспечил полезную базовую линию для оценки прогноза.

Таким образом, наилучшие результаты были достигнуты с помощью LSTM, а ARIMA показала достойную точность в учёте сезонности и трендов. Random Forest, несмотря на ограниченность в учёте порядка временных наблюдений, дал ценную базовую оценку и помог валидации других моделей.

Заключение

Разработана гибридная модель прогнозирования транспортной загруженности, сочетающая методы анализа временных рядов (ARIMA) и глубокого обучения (LSTM). Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода: модель LSTM демонстрирует наилучшую точность прогнозирования с $MSE = 2.19$, что свидетельствует о её способности учитывать нелинейные зависимости в данных. ARIMA показала себя достойно, хотя её точность ($MSE = 3.08$) несколько уступает. Модель Random Forest имела наибольшую погрешность ($MSE = 5.29$), что указывает на ограниченную способность Random Forest адекватно моделировать сложные временные зависимости в данных о транспортной загруженности.

Визуальный анализ предсказаний выявил хорошее соответствие прогнозных значений тестовым данным, особенно для суточных циклов интенсивности трафика. Проведённые вычисления подтверждают практическую применимость модели для краткосрочного прогнозирования.

Перспективы работы связаны с интеграцией дополнительных параметров (например, данных о событиях на дорогах), использованием ансамблевых методов и тестированием на реальных данных городской инфраструктуры. Использование подобных моделей в системах управления движением также способствует снижению выбросов CO_2 за счёт уменьшения времени простоя автомобилей в пробках. Это не только улучшает экологическую обстановку в городах, но и способствует улучшению качества жизни населения благодаря сокращению времени в пути и повышению предсказуемости поездок.

Список литературы

1. Хамидулин, Т. Г. (2019). Применение искусственных нейронных сетей в транспортной отрасли. *Экономика и социум*, (4), 851–858. EDN: <https://elibrary.ru/ZZRFOP>

2. Галушкин, А. И. (2015). *Нейронные сети: основы теории*. Москва: РиС. 496 с.
3. Редько, В. Г. (2019). *Эволюция, нейронные сети, интеллект: модели и концепции эволюционной кибернетики*. Москва: Ленанд. 224 с.
4. Бочкарев, А. А., & Бочкарев, П. А. (2024). *Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для вузов* (3-е изд., перераб. и доп.). Москва: Юрайт. 162 с. EDN: <https://elibrary.ru/BVRIOQ>
5. Герами, В. Д., & Колик, А. В. (2024). *Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики: учебник и практикум для вузов* (3-е изд., перераб. и доп.). Москва: Юрайт. 536 с. EDN: <https://elibrary.ru/BCZLEN>
6. Андреева, Л. А., & др. (2015). *Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах* (под ред. Миротина, Л. Б., & Левина, Б. А.). Том 2. Формирование отраслевых логистических интеллектуальных транспортных систем. Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. 343 с.
7. Душкин, Р. В. (2020). Интеллектуальные транспортные системы: моделирование и прогнозирование трафика. *Транспортные системы и технологии*, (4), 45–62.
8. Boukerche, A., & Wang, J. (2020). Machine learning-based traffic prediction models for intelligent transportation systems. *Computer Networks*, 181, 107530. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107530> EDN: <https://elibrary.ru/НКЗХАК>
9. Николенко, С. И., Кадушин, А., & Архангельская, Е. В. (2018). *Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей*. Санкт-Петербург: Питер. 480 с.
10. Флах, П. (2015). *Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных*. Москва: ДМК Пресс. 400 с.
11. Бурков, А. (2020). *Машинное обучение без лишних слов*. Москва: Альпина Паблишер. 100 с.

12. Фаустова, К. И. (2017). Нейронные сети: применение сегодня и перспективы развития. *Территория науки*, (4), 83–87. EDN: <https://elibrary.ru/ZXPNRL>
13. Иванько, А. Ф., Иванько, М. А., & Сизова, Ю. А. (2019). Нейронные сети: общие технологические характеристики. *Научное обозрение. Технические науки*, (2), 17–23. EDN: <https://elibrary.ru/QHUGLR>
14. Хайкин, С. (2006). *Нейронные сети: полный курс* (2-е изд.). Москва: Вильямс. 1104 с.
15. Ежов, А. А., & Шумский, С. А. (1998). *Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе*. Москва: МИФИ. 268 с.
16. Тархов, Д. А. (2005). *Нейронные сети. Модели и алгоритмы*. Москва: Радиотехника.
17. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). New York: Springer-Verlag.

References

1. Khamidulin, T. G. (2019). Application of artificial neural networks in the transport industry. *Economics and Society*, (4), 851–858. EDN: <https://elibrary.ru/ZZRFOP>
2. Galushkin, A. I. (2015). *Neural networks: Fundamentals of theory*. Moscow: RIS. 496 p.
3. Red'ko, V. G. (2019). *Evolution, neural networks, intelligence: Models and concepts of evolutionary cybernetics*. Moscow: Lenand. 224 p.
4. Bochkarev, A. A., & Bochkarev, P. A. (2024). *Urban transport logistics systems: A textbook for universities* (3rd ed., revised and supplemented). Moscow: Yurayt. 162 p. EDN: <https://elibrary.ru/BVRIOQ>
5. Gerami, V. D., & Kolik, A. V. (2024). *Transport systems management. Transport logistics support: A textbook and practical guide for universities* (3rd ed., revised and supplemented). Moscow: Yurayt. 536 p. EDN: <https://elibrary.ru/BCZLEH>
6. Andreeva, L. A., et al. (2015). *Innovative processes of logistics management in intelligent transport systems* (under the editorship of Miro-

- tin, L. B., & Levin, B. A.). Volume 2. Formation of industry-specific intelligent transport logistics systems. Moscow: Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport. 343 p.
7. Dushkin, R. V. (2020). Intelligent transport systems: Traffic modeling and forecasting. *Transport Systems and Technologies*, (4), 45–62.
 8. Boukerche, A., & Wang, J. (2020). Machine learning-based traffic prediction models for intelligent transportation systems. *Computer Networks*, 181, 107530. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107530> EDN: <https://elibrary.ru/HKZXAK>
 9. Nikolaenko, S. I., Kadurin, A., & Arkhangelskaya, E. V. (2018). *Deep learning: Diving into the world of neural networks*. Saint Petersburg: Piter. 480 p.
 10. Flach, P. (2015). *Machine learning: The science and art of building algorithms that extract knowledge from data*. Moscow: DMK Press. 400 p.
 11. Burkov, A. (2020). *Machine learning without unnecessary words*. Moscow: Alpina Publisher. 100 p.
 12. Faustova, K. I. (2017). Neural networks: Current applications and future development prospects. *Territory of Science*, (4), 83–87. EDN: <https://elibrary.ru/ZXP NRL>
 13. Ivanko, A. F., Ivanko, M. A., & Sizova, Yu. A. (2019). Neural networks: General technological characteristics. *Scientific Review. Engineering Sciences*, (2), 17–23. EDN: <https://elibrary.ru/QHUGLR>
 14. Haykin, S. (2006). *Neural networks: A comprehensive foundation* (2nd ed.). Moscow: Williams. 1104 p.
 15. Ezhov, A. A., & Shumsky, S. A. (1998). *Neurocomputing and its applications in economics and business*. Moscow: MEPhI. 268 p.
 16. Tarkhov, D. A. (2005). *Neural networks. Models and algorithms*. Moscow: Radiotekhnika.
 17. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). New York: Springer-Verlag.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Загидуллин Рамиль Равильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструктивно-дизайнерского проектирования Института дизайна и пространственных искусств
Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
Ramil.Zagidullin@kpfu.ru

Хайбуллин Алмаз Наилевич, техник НИЛ «Интеллектуальная мобильность» Института дизайна и пространственных искусств
Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
almaz.khaybullin@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ramil R. Zagidullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural and Design Engineering, Institute of Design and Spatial Arts
Kazan (Volga region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
Ramil.Zagidullin@kpfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5185-2690>
ResearcherID: E-5671-2018
Scopus ID: 57193743308

Almaz N. Khaybullin, Technician at the “Intelligent Mobility” Research Laboratory (R&D Lab), Institute of Design and Spatial Arts
Kazan (Volga region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
almaz.khaybullin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7321-956X>
ResearcherID: LMP-8981-2024
Scopus ID: 5830790020

Поступила 05.06.2025

После рецензирования 18.06.2025

Принята 23.06.2025

Received 05.06.2025

Revised 18.06.2025

Accepted 23.06.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-368

EDN: CRZFNС

УДК 65.01



Научная статья | Управление процессами перевозок

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЛЕГКОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

А.А. Изюмский, И.Н. Котенкова, С.Л. Надирян

Аннотация

Обоснование. В данной статье авторы рассматривают переход легкового электротранспорта от двигателей внутреннего сгорания к автомобилям, использующим частично или полностью для передвижения электродвигатели, а также рассмотрены проблемы, возникающие на этом пути на примере Краснодарского края, как одного из регионов наиболее подходящего для этого перехода.

В статье приведен анализ темпов развития инфраструктуры, необходимой для развития легкового электротранспорта в России и Краснодарском крае, дана оценка существующего положения в области «электрификации» легкого подвижного, выделены основные проблемы, возникающие на этом направлении, и намечены пути их решения.

Авторы предлагают осуществлять этот переход не единомоментно и повсеместно, приурочивая его к определенным датам, в соответствии с теми или иными модными веяниями в области автомобильного транспорта, а проводить последовательно и неуклонно, но учитывать опыт других стран и собственную специфику, применительно к каждому региону России.

Авторами даны рекомендации первоочередных мер, направленных на развитие легкового электрического парка и сглаживание проблем по его внедрению, применительно к Краснодарскому краю.

Цель – выявление основных проблем по внедрению легкового электротранспорта в Краснодарском крае.

Материалы и методы. В статье использовался статистический анализ.

Результаты. Был проведен анализ легкового электропарка и инфраструктуры, необходимой для его работы в Краснодарском крае, изучены проблемы, возникающие на пути внедрения легковых электромобилей и предложены рекомендации по скорейшему и безболезненному переходу к электромобилям.

Область применения результатов: научно-исследовательская деятельность по изучению перспектив внедрения экологически чистых транспортных средств.

Ключевые слова: легковой электротранспорт; легковой электромобиль; экологическая безопасность; инфраструктура легкового электротранспорта

Для цитирования. Изюмский, А. А., Котенкова, И. Н., & Надирян, С. Л. (2025). Проблемы внедрения легкового электротранспорта в Краснодарском крае. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 217–228. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-368>

Original article | Transportation Process Management

PROBLEMS OF THE INTRODUCTION OF PASSENGER ELECTRIC VEHICLES IN THE KRASNODAR TERRITORY

A.A. Izumsky, Kotenkova I.N., S.L. Nadiryan

Abstract

Background. In this article, the authors consider the transition of passenger electric vehicles from internal combustion engines to cars that use electric motors partially or completely for movement, and also consider the problems that arise along this path using the example of the Krasnodar Territory as one of the regions most suitable for this transition.

The article provides an analysis of the pace of development of the infrastructure necessary for the development of passenger electric transport

in Russia and the Krasnodar Territory, assesses the current situation in the field of “electrification” of light vehicles, highlights the main problems that arise in this area, and outlines ways to solve them.

The authors propose to carry out this transition not simultaneously and everywhere, timing it to certain dates, in accordance with certain fashion trends in the field of motor transport, but consistently and steadily, but taking into account the experience of other countries and their own specifics, in relation to each region of Russia.

The authors provide recommendations for priority measures aimed at developing a passenger electric fleet and smoothing out problems with its implementation in relation to the Krasnodar Territory.

Purpose. Identification of the main problems related to the introduction of passenger electric vehicles in the Krasnodar Territory.

Materials and methods. The article used statistical analysis.

Results. The analysis of the passenger electric fleet and the infrastructure necessary for its operation in the Krasnodar Territory was carried out, the problems arising on the way of introduction of passenger electric vehicles were studied and recommendations for an early and painless transition to electric vehicles were proposed.

Scope of application of the results: scientific and research activities aimed at the early introduction of environmentally friendly vehicles.

Keywords: passenger electric transport; passenger electric vehicle; environmental safety; passenger electric transport infrastructure

For citation. Izumsky, A. A., Kotenkova, I. N., & Nadiryan, S. L. (2025). Problems of the introduction of passenger electric vehicles in the Krasnodar territory. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 217–228. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-368>

Автомобильный транспорт в мире сталкивается с двумя серьёзными проблемами: ростом цен на нефть и увеличением выбросов углекислого газа. В результате электромобили набирают популярность, поскольку они не зависят от нефти и не выделяют парниковые газы.

Популярность электромобилей растёт уже много лет, и они по-прежнему пользуются большим спросом, несмотря на некоторое снижение продаж в некоторых регионах в последнее время. Опросы, проводимые различными исследователями, показывают, что более трети опрошенных видят своим следующим автомобилем именно электромобиль

Однако, несмотря на их преимущества, для повсеместного распространения электромобилей необходимо решить ряд эксплуатационных проблем, таких как высокая стоимость инфраструктуры, нехватка зарядных станций, ограниченный радиус действия и дальность действия, а также производительность аккумуляторов. Чтобы преодолеть эти проблемы, возможные решения включают улучшение зарядной инфраструктуры, увеличение количества зарядных станций, использование методов замены аккумуляторов и усовершенствование технологии аккумуляторных батарей для устранения проблем с дальностью действия и сокращения времени зарядки.

На рисунке 1 представлен график числа зарегистрированных электрических автомобилей в России и Краснодарском крае.

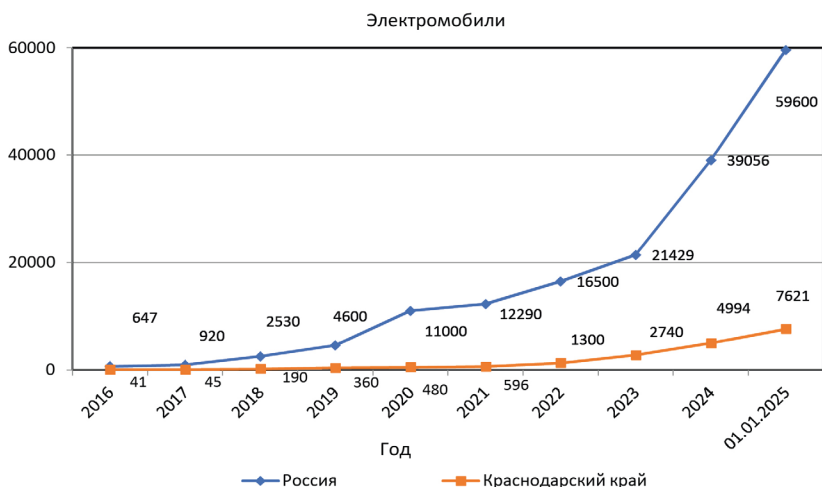


Рис. 1. Число зарегистрированных электрических легковых автомобилей в России и Краснодарском крае

Парк электромобилей в нашей стране долгое время рос постепенно, но с уходом в 2022 году ряда производителей автомобилей с традиционными двигателями и массовым появлением китайских моделей число электрокаров стало расти впечатляющими темпами.

В ряде регионов динамика роста существенно выше, чем в среднем по стране: в Москве парк электромобилей вырос в семь раз, в Краснодарском крае - в шесть раз.

Несмотря на такой впечатляющий рост, доля электрических транспортных средств в общем автопарке не превышает 0,1%, и эксперты расходятся в прогнозах по поводу дальнейшего роста из-за стоимости самих электрических автомобилей и сложности их эксплуатации.

Несомненно, что доля легковых электромобилей в России будет и дальше увеличивается, особенно с развитием инфраструктуры (зарядных станций и специализированных станций технического обслуживания).

А пока правительство продолжает “искусственно” стимулировать рынок электромобилей, вводя все возможные льготы и субсидии, например, отмену транспортного налога в Москве, бесплатный проезд по федеральным трассам, бесплатные парковки в Москве, Санкт-Петербурге и Новороссийске. Но все же общая доля электрокаров среди всех новых проданных автомобилей в России пока остается незначительной, чуть более 1%.

Одной из основных проблем при использовании электромобилей, является наличие и доступность заправочной инфраструктуры.

В отличие от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, которые можно заправить на любой заправке, электромобилям требуются специальные зарядные станции, которые на сегодняшний день не так широко распространены.

На рисунке 2 представлена схема расположения общественных зарядных станций в Краснодарском крае, представленная на сайте Минэнерго России.

Из схемы видно, что основное число станций расположено в крупных населенных пунктах и вдоль основных трасс края. На схеме отражены все доступные на сегодняшний день зарядные станции, они подразделяются на «медленные» с временем полной зарядки от 8 до 2 часов и «быстрые» - с временем зарядки менее двух часов.

К сожалению число «быстрых» зарядных станций в Краснодарском крае и России не так велико, что подтверждается графиком ввода таких станций на рисунке 3.

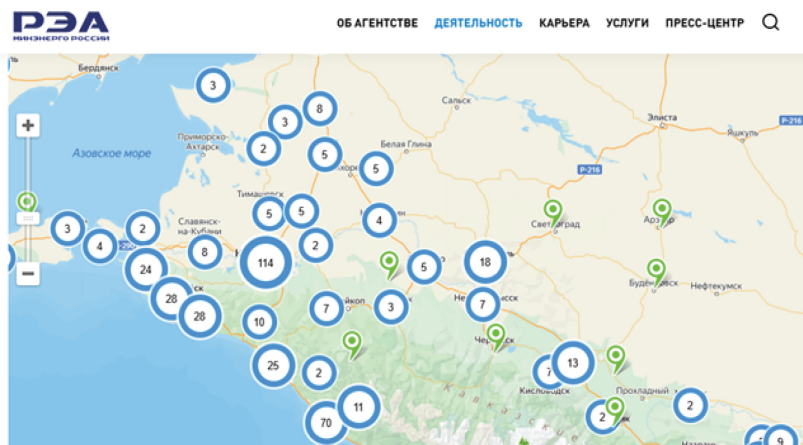


Рис. 2. Схема расположения зарядных станций в Краснодарском крае

А ведь малое количество таких станций может стать серьезным препятствием массовому внедрению электрических автомобилей, что подставит под сомнение реалистичность «Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденной Правительством РФ.

Другой проблемой, возникающей при эксплуатации электромобилей, может стать наличие специализированных станций технического обслуживания. Сейчас в Краснодарском крае обслуживание электромобилей проводят полукустарные автосервисы, которые в

большинстве своем и осуществляют обслуживание и ремонт автомобилей с электродвигателями. Даже официальные и полуофициальные дилеры по продаже электромобилей в Краснодарском крае не спешат организовывать специализированные станции технического обслуживания. Качество обслуживания электромобилей сейчас сильно зависит от наличия запасных частей или значительных задержках в их поставке, а также нехватке или полном отсутствии специалистов, разбирающихся в их ремонте и обслуживании.

Быстрые зарядные станции

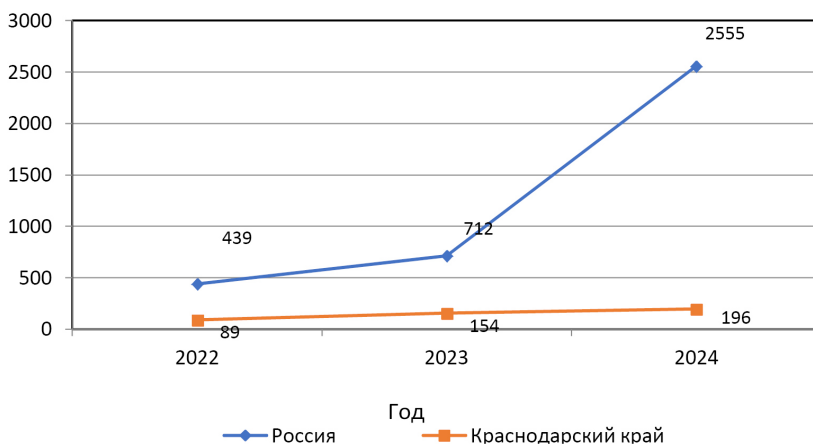


Рис. 3. Число «быстрых» зарядных станций в России и Краснодарском крае

Еще одной из проблем, которые возникают при эксплуатации электромобилей, является отсутствие средств пожаротушения, т.к. имеющиеся средства неспособны потушить пожар, возникающий при возгорании мощной литий-ионной батареи автомобиля. Эта проблема до конца не решена ни в одной из стран со значительным парком электромобилей.

В свою очередь, проблема пожаротушения автомобильных батарей создала другую - запрет во многих странах на парковку электромобилей на многоуровневых и подземных стоянках. У нас таких ограничений пока не вводят, но первый же крупный пожар, возник-

ший из-за возгорания такой батареи, приведет к законодательным запретам размещать электромобили на закрытых автостоянках.

Каждый автомобиль ждет утилизация, проблему утилизации автомобилей с традиционными двигателями решают его разборкой и дальнейшей переработкой во вторсырье. В Краснодарском крае утилизацией официально занимается более 200 организаций. Но утилизацией батарей электромобилей не занимается ни одна из них. Проблему эффективной и безопасной утилизации элементов литий-ионных батареи в мире не смогли решить до сих пор. И это также ставит барьер на быстрый переход к электрическому автотранспорту, который заложен в Концепции.

В заключение статьи можно сделать следующие выводы. Переход от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания к полностью электрическим не будет происходить так стремительно, как казалось в самом начале. Он выявил множество проблем, которые либо были проигнорированы, либо сознательно замалчивались сторонниками «зеленых» технологий. Но и постепенное повсеместное внедрение электромобилей тоже уже никем не ставится под сомнение, как было буквально несколько лет назад. Проблемы малого запаса хода сейчас решаются путем перехода на новые типы батарей и зарядных станций. Стоимость самого электромобиля уже вплотную подошла к стоимости аналогичного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. А возникшие проблемы с недостаточной развитостью инфраструктуры для электромобилей можно решить путем своевременных инвестиций.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ. (2021). Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года (ред. от 29.10.2022). Распоряжение № 2290-р. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_393496/2cc3e7a044fad83b4255225febe023d7c743e4a0/ (дата обращения: 23.08.2021).

2. Дрючин, Д. А., Коновалова, Т. В., Надирян, С. Л., Котенкова, И. Н., & Рассоха, В. И. (2024). Роль транспорта общего пользования в формировании социальной сферы городских территорий. *Наука. Техника. Технологии. Политехнический вестник*, (2), 29–32. EDN: <https://elibrary.ru/AXFXLP>
3. Дрючин, Д. А., Коновалова, Т. В., Лебедев, Е. А., Надирян, С. Л., & Рассоха, В. И. (2024). *Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций* (монография). Краснодар: Издательский Дом - Юг. 178 с.
4. Коновалова, Т. В., Надирян, С. Л., & Котенкова, И. Н. (2024). *Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: учеб. пособие*. Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ». 256 с. EDN: <https://elibrary.ru/SZMALB>
5. Коновалова, Т. В., Сенин, И. С., Надирян, С. Л., & Котенкова, И. Н. (2023). Анализ транспортных проблем крупных и крупнейших городов. *International Journal of Advanced Studies*, 13(1), 126–136. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-126-136> EDN: <https://elibrary.ru/NDTHLQ>
6. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Mironova, M. P., & Litvinov, A. E. (2021). Optimization of pedestrian traffic in residential areas of large cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1159(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012019> EDN: <https://elibrary.ru/PYVXAH>
7. Balaev, E. Y., Konovalova, T. V., Litvinov, A. E., et al. (2021). Statistical means of the assessment of the passive safety of road vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1159(1), 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012098> EDN: <https://elibrary.ru/PKLFGG>
8. Сафронов, Э., & Сафронов, К. (2004). Начало реформирования ГПТ - совершенствование маршрутных сетей городов. *Автомобильный транспорт*, (5), 57–58. EDN: <https://elibrary.ru/UPZLBM>
9. Сильянов, В. В. (1977). *Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения*. Москва: Транспорт. 304 с.

10. Якимов, М. Р. (2008). *Транспортные системы крупных городов. Анализ режимов работы на примере города Перми* (монография). Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 184 с. EDN: <https://elibrary.ru/QDCXAS>

References

1. Decree of the Government of the Russian Federation. (2021). On approval of the concept for the development of production and use of electric vehicles in the Russian Federation for the period up to 2030 (as amended on October 29, 2022). Decree No. 2290-р. Retrieved from https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_393496/2cc3e7a044fad83b-4255225febe023d7c743e4a0 (accessed: August 23, 2021).
2. Dryuchin, D. A., Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N., & Rassokha, V. I. (2024). Role of public transportation in shaping the social sphere of urban territories. *Science. Engineering. Technologies. Polytechnic Herald*, (2), 29–32. EDN: <https://elibrary.ru/AXFXLP>
3. Dryuchin, D. A., Konovalova, T. V., Lebedev, E. A., Nadiryan, S. L., & Rassokha, V. I. (2024). *Optimization of the number of vehicles serving regular routes in urban agglomerations* (monograph). Krasnodar: Izd. Dom Yug. 178 p.
4. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., & Kotenkova, I. N. (2024). *Organization of transportation services and traffic safety*: textbook. Krasnodar: Izd. KubGTU. 256 p. EDN: <https://elibrary.ru/SZMALB>
5. Konovalova, T. V., Senin, I. S., Nadiryan, S. L., & Kotenkova, I. N. (2023). Analysis of transport problems in large and megacities. *International Journal of Advanced Studies*, 13(1), 126–136. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-126-136> EDN: <https://elibrary.ru/NDTHLQ>
6. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Mironova, M. P., & Litvinov, A. E. (2021). Optimization of pedestrian traffic in residential areas of large cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1159(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012019> EDN: <https://elibrary.ru/PYVXAH>
7. Balaev, E. Y., Konovalova, T. V., Litvinov, A. E., et al. (2021). Statistical means of the assessment of the passive safety of road vehicles.

- IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1159(1), 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012098> EDN: <https://elibrary.ru/PKLFGG>
8. Safronov, E., & Safronov, K. (2004). Beginning of reforming public transport–Improvement of route networks in cities. *Automotive Transport*, (5), 57–58. EDN: <https://elibrary.ru/UPZLBM>
 9. Syl'yanov, V. V. (1977). *Traffic flow theory in road design and traffic organization*. Moscow: Transport. 304 p.
 10. Yakimov, M. R. (2008). *Transport systems of large cities: analysis of operating regimes in the city of Perm (monograph)*. Perm: Izd-vo Permsk. gos. tekhn. un-ta. 184 p. EDN: <https://elibrary.ru/QDCXAS>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Изюмский Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край, 350072, Российская Федерация
kopidd@mail.ru

Котенкова Ирина Николаевна, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край, 350072, Российская Федерация
ir-kot83@mail.ru

Надирян София Леоновна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край, 350072,
Российская Федерация
sofi008008@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander A. Izyumsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072,
Russian Federation
kopidd@mail.ru*

Irina N. Kotenkova, Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072,
Russian Federation
ir-kot83@mail.ru*

Sofia L. Nadiryan, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072,
Russian Federation
sofi008008@yandex.ru*

Поступила 05.03.2025
После рецензирования 01.04.2025
Принята 08.04.2025

Received 05.03.2025
Revised 01.04.2025
Accepted 08.04.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-362

EDN: QSOJPI

УДК 656.07



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ

Е.С. Козин

Аннотация

В исследовании рассмотрен методический подход к контролю производственных процессов по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей на предприятиях технического сервиса. Подход основывается на рассмотрении предприятия как сложной организационной или кибернетической системы. Для основного процесса, реализуемого этой системой, определяется количество точек контроля в течение смены, величина и степень запаздывания управленческих воздействий. Для моделирования работы системы используется имитационная модель, которая учитывает постепенное нарастание ошибки исполнителей и ее устранение при применении управляющего воздействия. С учетом установленного показателя и критерия эффективности определено оптимальное количество элементов системы контроля в зависимости от интенсивности поступления автомобилей в сервисную зону. Получены модели установленных закономерностей, которые описываются однофакторными регрессионными уравнениями. Разработаны модели закономерностей влияния параметров системы контроля на относительную пропускную способность системы.

Цель – повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем установления закономерностей влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на параметры системы контроля производственных процессов предприятия.

Метод и методология проведения работы. В исследовании используется метод корреляционно-регрессионного анализа, методика планирования эксперимента, имитационное моделирование, системный анализ.

Результаты. Установлены закономерности влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на количество точек контроля в течение смены, на величину управляющего воздействия, на степень запаздывания реализации управляющего воздействия. Установлены закономерности влияния количества точек контроля в течение смены, величины управляющего воздействия, степени запаздывания реализации управляющего воздействия на относительную пропускную способность системы.

Область применения результатов. Результаты исследования могут быть использованы руководством предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей при оперативном управлении технологическими процессами.

Ключевые слова: контроль; автомобили; техническая эксплуатация; оптимизация; сервис

Для цитирования. Козин, Е. С. (2025). Модель реализации системы контроля производственного процесса на предприятии технического сервиса автомобилей. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 229–251. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-362>

Original article | Operation of Road Transport

IMPLEMENTATION MODEL OF THE PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEM AT A CAR SERVICE ENTERPRISE

E.S. Kozin

Abstract

The study considers a methodical approach to control of production processes for maintenance and repair of cars at technical service enter-

prises. The approach is based on considering the enterprise as a complex organizational or cybernetic system. For the main process implemented by this system, the number of control points during the shift, the size and degree of delay of control actions are determined. To simulate the system operation, a simulation model is used that takes into account the gradual increase in the error of performers and its elimination when applying the control action. Taking into account the established indicator and the efficiency criterion, the optimal number of control system elements is determined depending on the intensity of car arrival in the service zone. Models of the established patterns are obtained, which are described by single-factor regression equations. Models of patterns of influence of control system parameters on the relative throughput of the system are developed.

Purpose – to improve the efficiency of management of automobile transport enterprises by establishing patterns of influence of the number of vehicles arriving in the technical service area on the parameters of the enterprise's production process control system.

Methodology. The study uses the method of correlation-regression analysis, the methodology of experiment planning, simulation modeling, and system analysis.

Results. Patterns of influence of the number of vehicles arriving in the technical service area on the number of control points during a shift, on the magnitude of the control action, and on the degree of delay in the implementation of the control action were established. Patterns of influence of the number of control points during a shift, the magnitude of the control action, and the degree of delay in the implementation of the control action on the relative throughput of the system were established.

Practical implications. The results of the study can be used by the management of enterprises for technical maintenance and repair of vehicles in the operational management of technological processes.

Keywords: control; vehicles; technical operation; optimization; service

For citation. Kozin, E. S. (2025). Implementation model of the production process control system at a car service enterprise. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 229–251. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-362>

Введение

Техническая эксплуатация автомобильного (ТЭА) транспорта направлена на обеспечение и поддержание работоспособности подвижного состава. Управлением технической эксплуатации подвижного состава на предприятии занимается техническая служба. Система управления относится к типу сложных организационно-производственных систем, одним из основных методов изучения которых является имитационное моделирование. Выделяют четыре функции управления: планирование, организацию, стимулирование и контроль [17]. Тогда можно говорить, что управление на предприятии осуществляется через реализацию этих функций. Задачам планирования, организации и стимулирования посвящены другие работы автора и других исследователей. В настоящей работе раскрыты подходы к решению задачи контроля.

В общем виде контроль предполагает собой наблюдение за выбранным показателем производственного процесса. При отклонении текущего значения показателя от установленных нормой пределов применяется управляющее воздействие (УВ), направленное на изменение значения контролируемого параметра [6; 7]. Для решения задачи контроля нужно определить: наблюдаемый показатель, его нормативное значение, количество точек контроля, величину управляющего воздействия, возможную степень задержки управляющего воздействия.

Цель работы

Целью исследования является повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем установления закономерностей влияния количества поступающих в зону технического сервиса автомобилей на параметры системы контроля производственных процессов предприятия. Научная новизна исследования заключается в установленных моделях закономерностей влияния факторов на пропускную способность

зоны технического сервиса предприятия, а также на параметры системы контроля. Практической значимостью исследования является разработка инструмента для определения параметров системы контроля производственных процессов для предприятий автомобильного транспорта.

Материалы и методы

Следует отметить, что задача управления ТЭА не рассматривалась через призму основных функций управления. Существующие подходы к контролю производственных процессов можно разделить на три вида. Первый реализует принципы проектного менеджмента, постулируя необходимость контроля как одной из групп процессов методологии управления проектом [3]. При этом не изучаются закономерности формирования модели контроля. Второй подход следует из теории автоматического управления [1; 15]. Однако, он в большей степени применим для технических систем и не учитывает особенности предприятий автомобильного транспорта (ПАТ) [13; 14]. Третий подход характерен для технической эксплуатации автомобилей. В нем разными авторами рассматривалась целесообразность внедрения центра управления производством (ЦУП) как способа визуального контроля процессов ТО и Р. Также существуют варианты внедрения информационной системы контроля операций по ТО и Р, которая основана на стационарных терминалах, оснащенных справочной системой и необходимостью регистрации действий исполнителя в ней [9; 18; 19]. Тем не менее, указанные подходы не рассматривают указанные выше параметры подсистемы контроля [5]. Таким образом, выявление закономерностей влияния показателей контроля на эффективность системы управления ТЭА является важной научной задачей, требующей решения.

Предлагаемый метод ближе к теории автоматического управления и основывается на теории управления организационными системами [16].

Теоретические основания

Технологический процесс ТО и Р автомобиля можно представить в виде ориентированного графа, вершинами которого являются технологические звенья (посты) разных типов. Надстройкой к этому графу является организационная структура, которая определяет количество узлов управления (административных, инженерно-технических работников или менеджеров) и их взаимосвязи с технологическими звеньями (какой менеджер контролирует те или иные узлы). Так, каждый менеджер может контролировать определенное количество технологических звеньев. Каждое такое звено реализует одну или несколько технологических операций. Следовательно, каждое звено управления будет контролировать некоторую совокупность технологических операций (функций). Очевидно, что при большом количестве контролируемых функций на одного менеджера (норма управляемости) потребуется меньшее количество таких узлов управления [2]. При этом неограниченный рост возложенных на менеджера функций будет вызывать его перегрузку и приводить к возникновению ошибок. В случае с ошибкой при управлении основным бизнес-процессом (работами по ТО и Р автомобиля) можно получить значительные потери, связанные с потерей клиента (для станции технического обслуживания) или с увеличением простоя в ТО и Р и недополученной выгодой (для АТП, УТТ). Тогда целевая функция подсистемы контроля производственного процесса может иметь следующий вид:

$$C_k = C_{оч} + C_{ош} \rightarrow \min \quad (1)$$

где C_k – суммарные затраты на контроль, руб.;

$C_{оч}$ – потери, связанные с нахождением автомобилей в очереди на техническое обслуживание и ремонт на одном из технологических звеньев, руб.

$C_{ош}$ – потери, связанные с ошибками управления из-за несвоевременного контроля производственных процессов, руб.

В свою очередь составляющие суммарных затрат определяют следующим образом.

$$C_{\text{оч}} = C_L \cdot r \cdot N_{\text{ТО,Р}} \quad (2)$$

где r – средняя длина очереди, ч.

C_L – стоимость единицы времени простоя в очереди, руб.

$N_{\text{ТО,Р}}$ – производственная программа по ТО и Р автомобилей, ед/сут.

$$C_{\text{ош}} = N_{\text{ТО,Р}} \cdot C_{\text{пот.}} \cdot P_{\text{ош}} \cdot \sum_{i=1}^n (N_i)^{\alpha\beta} \quad (3)$$

где $C_{\text{пот}}$ – стоимость потери одного клиента в год, руб.

$P_{\text{ош}}$ – вероятность потери клиента вследствие снижения эффективности контроля, %

N – количество технологических звеньев под управлением одного менеджера, ед.

α – степень однородности технологического процесса (коэффициент)

β – уровень квалификации управленческого персонала (коэффициент)

График затрат целевой функции для разного количества точек контроля будет иметь вид (Рисунок 1).

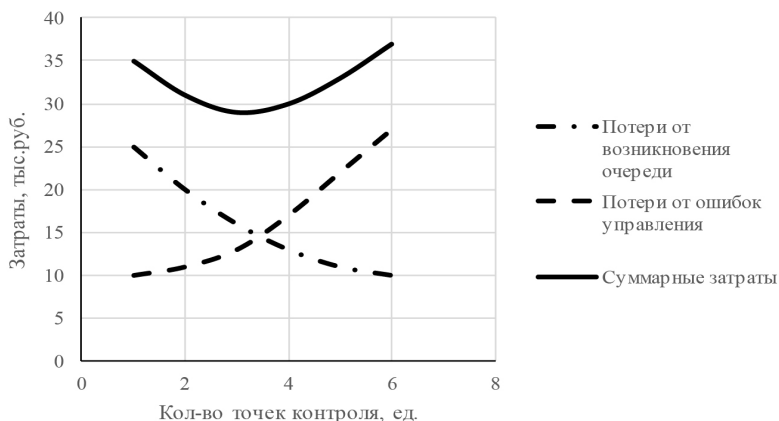


Рис. 1. График изменения затрат целевой функции от количества точек контроля

При увеличении количества точек контроля управляемая величина будет чаще возвращаться в пределы своих нормативных значений.

Это уменьшит длину очереди и сократит потери $C_{оч}$. При этом будет увеличиваться количество управленческих функций на одного менеджера, поскольку точка контроля и реализации управляющего воздействия также является функцией менеджера. Тогда затраты на управление и потери от управленческих ошибок будут расти. В этих условиях требуется определить рациональное количество точек контроля, при котором суммарные затраты на контроль будут минимальны.

Для изучения поведения системы был использован метод имитационного моделирования [8]. В качестве объекта исследования выбран производственный процесс ТО и Р автомобилей на некрупной СТО, имеющей два технологических звена: мастеров-приемщиков (reception) и универсальные посты по ТО и Р автомобилей (service) [20]. Схема ориентированного графа реализации основного бизнес-процесса рассматриваемого предприятия представлена на рисунке 2 с использованием BPMN-нотации (Рисунок 2).

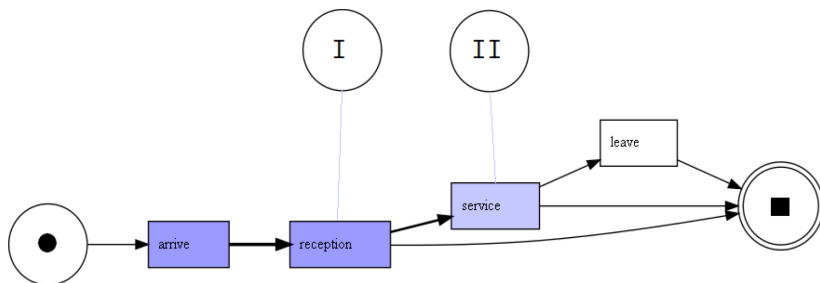


Рис. 2. Функциональная схема основного бизнес-процесса ТО и Р автомобилей на станции технического обслуживания с двумя технологическими звеньями (reception, service) и двумя узлами управления: I и II

После появления в системе (arrive) автомобили сначала поступают к мастерам-приемщикам (реализуют вспомогательные технологические операции производственного процесса), после чего отправляются на универсальные посты по ТО и Р (реализуют основные технологические операции). После выполнения работ над автомобилем мастер-приемщик возвращает транспортное средство (ТС), после чего оно покидает систему (leave).

Надстройкой описанного технологического графа является организационная структура из двух звеньев управления (менеджеров). Общее количество контролируемых менеджерами технологических операций для представленной модели системы составляет 32. Точки контроля и реализации УВ суммируются с представленным выше числом, являясь дополнительными функциями, возложенными на менеджера [12].

Для учета влияния количества контролируемых звеном управления функций был введен представленный в формуле (1) показатель степени однородности технологического процесса α . В отличие от [17] α является коэффициентом масштабирования затрат в зависимости от количества функций на одном менеджере. Он принимает значения из отрезка $[1; 1,5]$ и интерпретируется как коэффициент сжатия информации о проблемах в отчете. Он определяется типичностью проблем, возникающих у исполнителей. Поскольку на предприятии существует несколько технологических звеньев одного типа, например, 5 универсальных постов по ТО и Р, то коэффициент α учитывает также и количество исполнителей на одноименном технологическом звене.

Параметр β , как и в [17], описывает эффективность работы менеджеров – более квалифицированные менеджеры при одинаковом числе проблем несут меньшие затраты, а при одинаковых затратах решают больше проблем. Коэффициент β меняется из отрезка $[1; \infty)$, но, как правило, логический смысл имеют значения β на отрезке $[1; 3]$. В противном случае затраты масштабируются неадекватно.

Коэффициент α предлагается определять по формуле (2):

$$\alpha = \frac{(x_i \cdot (f_i + n_i) - \min(x, f, n)) \cdot (1,5 - 1)}{\max(x, f, n) - \min(x, f, n)} + 1 \quad (4)$$

где x – количество постов (исполнителей) на технологическом звене, контролируемом звеном управления i -го типа, ед.;

f – количество функций, контролируемых звеном управления i -го типа, ед.

n – количество точек контроля, ед.

Разработанная имитационная модель представляет собой среду моделирования дискретных событий, основанную на процессах [10]. По установленному закону распределения моделируется интенсивность поступления входящего потока заявок на ТО и Р автомобилей, которые по определенному маршруту (в случае представленной на рисунке 2 модели – последовательно) проходят через заданные технологические звенья-каналы. Каждый канал может быть занят или свободен и обслуживает заявку в течение установленного законом распределения времени. Задается число каналов каждого типа, а также суточная неравномерность поступления заявок, моделируемая по гармонической модели. Пики интенсивности приходятся на начало и окончание рабочего дня. Созданная на базе общеизвестного подхода к моделированию систем массового обслуживания, модель имеет ряд особенностей. Для изучения влияния подсистемы контроля на показатели эффективности системы управления был определен контролируемый параметр – среднее время обслуживания заявки. Предполагается, что в случае нарушения технологического процесса время обслуживания будет увеличиваться. То есть система управления работает по отклонению [15]. В момент контроля регистрируется фактическое значение параметра. Управляющее воздействие при реализации в полном объеме приравнивает фактическое значение параметра к нормативному. Если УВ реализовано не в полном объеме, то фактическое значение уменьшается пропорционально величине управляющего воздействия. Кроме того, модель учитывает возможность отсрочки применения УВ относительно точки контроля. Это аналогично задержке между выявлением проблемы и ее устранением в реальной производственной деятельности. Визуализация процесса накопления ошибки и применения разных вариантов УВ представлена на рисунке 3.

В результате работы модели регистрируется:

- среднее время ожидания автомобилей в очереди, ч.;

- среднее время выполнения работ, ч.;
- количество прибывших автомобилей (суточная производственная программа), ед.;
- количество обслуженных автомобилей, ед.
- суммарные затраты на работу подсистемы контроля, руб.

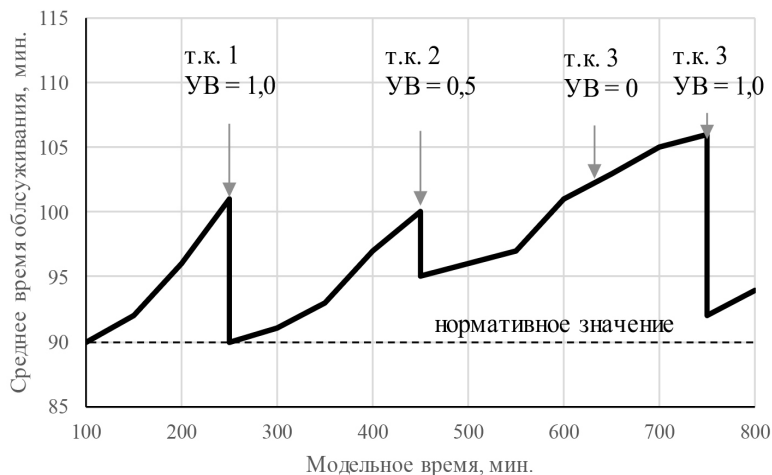


Рис. 3. Моделирование процесса контроля величины среднего времени обслуживания автомобиля: т.к. – точка контроля; УВ – значение величины управляющего воздействия; т.к. 1 – УВ реализовано в полном объеме; т.к. 2 – УВ реализовано наполовину; т.к. 3 – УВ реализовано с задержкой

Исходя из этих показателей определяется величина относительной пропускной способности, равная отношению количества обслуженных автомобилей к суточной производственной программе.

Алгоритм работы имитационной модели представлен на рисунке 4. Он формализует описанные выше процессы в графическом виде.

Разработанная имитационная модель была использована для изучения поведения системы при различных значениях параметров подсистемы контроля: количестве, степени и величине задержки УВ [4]. Численные параметры моделируемой системы (условия эксперимента) представлены в таблице 1.

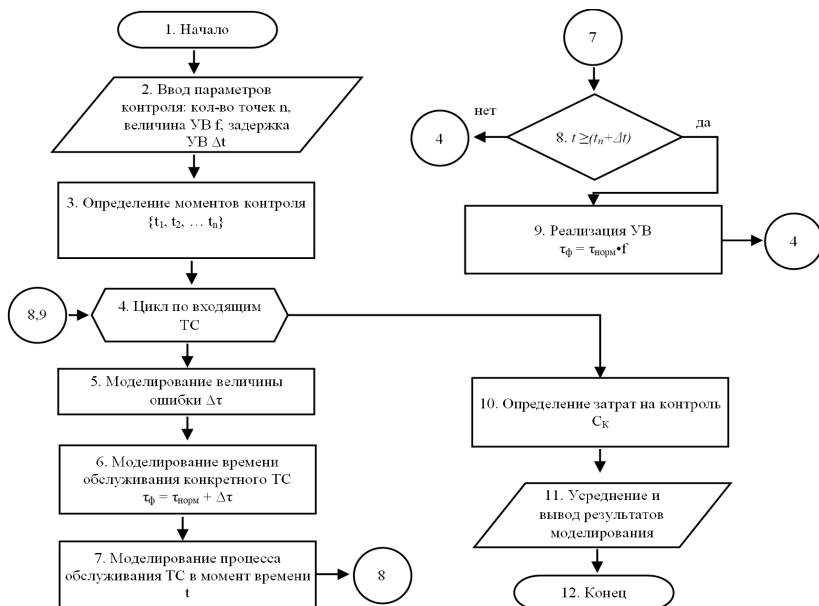


Рис. 4. Алгоритм имитационной модели контроля производственного процесса по ТО и Р автомобилей

Таблица 1.

Параметры имитационной модели при проведении эксперимента

№	Параметр	Значение	№	Параметр	Значение
1	Контролируемый параметр	Среднее время ТО и Р, мин.	10	Количество контролируемых функций, ед.	32
2	Нормативное значение контролируемого параметра, мин.	90	11	Количество менеджеров, чел.	2
3	Время приемки автомобиля, мин.	20	12	Диапазон изменения количества точек контроля	1 - 6
4	Количество постов по ТО и Р, ед.	5	13	Диапазон изменения величины управляющего воздействия, %	20 - 100
5	Количество мастеров-приемщиков, чел.	2	14	Диапазон изменения задержки реализации УВ, мин.	0 - 360

6	Суточная производственная программа, ед.	40	15	Коэффициент β	1,0
7	Стоимость простоя в очереди, руб./час	1750	16	Периодичность накопления ошибки, обслуживаний	5
8	Стоимость потери клиента, руб./год	15000	17	Величина увеличения ошибки от нормы, %	20
9	Вероятность потери клиента, %	0,5			

Результаты исследований и их обсуждение

Ниже представлены результаты имитационного моделирования работы системы контроля. Установлено, что количество точек контроля влияет на показатели эффективности системы. Так, на рисунке 5 представлена величина среднего времени нахождения в очереди при одной (слева) и пяти (справа) точках контроля. Можно заметить, что при увеличении количества точек контроля среднее время нахождения в очереди уменьшается (Рисунок 5).

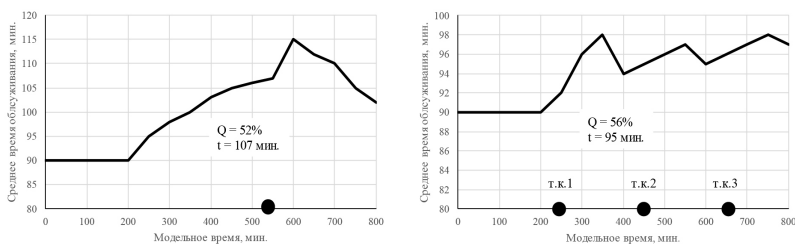


Рис. 5. Среднее время работ по ТО и Р автомобиля при разном количестве точек контроля и реализации управляющих воздействий

Следует отметить, что при реализации точки контроля наблюдается задержка в изменении значения среднего времени обслуживания. Она составляет 60 – 120 минут. Это обусловлено усреднением фактических величин времени обслуживания каждого конкретного автомобиля. На графиках можно увидеть момент применения УВ, когда величина времени обслуживания начинает снижаться. При одной точке контроля это происходит одномоментно.

но, а при нескольких возникают зоны локальных минимумов, чередующихся с возобновлением роста ошибки. Задержка реакции контролируемого показателя также обусловлена выбранным способом контроля, который в имитационной модели привязан не к модельному времени, а к количеству обслуженных автомобилей, т.е. контролируем после выпуска очередных 10 автомобилей.

Оптимизация по экономическим показателям зависит от установленных значений затрат и их соотношения. Поэтому сначала приводятся результаты изменения технических параметров системы, а затем – изменение значений целевой функции (1).

Было установлено, что величина управляющего воздействия влияет на среднее время обслуживания автомобиля и, следовательно, на относительную пропускную способность Q . Уменьшение величины УВ приводит к увеличению фактического значения контролируемого показателя. Это представлено на рисунке 6.

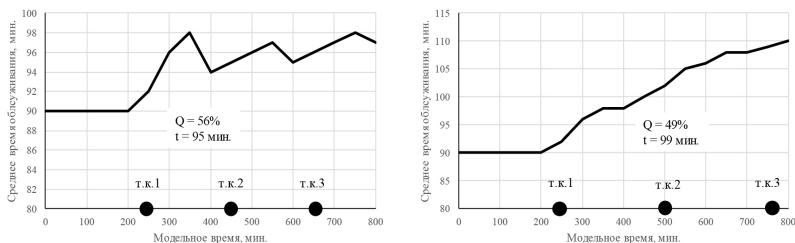


Рис. 6. Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях с величиной 100% (слева) и с величиной 50% (справа) за время моделирования 800 минут

На значение контролируемой величины также влияет время задержки между точкой контроля и моментом реализации УВ. В предыдущих примерах они совпадали. Установлено, что задержка реализации УВ более чем на 60 минут увеличивает среднее время обслуживания на 11%, среднее время нахождения ТС в очереди на 12% и снижает относительную пропускную способность Q на 4-6%. Это представлено для одних и тех же параметров модели на рисунке 7. Слева показано изменение среднего времени обслужи-

вания при отсутствии задержки в применении УВ, а справа – при задержке в 120 минут для трех точек контроля за смену.

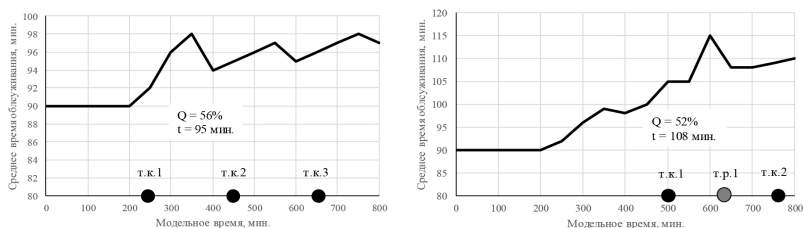


Рис. 7. Изменение среднего времени обслуживания автомобиля при трех управляющих воздействиях без задержки в их применении (слева) и с задержкой в 120 минут (справа): т.к. – точка контроля; т.р. – точка реализации УВ

Были определены модели закономерностей изменения относительной пропускной способности системы от количества точек контроля n (2), от величины УВ f (3) и от времени задержки реализации УВ Δt (4). Графики моделей закономерностей представлены на рисунке 8, а модели закономерностей, проверенные на статистическую значимость по величине множественной детерминации R^2 и критерию Фишера – ниже [11].

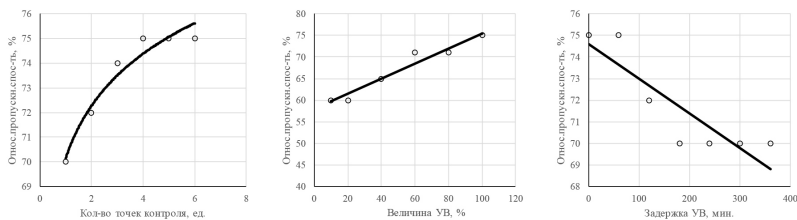


Рис. 8. Модели закономерностей изменения относительной пропускной способности Q системы от параметров подсистемы контроля: а – количества УВ, б – величины УВ, в – задержки УВ Δt

$$Q = 3,0475 \cdot \ln(n) + 70,158 \quad (2)$$

$$Q = 0,1759 \cdot f + 57,912 \quad (3)$$

$$Q = -0,0161 \cdot \Delta t + 74,607 \quad (4)$$

Закономерность на рисунке 8а описывается логарифмической моделью на области определения $\lambda(n) \in [1;7]$ и характерна тем,

что в начале своей области определения увеличение количества точек контроля приводит к быстрому росту показателя эффективности. Однако, при дальнейшем увеличении количества точек контроля существенного прироста эффективности уже не наблюдается. Это может говорить о том, что на практике для выбранного процесса реализовать 2-3 точки контроля. Больше их количество уже нецелесообразно. Закономерности на рисунке 8б и 8в описываются линейными моделями на области определения $\lambda(f) \in [10; 100]$ и $\lambda(\Delta t) \in [0; 6]$ соответственно. Первая модель говорит о линейном приросте эффективности от величины управляющего воздействия, а вторая – о снижении эффективности в результате задержки реализации управляющего воздействия. В общем случае можно заключить, что снижение величины УВ и задержка в его реализации не являются целесообразными для контролируемого процесса. Варьирование этих факторов целесообразно лишь в случае приоритета экономического критерия при оптимизации по представленной в (1) целевой функции. С использованием формулы определения значения целевой функции по критерию минимизации суммарных затрат на контроль были определены модели закономерностей оптимальных параметров подсистемы контроля от разных значений суточной производственной программы по ТО и Р $N_{\text{сут}}$ автомобилей. Полученные модели были проверены на статистическую значимость по ряду установленных критериев [11]. Суточная производственная программа изменялась в пределах от 20 до 70 автомобилей с шагом в 10 автомобилей. Автомобили поступали в систему с учетом суточной неравномерности. Для каждого значения производственной программы определялось оптимальное по критерию минимума суммарных затрат значение параметра подсистемы контроля. Для параметра задержки величины УВ оптимальное значение целевой функции всегда достигалось при нулевом значении, поэтому модель закономерности не представлена. Полученные модели закономерностей показаны на рисунке 9.

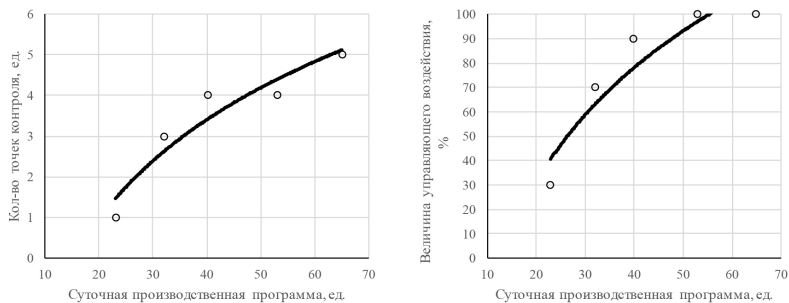


Рис. 9. Модели закономерностей влияния суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей на оптимальные параметры подсистемы контроля

$$n = 3,522 \cdot \ln(N_{\text{сут}}) - 9,59 \quad (5)$$

$$f = 67,4 \cdot \ln(N_{\text{сут}}) - 170,5 \quad (6)$$

Закключение

Таким образом, была разработана методика формирования системы контроля производственных процессов ТО и Р автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта. Методика предполагает выбор контролируемого показателя, определение размаха варьирования его нормативных значений, реализацию наблюдения за показателем с установленной периодичностью и, в случае выхода фактического значения показателя за допустимые пределы, применение управляющего воздействия с заданной величиной для возврата значения к нормативному. Установлены закономерности изменения показателей эффективности ТЭА от параметров подсистемы контроля. Полученные закономерности могут быть использованы при формировании регламентов деятельности административно-управленческих работников в рамках определения периодичности контроля производственных процессов, а также при разработке нормативов времени решения производственных проблем. Также были определены модели закономерностей изменения параметров подсистемы контроля от суточной производственной программы по ТО и Р автомобилей. Высокая интен-

сивность поступления автомобилей на посты требует повышения периодичности контроля. Закономерности могут быть полезны инженерно-техническому персоналу станций технического обслуживания автомобилей и автотранспортных предприятий.

Список литературы

1. Aizerman, M. A. (2016). *Theory of automatic control: Adiwes international series*. Amsterdam: Elsevier.
2. Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A typology of production control situations in process industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382> EDN: <https://elibrary.ru/EAYRGB>
3. Landers, R. G., et al. (2020). A review of manufacturing process control. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110814. <https://doi.org/10.1115/1.4048111> EDN: <https://elibrary.ru/MOXMIO>
4. Trentesaux, D. (2009). Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.05.001>
5. Захаров, Н. С., & Козин, Е. С. (2023). Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей. *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*, (4), 43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51> EDN: <https://elibrary.ru/NAQINB>
6. Калугин, Ю. Б. (2020). Модифицированная расчетная схема для обоснования величины периода контроля. *Специальная техника и технологии транспорта*, (8), 114–120. EDN: <https://elibrary.ru/IPJTYD>
7. Калугин, Ю. Б. (2020). Обоснование величины шага контроля при управлении технологическими процессами. *Специальная техника и технологии транспорта*, (7), 33–36. EDN: <https://elibrary.ru/GJETWL>

8. Кельтон, В., & Лоу, А. (2004). *Имитационное моделирование. Классика CS* (3-е изд.). Санкт-Петербург: Питер; Киев: Издательская группа БНВ. 847 с.
9. Киселев, Г. Г. (2023). Система для оперативного контроля и соблюдения технологической дисциплины процесса осмотра подвижного состава на ПТО. В *Наука и образование: достижения и перспективы: Материалы VIII Международной научно-практической конференции* (Саратов, 21 декабря 2023 г.) (с. 35–40). Самара – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит». EDN: <https://elibrary.ru/BPLWCZ>
10. Козин, Е. С. (2022). Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей. *Транспорт Урала*, (3), 73–77. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2022-3-73-77> EDN: <https://elibrary.ru/MWZBJW>
11. Кремер, Н. Ш. (2006). *Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов* (2-е изд., перераб. и доп.). Москва: ЮНИТИ-ДАНА. 573 с.
12. Кузьменко, Н. В., Куликов, В. В., & Бордун, Г. Ф. (2014). Разработка структуры анализа контроля качества технологического процесса. *Современные технологии и научно-технический прогресс*, 1, 11. EDN: <https://elibrary.ru/SHOTZL>
13. Кушнир, Г. Ю., & Минченко, С. Н. (2017). Совершенствование методов контроля качества технического обслуживания и ремонта на предприятиях, обслуживающих транспортные средства различных марок. *Международный научный журнал*, (3), 70–73. EDN: <https://elibrary.ru/YTOIWR>
14. Мальцев, Д. В., & Репецкий, Д. С. (2020). Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей. *Мир транспорта*, 18(6), 238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247> EDN: <https://elibrary.ru/MRGGVD>
15. Михайлов, В. С. (1988). *Теория управления*. Киев: Выща школа. Головное изд-во. 312 с.

16. Новиков, Д. А. (2016). *Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития*. Москва: ЛЕНАНД. 160 с. EDN: <https://elibrary.ru/ULJXBF>
17. Новиков, Д. А. (2005). *Теория управления организационными системами*. Москва: МПСИ. 584 с. EDN: <https://elibrary.ru/PFGVIJ>
18. Трегубов, Ю. М. (2015). Анализ проблем внутреннего контроля производственных процессов на промышленном предприятии. В *XXII Туполевские чтения (Школа молодых ученых): Материалы конференции* (Казань, 19–21 октября 2015 г.) (т. 5, с. 388–394). Казань: ООО «Издательство Фолиант». EDN: <https://elibrary.ru/UWATMB>
19. Антохина, Ю. А., Семенова, Е. Г., Епифанцев, К. В., & Копанский, А. С. (2020). Управление качеством продукции и производственный контроль технологических процессов при применении принципов ХАССП. В *Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Международный форум* (Санкт-Петербург, 4 марта 2020 г.) (с. 12–13). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. EDN: <https://elibrary.ru/VNWGNV>
20. Шайдуллина, Н. К., Печеный, Е. А., & Нуриев, Н. К. (2023). Моделирование процесса администрирования системы массового обслуживания с ограниченным временем жизни заявок. *Современные наукоемкие технологии*, (11), 81–86. <https://doi.org/10.17513/snt.39824> EDN: <https://elibrary.ru/SNBJFJ>

References

1. Aizerman, M. A. (2016). *Theory of Automatic Control: Adiwes International Series*. Amsterdam: Elsevier.
2. Fransoo, J. C., & Rutten, W. G. M. M. (1994). A typology of production control situations in process industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(12), 47–57. <https://doi.org/10.1108/01443579410072382> EDN: <https://elibrary.ru/EAYRGB>
3. Landers, R. G., et al. (2020). A review of manufacturing process control. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11),

110814. <https://doi.org/10.1115/1.4048111> EDN: <https://elibrary.ru/MOXMIO>
4. Trentesaux, D. (2009). Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.05.001>
5. Zakharov, N. S., & Kozin, E. S. (2023). Monitoring implementation of technological processes for vehicle maintenance and repair using neural networks. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*, (4), 43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51> EDN: <https://elibrary.ru/NAQINB>
6. Kalugin, Yu. B. (2020). Modified computational scheme for substantiating control period size. *Special Equipment and Transport Technologies*, (8), 114–120. EDN: <https://elibrary.ru/IPJTYD>
7. Kalugin, Yu. B. (2020). Justification of step size control in technological process management. *Special Equipment and Transport Technologies*, (7), 33–36. EDN: <https://elibrary.ru/GJETWL>
8. Kelton, W., & Law, A. (2004). *Simulation Modeling: Classic CS* (3rd ed.). St. Petersburg: Peter; Kyiv: BHVT. 847 p.
9. Kiselev, G. G. (2023). Real-time control system for compliance with inspection discipline of rolling stock at PTOS. In *Science and Education: Achievements and Perspectives: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference* (pp. 35–40). Samara–Saratov: Amirit. EDN: <https://elibrary.ru/BPLWCZ>
10. Kozin, E. S. (2022). Decision-making support system for automobile service station management. *Transport of the Urals*, (3), 73–77. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2022-3-73-77> EDN: <https://elibrary.ru/MWZBJW>
11. Kremer, N. Sh. (2006). *Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook for Higher Education Institutions* (2nd ed., Revised and Extended). Moscow: Unity-Dana. 573 p.
12. Kuzmenko, N. V., Kulikov, V. V., & Bordon, G. F. (2014). Development of quality control process analysis structure. *Modern Technologies and Scientific-Technical Progress*, (1), 11. EDN: <https://elibrary.ru/SHOTZL>

13. Kushnir, G. Yu., & Minchenko, S. N. (2017). Improvement of quality control methods for technical maintenance and repair at enterprises providing services for vehicles of different brands. *International Scientific Journal*, (3), 70–73. EDN: <https://elibrary.ru/YTOIWR>
14. Mal'tsev, D. V., & Repetsky, D. S. (2020). Monitoring production staff during vehicle maintenance work execution. *World of Transport*, 18(6), 238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247> EDN: <https://elibrary.ru/MRGGVD>
15. Mikhailov, V. S. (1988). *Control Theory*. Kyiv: Vischa Shkola. Head Publishing House. 312 p.
16. Novikov, D. A. (2016). Cybernetics: Navigator. History of cybernetics, current state, and development prospects. Moscow: LENAND. 160 p. EDN: <https://elibrary.ru/ULJXBF>
17. Novikov, D. A. (2005). *Theory of Management of Organizational Systems*. Moscow: MPPI. 584 p. EDN: <https://elibrary.ru/PFGVIJ>
18. Tregubov, Yu. M. (2015). Analysis of internal control problems of production processes at industrial enterprises. In *XXII Tupolev Readings (School of Young Scientists): Conference Proceedings* (Kazan, October 19–21, 2015) (Vol. 5, pp. 388–394). Kazan: Foliant. EDN: <https://elibrary.ru/UWATMB>
19. Antokhina, Yu. A., Semenova, E. G., Epifantsev, K. V., & Kopansky, A. S. (2020). Product quality management and production control of technological processes when applying HACCP principles. In *Metric Support of Innovative Technologies: International Forum* (Saint Petersburg, March 4, 2020) (pp. 12–13). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. EDN: <https://elibrary.ru/VNWGNV>
20. Shaidullina, N. K., Pecheny, E. A., & Nuriyev, N. K. (2023). Modeling administration process of queuing system with limited lifetime claims. *Modern Knowledge-Intensive Technologies*, (11), 81–86. <https://doi.org/10.17513/snt.39824> EDN: <https://elibrary.ru/SNBJFJ>

ДАНЫЕ ОБ АВТОРЕ

Козин Евгений Сергеевич, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, кандидат технических наук, доцент

*Тюменский индустриальный университет
ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Российская Феде-
рация
kozines@tyuiu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Evgeniy S. Kozin, Associate Professor of the Department of Car Service and Technological Machines, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Industrial University of Tyumen

38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation

kozines@tyuiu.ru

SPIN-code: 1834-0639

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-3285>

ResearcherID: D-8474-2019

Scopus Author ID: 57052768700

Поступила 23.04.2025

После рецензирования 02.05.2025

Принята 06.05.2025

Received 23.04.2025

Revised 02.05.2025

Accepted 06.05.2025

DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-2-369

EDN: FHQONH

УДК 625.7:656



Научная статья | Управление процессами перевозок

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Ю.В. Буртыль, Д.В. Канский,
Н.А. Филиппова, А.А. Неретин*

Аннотация

Обоснование. Основной целью данного исследования является разработка методики проверки фактической надежности дорожной одежды на основании динамики изменения ровности покрытия, расчетной скорости движения автомобиля и расчетного срока службы. В рамках исследования введены авторские количественные критерии, такие как коэффициент эксплуатационной надежности дорожной конструкции и коэффициент срока службы дорожного покрытия. Исследование связано с наблюдениями за изменением ровности дорожного покрытия и его влиянием на эксплуатационные характеристики. Оценка состояния ради износа, который возникает в процессе эксплуатации, особенно важна для определения периодов ремонта и необходимого объема работ. В статье приводятся примеры замеров ровности на участках дорог с различной интенсивностью движения, что позволяет сделать вывод о различной скорости ухудшения состояния покрытия и выявить участки, наиболее подверженные деформациям.

Цель исследования заключается в разработке и апробации методологии оценки состояния дорожного покрытия, с акцентом на анализ ровности и эксплуатационных характеристик дорожных конструкций. Основная задача состоит в интеграции количественных показателей и математических моделей, которые позволят более точно определить сроки и объемы необходимых ремонтов.

Материалы и методы. В статье приведена разработанная на основании динамики изменения ровности покрытия, расчетной скорости движения автомобиля и расчетного срока службы, методика оценки фактической надежности дорожной одежды. Методика включает разработанные авторские количественные критерии оценки, к которым относятся коэффициент эксплуатационной надежности дорожной конструкции, эксплуатационный срок службы покрытия и коэффициент срока службы дорожного покрытия.

Результаты. По итогам исследования разработаны оценочные критерии надежности, которые могут быть полезны для органов управления дорожным хозяйством и при планировании ремонта. Эти критерии позволяют не только выявлять участки, требующие ремонта, но и оптимизировать ресурсы, затрачиваемые на его выполнение. Исследование доказывает, что применение математических моделей и количественных показателей может значительно улучшить систему управления дорожным покрытием, повышая безопасность и комфорт для пользователей.

Ключевые слова: дорога; покрытие; оценка состояния; исследование; срок службы; надежность

Для цитирования. Буртыль, Ю. В., Капский, Д. В., Филиппова, Н. А., & Неретин, А. А. (2025). Оценка надежности эксплуатируемых участков автомобильных дорог. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 252–269. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-369>

Original article | Transportation Process Management

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF OPERATED SECTIONS OF HIGHWAYS

*Yu. V. Burtyl, D. V. Kapski,
N. A. Filippova, A. A. Neretin*

Abstract

Background. The main objective of this study is to develop a methodology for checking the actual reliability of road surfaces based on the

dynamics of changes in pavement smoothness, estimated vehicle speed, and estimated service life. The study introduces proprietary quantitative criteria, such as the road structure operational reliability coefficient and the road surface service life coefficient. The study is related to observing changes in road surface smoothness and its impact on performance characteristics. Assessing the wear and tear that occurs during operation is especially important for determining repair periods and the required amount of work. The article provides examples of smoothness measurements on road sections with varying traffic intensities, which allows us to draw a conclusion about the different rates of pavement condition deterioration and identify areas that are most susceptible to deformation.

Purpose. Consists in developing and testing a methodology for assessing the condition of road surfaces, with an emphasis on analyzing the evenness and performance characteristics of road structures. The main task is to integrate quantitative indicators and mathematical models that will allow more accurate determination of the timing and volume of necessary repairs.

Materials and methods. The article presents a methodology for assessing the actual reliability of road surfaces, developed on the basis of the dynamics of changes in the smoothness of the pavement, the estimated speed of the vehicle and the estimated service life. The methodology includes the author's developed quantitative assessment criteria, which include the coefficient of operational reliability of the road structure, the operational service life of the pavement and the coefficient of the service life of the road pavement.

Results. Based on the results of the study, reliability assessment criteria have been developed that can be useful for road management bodies and for repair planning. These criteria allow not only to identify areas requiring repair, but also to optimize the resources spent on its implementation. The study proves that the use of mathematical models and quantitative indicators can significantly improve the road surface management system, increasing safety and comfort for users.

Keywords: road; pavement; condition assessment; research; service life; reliability

For citation. Burtyl, Yu. V., Kapski, D. V., Filippova, N. A., & Neretin, A. A. (2025). Assessment of the reliability of operated sections of high-

ways. *International Journal of Advanced Studies*, 15(2), 252–269. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-369>

Участки дорог, вводимые в эксплуатацию после ремонта. В дорожных конструкциях прирост деформаций и неровностей происходит с различной скоростью, которая определяется приростом показателя ровности IRI за год. Чем большие объемы деформаций формируются в слоях дорожной конструкции, тем интенсивнее ухудшается ровность, и тем ниже эксплуатационный уровень надежности. Эксплуатационный срок службы принимается как время эксплуатации автомобильной дороги после проведения капитального ремонта или после строительства и начинается после ввода дороги в эксплуатацию [1; 2].

На примере опытных участков дорог с интенсивностью в пределах 3-4 тыс. автомобилей в сутки зафиксировано достижение предельного значения ровности по безопасности движения ($IRI = 4,5$ м/км) за различный срок службы (рисунок 1).

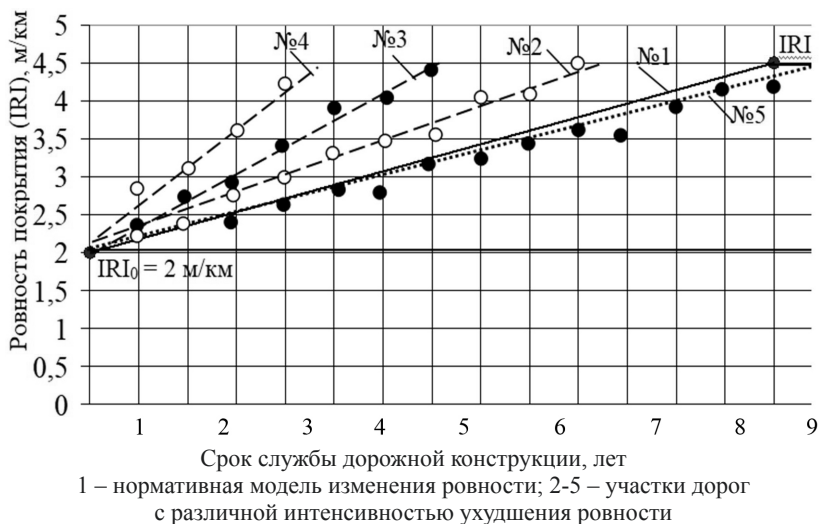


Рис. 1. Пример ухудшения ровности покрытия за различное время на 4-х участках дорог с интенсивностью 2-3 тыс. авт./сут

Действующая система назначения ремонтов и оценки эксплуатационного состояния дорог определяет участки как требующие устройства выравнивающих слоев.

Инженерными системами выполняется сравнение фактической ровности покрытия на текущий год эксплуатации с нормативным значением, но дорожные конструкции, которые достигшие предельно допустимого значения по ровности за более короткий промежуток времени требуют более детального изучения причин накопления деформаций [3].

Возникает вероятность того, что неровности на таких участках формируются уже не только за счет деформации покрытия, но и за счет деформации нижележащих слоев конструкции.

Такая ситуация возможна в случае снижения общей жесткости и несущей способности конструкции, разрушения и разуплотнения материалов, в том числе по причине превышения количества фактических транспортных нагрузок над допустимыми, проектными [4].

Для участка № 5 на рисунке 2.7 прирост деформаций фиксируется в пределах нормативного, участок № 4 определен как участок с наименьшим коэффициентом надежности по причине интенсивного ухудшения ровности за короткий промежуток времени.

Коэффициент эксплуатационной надежности будет зависеть в том числе и от фактического ежегодного прироста неровностей (R_Φ) (2)

$$K_{н.р.} = f(R_n, T_t, R_\Phi). \quad (2)$$

Предварительно принимая за основу линейную модель изменения ровности во времени для каждого участка дороги устанавливаем параметры модели по результатам ежегодных измерений по (3)

$$IRI_t = R_\Phi \cdot T_t + B, \quad (3)$$

где IRI_t – фактическое значение ровности в расчетный год, м/км;

R_Φ , B – эмпирические коэффициенты линейной регрессии, определяемые на основании расчета по методу наименьших квадратов по формулам (4) и (5) [5];

T_t – расчетный год.

$$R_{\phi} = \frac{T_p \cdot \sum_{t=1}^{T_p} IRI_t \cdot T_t - \sum_{t=1}^{T_p} T_t \cdot \sum_{t=1}^{T_p} IRI_t}{T_p \cdot \sum_{t=1}^{T_p} T_t^2 - \left(\sum_{t=1}^{T_p} T_t \right)^2}, \quad (4)$$

где T_p – расчетный срок службы, по таблице 2.14, лет;

IRI_t – значение ровности в расчетный год, м/км;

$$B = \frac{\sum_{t=1}^{T_p} IRI_t - R_{\phi} \cdot \sum_{t=1}^{T_p} T_t}{T_p} \quad (5)$$

Коэффициент эксплуатационной надежности дорожной конструкции ($K_{H.P.}$) рассчитываем по формуле (6)

$$K_{H.P.} = \frac{R_H}{R_{\phi}}, \quad (6)$$

где R_H – нормативное значение ежегодного прироста неровностей, м/(км·год);

R_{ϕ} – фактическое значение ежегодного прироста неровностей (далее коэффициент регрессии ровности) по (4), м/(км·год).

При значении $K_{H.P.}$ больше единицы эксплуатационная надежность дорожной конструкции обеспечена. Применение предлагаемой методики расчета эксплуатационного уровня надежности рассмотрим на примере одной дороги. При назначении ремонтов на участках дороги М-1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации необходимо обосновать назначение и выбор первоочередных ремонтируемых участков. Выбор участка в ремонт при прочих равных условиях режима эксплуатации (интенсивность, тип дорожной одежды, категория) определяем по расчету коэффициента эксплуатационной надежности (таблица 1).

Таблица 1.

Пример расчета коэффициента эксплуатационной надежности и назначения ремонта на участках автомобильной дороги М-1/Е30

Начало участка	Конец участка	Эксплуатационный срок службы, лет	R_H	R_{ϕ}	$K_{H.P.}$	Очередность ремонта
44	48	11	0,11	0,08	1,38	не требуется
446	448	11	0,11	0,12	0,91	2
48	52	11	0,11	0,09	1,22	не требуется
573	575	11	0,11	0,13	0,85	1

В Республике Беларусь участок дороги вводится в эксплуатацию, в том числе и на основании измерения ровности покрытия по *IRI*. Расчет коэффициента эксплуатационной надежности по (5) выполняется для дорог с начальным известным годом ремонта (строительства) и начальным значением ровности.

Эксплуатируемые участки дорог. Для эксплуатируемых дорог на произвольно выбранном участке нормативное требование ежегодного прироста неровностей (R_{II}) может быть не определено по причинам:

- год последнего ремонта не установлен;
- участок состоит из участков с различным сроком службы;
- межремонтный срок службы превышает проектный;
- сочетание вышеуказанных причин.

Последовательность действий определения (R_{II}), следующая:

1) определить категорию рассматриваемого участка протяженностью не менее 1 км и если участок разбит на несколько категорий, то принимается для расчета более высокая категория;

2) на сети республиканских дорог [11] выбираются дороги с категорией, соответствующей для выбранного участка, каждый с протяженностью первоначального участка;

3) устанавливается период сбора данных, соответствующий рекомендуемому сроку службы, принимая в качестве конечного текущий расчетный год;

4) за установленный период (T_p) на каждом участке производится выборка данных по ровности, по *IRI*, по годам;

5) по формуле (4) определяется коэффициент регрессии ровности (R_{ϕ}) для каждой дороги на выбранной сети и составляется матрица по категориям в виде;

$$\begin{pmatrix} R_{\phi, I} \\ \dots \\ R_{\phi, V} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11} & \dots & R_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ R_{51} & \dots & R_{5n} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $R_{\phi, I}$ – значение коэффициента регрессии ровности покрытия для дорог I категории, м/(км·год);

$R_{\phi, V}$ – значение коэффициента регрессии ровности покрытия для дорог V категории, м/(км·год);

$R_{11}, R_{1n}, R_{51}, R_{5n}$ – значение коэффициента регрессии ровности на участках сети республиканских дорог для соответствующей категории, м/(км·год);

1, n – номер участка.

6) Для нормального закона распределения по полученному ряду из матрицы (7) определяем коэффициент регрессии для каждой категории (рисунок 2) при заданном уровне надежности из условия (8)

$$P = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{R_{\Phi}(i)} \exp\left(-\frac{R_{\Phi}(i) - \overline{R_{\Phi}(i)}}{2\sigma}\right) dR_{\Phi}(i), \quad (8)$$

где P – уровень надежности, вероятность отказа покрытия по критерию коэффициента регрессии, $P = 0,8$ или упрощая по (9);

σ – дисперсия параметра;

$R_{\Phi}(i)$ – фактическое значение коэффициента регрессии ровности при заданном уровне надежности, м/(км·год);

$\overline{R_{\Phi}(i)}$ – среднее значение коэффициента регрессии ровности, м/(км·год)

$$P = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{R_{\Phi}(i) - \overline{R_{\Phi}(i)}}{\sigma}\right), \quad (9)$$

где Φ – функционал Лапласа.

7) Нормативное значение ежегодного прироста неровностей для эксплуатируемых дорог при отсутствии данных о времени последнего ремонта (R_H) определяем по (9)

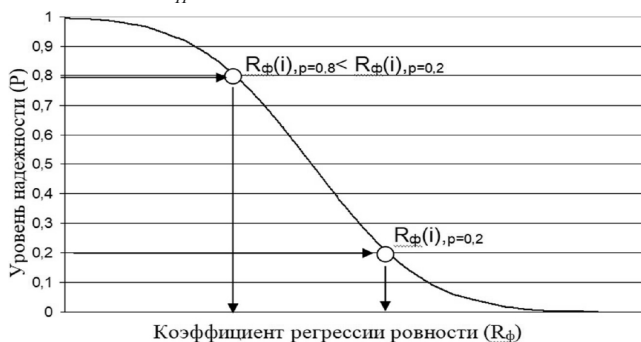


Рис. 2. Определение нормативного значения регрессии ровности для эксплуатируемых дорог на кумулятивной кривой [6]

$$R_H = R_{\Phi}(i)_{p=0,8},$$

где $R_{\Phi}(i)_{p=0,8}$ – значение ровности на кумулятивной кривой для уровня надежности 0,8;

8) В случае отсутствия данных многолетних измерений по ровности, по *IRI* принимается следующее:

- проводить измерения другим средствами, измерения с приведением к значению *IRI* по устойчивой корреляционной зависимости;

- если измерения отсутствуют, то следует принимать нормативное значение прироста неровностей.

9) Расчет коэффициента эксплуатационной надежности выполняем по формуле (7) с учетом полученного значения (R_H). Предварительно устанавливаем:

- при достижении значения $R_H = 0,5$ конструкция нуждается в немедленном ремонте или реконструкции;

- выполнение текущего ремонта при минимально допустимом уровне надежности для эксплуатируемых дорог $R_H = 0,8$ [7].

При одинаковых темпах снижения ровности с коэффициентом регрессии для разных участков дорог [10] надежность дорожного покрытия может существенно отличаться. В течении расчетного периода на участке дороги изменение ровности может быть незначительное, но зафиксировано изменение в пределах значений, существенно превышающих допустимые нормативные условия (рисунок 3).

При одинаковой регрессии ровности у каждого из участков различные сроки службы, но не в прямой зависимости от максимального значения ровности. Из графика на рисунке 3: участок дороги №1 превышает по эксплуатационному состоянию допустимые значения ровности (4,5 м/км) за весь расчетный срок службы (11 лет), участок № 2 - за последние 7 лет и участок № 3 не превысил допустимые значения. Но все три участка имеют близкий по значению коэффициент регрессии, выражаемый линейным коэффициентом уравнения, равным 0,12-0,13 м/(км год).

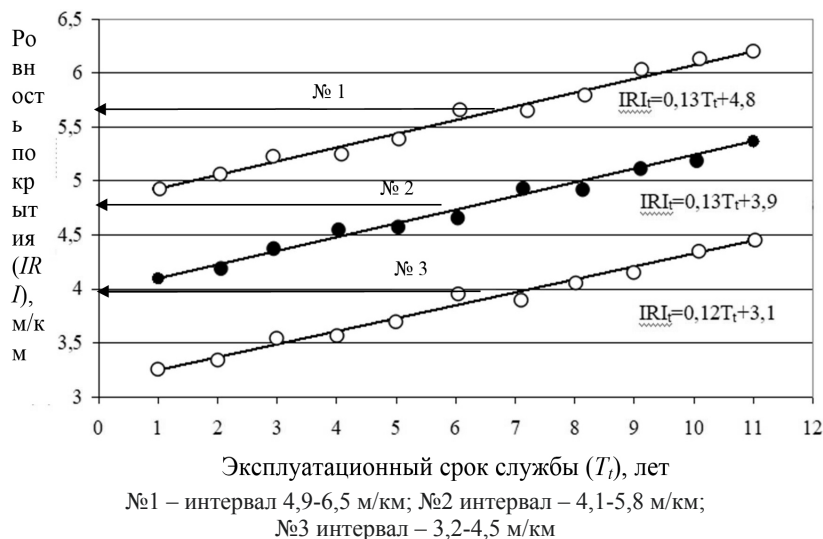


Рис. 3. Изменение ровности в различных интервалах при равной интенсивности изменения ровности на опытных участках

Для определения эксплуатационного срока службы участка в целом необходимо установить время достижения допустимых предельных значений ровности по нормативной модели. Обязательным условием поиска решения является условие $R_{\Phi} < R_H$.

Решая систему линейных уравнений (10) и (11) определим время, когда значение фактической ровности на участке достигает нормативного значения

$$\begin{cases} IRI_t = R_{\Phi} \cdot T_t + B_{\Phi} \\ IRI_t = R_H \cdot T_t + B_H, \end{cases} \quad (10)$$

$$(11)$$

где IRI_t – значение IRI в расчетный год, м/км;

R_{Φ} – коэффициент регрессии ровности по (4), м/(км·год);

T_t – эксплуатационный срок службы, лет;

R_H – нормативный прирост неровностей, м/(км·год);

B_{Φ} – коэффициент корреляции по (7), м/км;

B_H – минимальное значение ровности принимается как начальное.

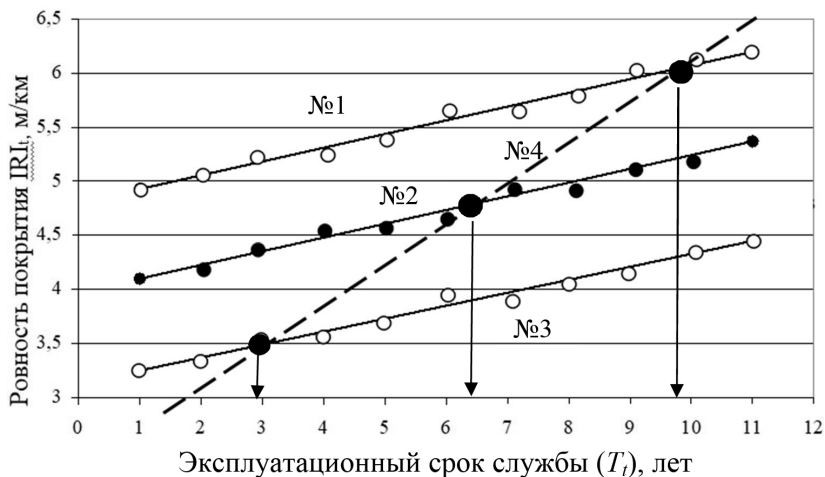
Точка пересечения графиков двух уравнений устанавливает эксплуатационный срок службы T_t для участка дороги и для решения системы уравнений запишем в виде (12)

$$T_t \cdot R_H + B_H = T_t \cdot R_\Phi + B_\Phi. \quad (12)$$

Окончательно эксплуатационный срок службы определим по (13)

$$T_t = \frac{B_\Phi - B_H}{R_H - R_\Phi}. \quad (13)$$

Графическое отображение методики определения эксплуатационного срока службы отражена на примере на рисунке 4.



№ 1-3 участки дорог для определения эксплуатационного срока службы;

№ 4 - нормативная модель изменения ровности

Рис. 4. Определение эксплуатационного срока службы [12-А, с. 29]

Из графика на рисунке 4: для трех дорог 4 категории с расчетным сроком службы 10 лет устанавливаем эксплуатационный срок службы при максимальном допустимом значении $IRI = 6,5$ м/км. По результатам расчета эксплуатационный срок службы: участок № 1 - 9,8 года; № 2 - 6,3 года, № 3 - 2,9 года для расчетного срока службы 10 лет.

Введем понятие коэффициента срока службы ($K_{H,t}$), расчет которого выполняется по формуле (14)

$$K_{H.t.} = \frac{T_p}{T_t}, \quad (14)$$

где T_p – расчетный срок службы, лет;

T_t – эксплуатационный срок службы покрытия по (6).

Окончательно коэффициент эксплуатационной надежности на основании (14) с учетом эксплуатационного срока службы для эксплуатируемых участков дорог рассчитывается по (15) и (16)

$$K_{H.P.} = \frac{R_H}{R_\Phi} \cdot K_{H.t} \quad (15)$$

$$K_{H.P.} = \frac{R_H}{R_\Phi} \text{ при } K_{H.t} > 1 \quad (16)$$

Условия назначения ремонтных мероприятий следует определять исходя из расчета частных коэффициентов эксплуатационной надежности [8,9].

Выполнено экспериментальное подтверждение разработанных в настоящей главе выкладок и вычислений в части формирования модели изменения ровности во времени, влияния нагрузки на формирование деформаций в слоях покрытия.

Выводы

На основании анализа существующих системы оценки и прогнозирования ровности дорожных покрытий в качестве параметра для исследований принят международный индекс ровности *IRI*. Введено понятие эксплуатационный коэффициент надежности дорожной конструкции. На основании собственных исследований сформулирована методика расчета коэффициента эксплуатационной надежности.

По результатам исследования изменения ровности покрытия, скорости движения транспортных потоков и расчетного срока службы дороги, разработана система оценочных критериев надежности дорожных одежд, применение которых позволяет оптимизировать назначение ремонтных мероприятий по повышению качества дорожного покрытия с учетом оптимизации расхода материальных и трудовых ресурсов.

Список литературы

1. Буртыль, Ю. В., & Капский, Д. В. (2022). Моделирование взаимосвязи ровности и прочности нежестких дорожных одежд на основании теоретическо-практических исследований. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*, 19(4), 570–583. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583> EDN: <https://elibrary.ru/MGXUAY>
2. Буртыль, Ю. В., Капский, Д. В., & Ларин, О. Н. (2022). Моделирование продольной ровности покрытий при изменении прочности дорожных конструкций. *Транспорт: наука, техника, управление*, (11), 36–39. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-11-6> EDN: <https://elibrary.ru/NYDTOW>
3. Герцог, В. Н., Долгих, Г. В., & Кузин, Н. В. (2015). Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий. *Инженерно-строительный журнал*, (5), 45–57. <https://doi.org/10.5862/MCE.57.4> EDN: <https://elibrary.ru/UHLIHB>
4. Саркісян, Г. С. (2021). *Обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності* (диссертация кандидата технических наук). Харьков: Харківський національний автомоб.-дорожній ун-т. 285 с.
5. Рассел, Дж. (2013). *Обобщённый метод наименьших квадратов* (258 с.). Москва: VSD.
6. Щеколдин, В. Ю., & Лысенко, М. Ю. (2018). Развитие методов классификации на основе анализа кумулятивных кривых. В сборнике: *Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП - 2018: материалы междунар. научно-техн. конф., Новосибирск 2-6 окт. 2018 г.: в 8 т.* (с. 97–100). Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т. EDN: <https://elibrary.ru/LRLUGS>
7. Любченко, А. С. (2010). *Оценка и прогнозирование надежности дорожных одежд нежесткого типа (на основе краткосрочных наблюдений)* (автореферат диссертации кандидата технических наук). Волгоград: Волгог. гос. архит.-строит. ун-т. 19 с. EDN: <https://elibrary.ru/QHENCR>

8. Буртыль, Ю. В., & Капский, Д. В. (2022). Результаты георадиолокационных исследований дорожных одежд в Республике Казахстан. В сборнике: *Модернизация аэропортов и развитие авиатransпортов: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 28-29 апреля 2022 года* (с. 39–44). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации. EDN: <https://elibrary.ru/ULIUHL>
9. Капский, Д. В., Богданович, С. В., & Буртыль, Ю. В. (2022). Влияние климата на транспортную отрасль Беларуси. В сборнике: *Проектирование автомобильных дорог: Сборник докладов 80-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 24-28 января 2022 года* (с. 293–303). Москва: Общество с ограниченной ответственностью «А-проджект». EDN: <https://elibrary.ru/VFSGYN>
10. Филиппова, Н. А., Иванова, А. Е., Ишков, А. М., & Власов, В. М. (2023). Цифровая технология, как один из методов повышения эффективности работы автозимников Арктических районов Республики Саха (Якутия). *Мир транспорта и технологических машин*, (3-2), 137–143. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-2\(82\)-137-143](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-137-143) EDN: <https://elibrary.ru/XBNAFS>
11. Филиппова, Н. А. (2024). Научные пути решения проблем организации и планирования перевозок грузов в районы Крайнего Севера и Арктической зоны России. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, (2), 11–22. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-2-11> EDN: <https://elibrary.ru/NWBZUF>

References

1. Burtyl', Yu. V., & Kapskii, D. V. (2022). Modeling the relationship between smoothness and strength of flexible pavements based on theoretical and practical studies. *Vestnik Siberian State Automobile and Highway University*, 19(4), 570–583. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583> EDN: <https://elibrary.ru/MGXUAY>

2. Burtyl', Yu. V., Kapskii, D. V., & Larin, O. N. (2022). Modeling longitudinal smoothness of pavements with changes in road construction strength. *Transport: Science, Engineering, Management*, (11), 36–39. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-11-6> EDN: <https://elibrary.ru/NYDTOW>
3. Gertsog, V. N., Dolgikh, G. V., & Kuzin, N. V. (2015). Calculation of road pavements according to smoothness criteria. Part 1. Justification of smoothness standards for asphalt concrete pavements. *Engineering and Construction Journal*, (5), 45–57. <https://doi.org/10.5862/MCE.57.4> EDN: <https://elibrary.ru/UHLIHB>
4. Sarkisyan, G. S. (2021). *Obgruntuvannya potribnoi miynosti nezhorst-kogo dorozhnogo odiyahu za kryteriyem hranichnoi rivnosti* [Justification of the required strength of flexible road pavement based on the limiting smoothness criterion] (dissertation). Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University. 285 p.
5. Russell, J. (2013). *Generalized least squares method* (258 p.). Moscow: VSD.
6. Shchekoldin, V. Yu., & Lysenko, M. Yu. (2018). Development of classification methods based on cumulative curve analysis. In *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEPE-2018)”*, Novosibirsk, October 2-6, 2018 (Vol. 8, pp. 97–100). Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University. EDN: <https://elibrary.ru/LRLUGS>
7. Lyubchenko, A. S. (2010). *Otsenka i prognozirovaniye nadezhnosti dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa (na osnove kratkosrochnykh nablyudeniy)* [Assessment and prediction of the reliability of flexible pavements (based on short-term observations)] (abstract of dissertation). Volgograd: Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. 19 p. EDN: <https://elibrary.ru/QHENCR>
8. Burtyl', Yu. V., & Kapskii, D. V. (2022). Results of ground-penetrating radar studies of road pavements in the Republic of Kazakhstan. In *Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation “Modernization of Airports and De-*

- velopment of Air Transport*”, Saint Petersburg, April 28-29, 2022 (pp. 39–44). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Civil Aviation. EDN: <https://elibrary.ru/ULIUHL>
9. Kapskii, D. V., Bogdanovich, S. V., & Burtyl', Yu. V. (2022). Impact of climate on the transport industry in Belarus. In *Proceedings of the 80th International Scientific and Methodological Conference “Design of Highways”*, Moscow, January 24-28, 2022 (pp. 293–303). Moscow: A-project LLC. EDN: <https://elibrary.ru/VFSGYN>
10. Filippova, N. A., Ivanova, A. E., Ishkov, A. M., & Vlasov, V. M. (2023). Digital technology as one of the methods to improve the efficiency of winter roads in the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia). *World of Transport and Technological Machines*, (3-2), 137–143. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-2\(82\)-137-143](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-137-143) EDN: <https://elibrary.ru/XBNAFS>
11. Filippova, N. A. (2024). Scientific ways to solve the problems of organization and planning of cargo transportation to the Far North and Arctic zone of Russia. *Intellect. Innovations. Investments*, (2), 11–22. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-2-11> EDN: <https://elibrary.ru/NWBZUF>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Буртыль Юрий Валерьевич, кандидат технических наук, доцент
кафедры «Транспортные системы и технологии»
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, г. Минск, Беларусь
burtyl76@mail.ru

Капский Денис Васильевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Транспортные системы и технологии»
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, г. Минск, Беларусь
d.kapsky@gmail.com

Филиппова Надежда Анатольевна, доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова»; ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»; Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (ФИЦ ЯНЦ СО РАН)
ул. Белинского, 58, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677000, Российская Федерация; Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская Федерация; ул. Петровского, 2, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677027, Российская Федерация
umen@bk.ru

Неретин Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская Федерация
neretin.sasha@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuri V. Burtyl, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of “Transport Systems and Technologies”
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus
burtyl76@mail.ru
SPIN-code: 4386-2676

Denis V. Kapski, Doctor of Science, Professor, Professor, Department of “Transport Systems and Technologies”
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosti Ave., Minsk, Belarus

d.kapsky@gmail.com
SPIN-code: 5383-4582

Nadezhda A. Filippova, Doctor of Science, Professor

*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov;
Moscow Automobile and Road State Technical University
(MADI); Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the
Russian Academy of Sciences
58, Belinskogo Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia),
677000, Russian Federation; 64, Leningradsky prospect,
Moscow, 125319, Russian Federation; 2, Petrovsky Str., Yakutsk,
Republic of Sakha (Yakutia), 677027, Russian Federation
umen@bk.ru
SPIN-code: 3782-8051*

Alexander A. Neretin, Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor

*Moscow Automobile and Road State Technical University
(MADI)
64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
neretin.sasha@gmail.com
SPIN-code: 3474-3633*

Поступила 12.05.2025
После рецензирования 24.05.2025
Принята 02.06.2025

Received 12.05.2025
Revised 24.05.2025
Accepted 02.06.2025

AUTHOR GUIDELINES

<http://ijournal-as.com/>

Volume of the manuscript: 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7-10.

Margins all margins – 20 mm each

Main text font Times New Roman

Main text size 14 pt

Line spacing 1.5 interval

First line indent 1,25 cm

Text align justify

Automatic hyphenation turned on

Page numbering turned off

Formulas in formula processor MS Equation 3.0

Figures in the text

References to a formula (1)

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

ORCID:

ResearcherID:

Scopus Author ID:

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<http://ijournal-as.com/>

Объем статей: 7-12 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-9. Рукописи большего объема принимаются по специальному решению Редколлегии.

Поля все поля – по 20 мм.

Шрифт основного текста Times New Roman

Размер шрифта основного текста 14 пт

Межстрочный интервал полуторный

Отступ первой строки абзаца 1,25 см

Выравнивание текста по ширине

Автоматическая расстановка переносов включена

Нумерация страниц не ведется

Формулы в редакторе формул MS Equation 3.0

Рисунки по тексту

Ссылки на формулу (1)

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются другот друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

- 1. Введение.**
- 2. Цель работы.**
- 3. Материалы и методы исследования.**
- 4. Результаты исследования и их обсуждение.**
- 5. Заключение.**
- 6. Информация о конфликте интересов.**
- 7. Информация о спонсорстве.**
- 8. Благодарности.**

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

СОДЕРЖАНИЕ

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ ЛОКОМОТИВОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>В.А. Бутусова, Ю.А. Давыдов, А.С. Кушнирук, Д.Ю. Дроглов</i>	7
ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦ ВОЛГОГРАДСКАЯ И КОРОЛЕНКО Г. КАЗАНИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН <i>Р.Р. Загидуллин, И.А. Банников</i>	25
К ВОПРОСУ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ: АКТУАЛЬНОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>И.М. Челышков, А.И. Жуков, И.А. Асманов</i>	47
РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОЗАПРАВОЧНЫМИ СТАНЦИЯМИ <i>Г.А. Гареева, А.Г. Файзуллина, З.Ш. Аглямова, Ю.Н. Бурханова, Р.В. Спеваков</i>	64
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОЖЕСТВОМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ <i>А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян, Ю.П. Преображенский</i>	86

ПРИМЕНЕНИЕ КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ПОДХОДА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВТОБАЗЫ

*Е.А. Калиберда, К.В. Чемерилова,
О.Г. Шевелева* 103

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ:
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Крухмалев 124

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ
ОЦЕНКИ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ
ЕДИНИЦ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ
ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Д.В. Кузьмин 143

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ
КОЛЕБАНИЯ ОСИ КОЛЕСА

Ю.П. Корнюшин, М.В. Сидоров 161

АВТОМОБИЛИЗАЦИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ
НА РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ РОССИИ

Ю.А. Колебер, Е.О. Чебакова 177

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ
ЗАГРУЖЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Р.Р. Загидуллин, А.Н. Хайбуллин 202

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЛЕГКОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ <i>А.А. Изюмский, И.Н. Котенкова, С.Л. Надирян</i>	217
МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ <i>Е.С. Козин</i>	229
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ <i>Ю.В. Буртыль, Д.В. Капский, Н.А. Филиппова, А.А. Неретин</i>	252
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	270

CONTENTS

REDUCING LOCOMOTIVE MAINTENANCE COSTS WITH INTELLIGENT SOFTWARE <i>V.A. Butusova, Y.A. Davydov, A.S. Kushniruk, D.Y. Drologov</i>	7
THE USE OF COMPUTER SIMULATION TO IMPROVE ROAD SAFETY AT THE INTERSECTION OF VOLGOGRADSKAYA AND KOROLENKO STREETS IN KAZAN, REPUBLIC OF TATARSTAN <i>R.R. Zagidullin, I.A. Bannikov</i>	25
ON THE ISSUE OF EMERGENCY MEDICAL SERVICE TRANSPORTATION SUPPORT: RELEVANCE AND RESEARCH DIRECTIONS <i>I.M. Chelyshkov, A.I. Zhukov, I.A. Asmanov</i>	47
DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR EFFICIENT MANAGEMENT OF GAS STATIONS <i>G.A. Gareeva, A.G. Faizullina, Z.Sh. Aglyamova, Yu.N. Burkhanova, R.V. Spevakov</i>	64
DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR MANY UNMANNED AERIAL VEHICLES <i>A.P. Preobrazhenskiy, T.V. Avetisyan, Yu.P. Preobrazhenskiy</i>	86
APPLICATION OF A CROSS-FUNCTIONAL APPROACH TO OPTIMIZE THE ACTIVITIES OF A SPECIALIZED VEHICLE DEPOT <i>E.A. Kaliberda, K.V. Chemerilova, O.G. Sheveleva</i>	103

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES
IN AGRICULTURE: MODERN TECHNOLOGIES
AND PROSPECTS

A.V. Krukhmalev 124

MORPHOMETRIC CRITERIA FOR EVALUATING
INDIVIDUAL TERRITORIAL UNITS IN SOLVING
THE PROBLEM OF SPATIAL DEVELOPMENT
OF LINEAR OBJECTS OF TERRESTRIAL
TRANSPORT INFRASTRUCTURE

D.V. Kuzmin 143

INFLUENCE OF DYNAMIC PROPERTIES
OF THE PROCESS MODULE ON VERTICAL VIBRATIONS
OF THE WHEEL AXIS

Yu.P. Kornyushin, M.V. Sidorov 161

MOTORIZATION AND ITS IMPACT
ON THE DEVELOPMENT OF RUSSIAN CITIES

Yu.A. Koleber, E.O. Chebakova 177

TRAFFIC CONGESTION FORECASTING
USING MACHINE LEARNING METHODS

R.R. Zagidullin, A.N. Khaybullin 202

PROBLEMS OF THE INTRODUCTION OF PASSENGER
ELECTRIC VEHICLES IN THE KRASNODAR TERRITORY

A.A. Izumsky, Kotenkova I.N., S.L. Nadiryan 217

IMPLEMENTATION MODEL
OF THE PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEM
AT A CAR SERVICE ENTERPRISE

E.S. Kozin 229

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF OPERATED
SECTIONS OF HIGHWAYS

Yu. V. Burtyl, D. V. Kapski, N. A. Filippova,
A. A. Neretin252

RULES FOR AUTHORS270

Доступ к журналу

Доступ ко всем номерам журнала –
постоянный, свободный и бесплатный.
Каждый номер содержится в едином файле PDF.

Open Access Policy

All issues of the International Journal of Advanced Studies:
Transport and Information Technologies are always open and free access.
Each entire issue is downloadable as a single PDF file.

<http://ijournal-as.com/>

Дата выхода в свет 30.06.2025. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 19,95.
Свободная цена. Заказ 152/025.