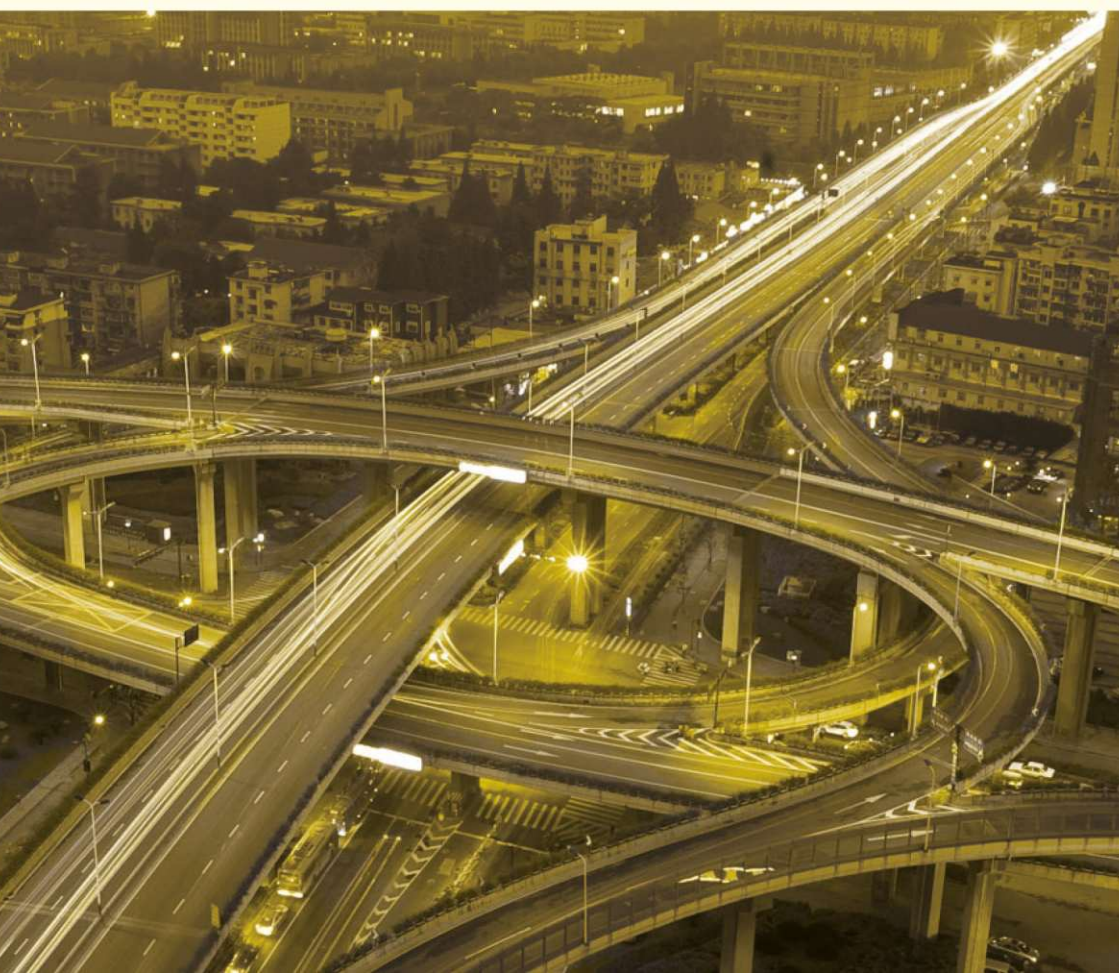


ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies
VOLUME 14, NUMBER 4, 2024



ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Том 14, № 4
2024

Vol. 14, No. 4
2024

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 14, № 4, 2024 / Vol. 14, No 4, 2024

Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр 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 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) Индексирование и реферирование: РИНЦ Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE ЭБС IPRbooks ЭБС Znanium ЭБС Лань 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	Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House 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. 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) Indexing and Abstracting: RSCI Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan' 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
--	---

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2024

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-2024-14-4-300

EDN: ХЛПВQ

УДК 656.078



Научные обзоры | Управление процессами перевозок

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ И ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

О.В. Москвичев, А.А. Грузд

Аннотация

Данная статья посвящена обзору научных исследований российских и зарубежных ученых в области взаимодействия грузовых железнодорожных станций и путей необщего пользования. Были выделены основные сферы взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования, а именно техническая, технологическая, правовая, экономическая и информационная. На основе проведенного анализа были систематизированы задачи, подзадачи, модели и методы, направленные на решение вопроса по оптимизации взаимодействия грузовых железнодорожных станций и путей необщего пользования. В ходе анализа научных трудов было выявлено, что все они представляют обширную научно-методическую базу, содержащую рекомендации по повышению эффективности взаимодействия грузовых станций и путей необщего пользования. Однако в связи с развитием цифровых технологий в работе железнодорожных станций возникает необходимость проработки вопроса, связанного с взаимодействием грузовых железнодорожных станций и путей необщего пользования в современных условиях.

Цель – проведение анализа теоретических исследований по проблеме взаимодействия железнодорожных грузовых станций и путей необщего пользования.

Методология. В статье использовался диахронический метод анализа литературы.

Результаты. На основе проведенного анализа были систематизированы задачи, подзадачи, модели и методы, направленные на решение вопроса по оптимизации взаимодействия грузовых железнодорожных станций и путей необщего пользования.

Область применения результатов. Полученные результаты целесообразно применять при разработке методов, которые направлены на повышение эффективности работы грузовых железнодорожных станций с путями необщего пользования.

Ключевые слова: грузовая железнодорожная станция; путь необщего пользования; цифровые технологии; роботизация; клиентоориентированность; режим взаимодействия

Для цитирования. Москвичев О.В., Грузд А.А. Анализ теоретических исследований по проблеме взаимодействия железнодорожных грузовых станций и путей необщего пользования // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 7-28. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-300

Scientific Reviews | Transportation Process Management

ANALYSIS OF THEORETICAL STUDIES ON THE PROBLEM OF INTERACTION BETWEEN RAILWAY FREIGHT STATIONS AND NON-PUBLIC TRACKS

O.V. Moskvichev, A.A. Gruzd

Abstract

This article is devoted to a review of scientific research by Russian and foreign scientists in the field of interaction between freight railway stations and non-public tracks. The main areas of interaction between freight stations and non-public tracks were identified, namely technical, technological, legal, economic and informational. Based on the analysis, the tasks, subtasks, models and methods aimed at solving the issue of optimizing the interaction of freight railway stations and non-public tracks were systematized. During the analysis of scientific papers, it was revealed that all of

them represent an extensive scientific and methodological base containing recommendations for improving the efficiency of interaction between freight stations and non-public tracks. However, due to the development of digital technologies in the operation of railway stations, it becomes necessary to study the issue related to the interaction of freight railway stations and non-public tracks in modern conditions.

Purpose. Conducting an analysis of theoretical research on the problem of interaction between railway freight stations and non-public tracks.

Methodology. The article uses a diachronic method of literature analysis.

Results. Based on the analysis, the tasks, subtasks, models and methods aimed at solving the issue of optimizing the interaction of freight railway stations and non-public tracks were systematized.

Practical implications. It is advisable to apply the results obtained in the development of methods aimed at improving the efficiency of freight railway stations with non-public tracks.

Keywords: freight railway station; non-public way; digital technologies; robotization; customer orientation; interaction mode

For citation. Moskvichev O.V., Gruzd A.A. Analysis of Theoretical Studies on the Problem of Interaction Between Railway Freight Stations and Non-Public Tracks. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 7-28. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-300

Согласно статистике, представленной СОЖТ (Союз операторов железнодорожного транспорта), оборот грузового вагона рабочего парка на путях необщего пользования (далее ПНП) по итогам 2023 г. увеличился по отношению к показателю аналогичного периода предыдущего года на 17,0 часа и составил 18,8 суток, (450,1 часа), рисунок 1 [22]. Увеличение величины оборота вагона в большей степени приходится на показатель нахождения вагона под грузовыми операциями, он увеличился на 4,9% (9,5 часа). Вторая причина увеличения оборота вагона – нахождение на технических станциях, этот показатель увеличился на 4,8 % (7,3 часа), по сравнению с 2022 годом.

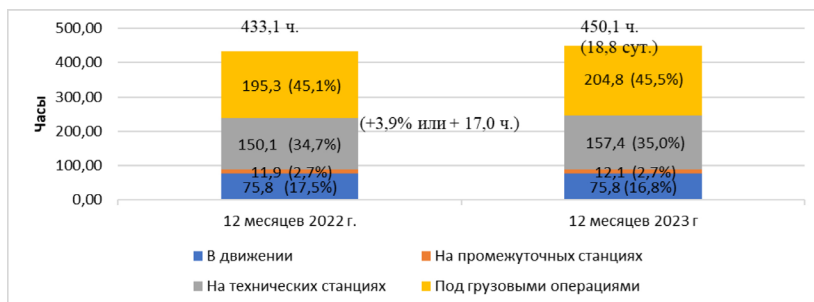


Рис. 1. Оборот вагона с разложением по элементам за 12 месяцев 2022 и 2023 года, в часах

По мнению ОАО «РЖД»: «Замедление оборота вагона связано с увеличением средней дальности перевозок, а также с простоями, не связанными с ответственностью ОАО «РЖД», в том числе при нахождении вагонов в ожидании погрузки, непосредственно под погрузкой и в ожидании выгрузки»[20]. Однако, по мнению грузоотправителей причина увеличения простоя вагонов возникает со стороны ОАО «РЖД», это связано с несвоевременной подачей и уборкой вагонов, задержкой подачи подвижного состава и отсутствием тягового подвижного состава.

Помимо этого, клиенты компании ОАО «РЖД» недовольны качеством услуг в направлении коммерческой деятельности. Клиенты отмечают сложность в процессе оформления документов, высокую стоимость услуг электронного сопровождения железнодорожных перевозок и недостаточную функциональность системы «ЭТРАН».

Таким образом, взаимодействие магистрального транспорта с путями необщего пользования (далее ПНП), представляет собой некую проблему в транспортной сети и требует решений, так как необходимо помнить, что от эффективности функционирования грузовых железнодорожных станций (далее ГС) и их клиентоориентированного взаимодействия с грузовладельцами зависит объем грузопотоков, что напрямую влияет на прибыль компании ОАО РЖД.

Цель данной работы является проведение анализа теоретических исследований по проблеме взаимодействия железнодорожных грузовых станций и путей необщего пользования.

Основа отечественной транспортной науки в части взаимодействия ГС и ПНП была заложена трудами ученых еще в 70-80-е годы прошлого столетия. Впервые теория о единой технологии взаимодействия промышленного транспорта и станций примыкания была рассмотрена академиком В. Н. Образцовым [13]. В его работах были впервые предложены такие технологические параметры транспортного обслуживания, как размер подач на подъездной путь и интервал между подачами. Дальнейшее развитие теории взаимодействия магистрального и промышленного транспорта продолжилось в трудах профессора Н. Р. Ющенко. Им были сформулированы условия согласованной работы станции примыкания, промышленного транспорта и производства [25]. Проблемами организации процессов работы на местах общего и необщего пользования занимались А.А. Смехов, Х.М. Лазарев и В.Ф. Григорюк, в их работах были представлены решения оптимизации грузовой работы, сопутствующих и предшествующих элементов грузовой работы [19].

В.М. Акулиничев в своих трудах рассматривал вопросы прогрессивной технологии работы станций примыкания во взаимодействии с промышленным транспортом. Автор [1] дал научное обоснование технологических операций единого технологического процесса и эффективности применения передовых методов организации и управления работой транспорта промышленных предприятий. Далее идеи согласованной работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта получили свое развитие в работах И.Б. Сотникова. Автор в своих трудах исследовал эксплуатационную надежность работы станций и привел методику расчета времени нахождения вагонов и потребного путевого развития станций при заданной мощности обслуживающих устройств [21]. Г.Ф. Ферапонтов изучал вопросы эксплуатации же-

лезнодорожных подъездных путей в области договорных взаимоотношений с ГС. Ученый на практических примерах рассматривал порядок применения положений Устава железных дорог СССР и Правил перевозок при решении вопроса об установлении норм оборота вагонов, интервалов и расписании подач [23].

Способы взаимодействия станции примыкания и ПНП многогранны и улучшение этого процесса можно рассмотреть с нескольких сторон, а именно: технической, технологической, информационной, правовой и экономической [17].

Технологическая сфера взаимодействия подразумевает комплексную систему эксплуатации магистрального и промышленного транспорта, например, обеспечение единой технологии работы, совмещение и взаимоувязка графиков работы магистрального и промышленного транспорта, а также непрерывный план-график работы транспортных узлов. К этой сфере можно отнести работу С.А. Афонина – «Рациональная технология диспетчерского управления транспортной системой промышленного предприятия» [2]. На основе анализа теоретических и практических исследований автор выявил неэффективность существующей системы диспетчерского управления. После чего, используя метод динамического согласования, была построена модель управления кольцевыми маршрутами, выполняющими перевозки массовых грузов на заданном полигоне. В своей работе, автор использовал методы, основанные на системном анализе, теории множеств, теории графов, вычислительной математике, дискретной математике и математическом программировании.

Группа авторов Е.М. Тишкин, С.А. Филиппченко, В.А. Макаров и А.Н. Феофилова в своей работе [18] обосновала очередность обслуживания грузовых фронтов, где в качестве основного критерия выбрали минимум вагоно-часов на подачу и обработку вагонов [18]. Д.Ю. Левин в своих трудах предлагал оптимизировать загрузку мест погрузки с помощью математического программи-

рования, используя элемент неопределенности. Такое решение автор [11] принял из-за хаотичного поступления вагонов на станцию и времени на их обслуживания. В качестве основного критерия автор выбрал – «минимум затрат на простой вагонов и погрузо-разгрузочных механизмов». Профессор Л.С. Крохин в своих трудах рассматривал вопросы по очередности обслуживания ПНП относительно времени нахождения заявки в ожидании обслуживания локомотива [10].

В своей работе В.А. Бойко и Ю.В. Гусев приводят метод оценки перерабатывающей способности грузовой станции, который позволит оценить загрузку технических устройств в различных эксплуатационных условиях [4]. Для оценки загрузки технических устройств авторы ввели коэффициент динамичности.

Н.В. Малышев и С.А. Бойков в своей работе «Модель приоритетов обслуживания подач вагонов» предложили модель, которая позволит определить оптимальные точки переключения работы крана между платформами. В качестве основного критерия авторы выбрали стоимость времени простоя подач вагонов под грузовыми операциями на погрузо-разгрузочном пути, минута-рубль. Представленная модель позволила не только сократить расходы на простой вагонов, но и повысить перерабатывающую способность терминала. Для разработки модели авторы использовали метод теории вероятности, метод массового обслуживания, метод метаматематической статистики и экспертных оценок [12].

Группа авторов Mark Lawley, Vijay Parmeshwaran, Jean-Philippe Richard, Ayten Turkcan, Malay Dalal и David Ramcharan в своем исследовании разработали пространственно–временную модель сетевого потока для планирования железнодорожных поставок сыпучих грузов от поставщиков до клиента. Основная цель, которую преследовали авторы заключается в максимальном удовлетворении спроса при минимизации времени ожидания погрузки и разгрузки сыпучих грузов. Модель использует разнообразную информацию, включая спрос клиентов, характеристики желез-

нодорожной сети, часы погрузки и разгрузки, а также пропускную способность путей и станций. Срок планирования и период планирования могут варьироваться для обеспечения решений как для долгосрочного планирования, так и для краткосрочных ежедневных операций [26].

Kwon O.K., Martland C.D., и Sussman J.M. в своем исследовании предложили способ по улучшению эффективности взаимодействия ГС и грузоотправителей. Их идея заключается в разработке динамической модели, которая, учитывая трафик производства промышленного предприятия составляет график подачи подвижного состава. В качестве подхода к решению авторы использовали метод генерации столбцов [29].

Информационная сфера взаимодействия обеспечивает скорость и своевременную передачу информации между магистральным и промышленным транспортом. В своей работе [3] А.В. Бауэр предложил для снижения уровня отказов грузоотправителей в приеме порожних грузовых вагонов оптимизировать процесс планирования порожнего вагонопотока, основанного на внедрении показателя «нежелательная подача следующим клиентам» в модель грузового вагона.

Хмелев А.С. в своей работе [24] рассматривал проблему разрыва потоков в информационной системе, которая возникает в логистической цепи между участниками перевозочного процесса. Автор выполнил анализ существующих подходов в области оптимизации транспортных процессов и выявил пробелы в области информационного взаимодействия между участниками перевозочного процесса. В результате Хмелев А.С. усовершенствовал информационное взаимодействие с помощью информационной системы поддержки принятия решений в рамках организации, управлении и контроле сырьевых поставок между всеми участниками перевозочного процесса [24].

К правовой сфере взаимодействия можно отнести решение юридических вопросов в области взаимодействия магистраль-

ного и промышленного вида транспорта. В своей работе [6] Е.И. Гарлицкий отметил, что «нормативные документы, регулирующие взаимоотношения станций и путей необщего пользования, недостаточно, полно охватывают весь спектр взаимоотношений и не всегда четко регламентируют вопросы организации их совместной работы и взаимной ответственности». Автор [6] разработал алгоритм выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов с учетом возможных штрафных выплат в системе взаимодействия станций примыкания и ПНП.

Экономическая сфера взаимодействия магистрального и промышленного транспорта предусматривает разработку единой системы планирования перевозок для рационального использования технических средств. К этой сфере можно отнести работу О.Ю. Портновой, она предложила методику, которая позволяет прогнозировать и планировать необходимое количество вагонов для промышленных предприятий [16].

Группа авторов Доценко Ю.В., Шеховцов А.И., Шеховцова Ю.А. в работе [8] предложили модель, которая позволяет выявить направления повышения эффективности взаимодействия ПНП и станций примыкания. В частности рационально использовать наличные ресурсы и найти лимитирующие факторы для последующего их исправления с целью сокращения времени нахождения вагонов на станции примыкания и ПНП [8].

Thomas Kirschstein в своей работе «Rail transportation planning in the chemical industry» предлагает составить график перевозки химикатов на железнодорожном транспорте таким образом, чтобы удовлетворить потребности клиентов и свести к минимуму общие затраты на логистику. Для решения проблемы автор предлагает индивидуальное эвристическое решение, так как стандартное решение задачи по планированию оказываются менее эффективными. В результате, идея автора позволила рационально управлять подвижным составом, тем самым сократить затраты на логистику [28].

Группа авторов Amar Kumar Narisetty, Jean-Philippe P. Richard, Deby Murphy, Gayle Minks и в Jim Fuller в работе [27] предложили оптимизационную модель, которая позволит рационально распределять разнородные порожние вагоны между рабочими парками станции. Представленная методика была опробована на железной дороге Union Pacific и привела к сокращению транспортных расходов, кроме того, представленная модель сократила рабочий персонал, что привело к увеличению рентабельности инвестиций на 35 процентов [27].

Техническая сфера взаимодействия включает в себя – согласование параметров технических средств взаимодействующих объектов и согласование пропускной и перерабатывающей способности взаимодействующих систем для наиболее эффективного использования технических устройств. Этой сфере взаимодействия большое внимание уделял ученый В.М. Акулиничев. Автор [1] занимался вопросом оптимальной технической оснащенности грузовых фронтов, основываясь на математических методах – метод теорий восстановления, массового обслуживания, вероятности и математической статистики. Применение этих методов позволило выявить резерв во всех технологических линиях промышленных станций, что привело к сокращению времени на операцию по погрузке/выгрузке.

В трудах П.С. Грунтова и В.П. Ярошевича рассматривалась методика расчета надежности и оптимальной мощности станционных комплексов [7]. Г.П. Гриневич изучал вопросы комплексной механизации и автоматизации погрузо-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте [7]. А.Ф. Бородин занимался вопросом влияния развития инфраструктуры на взаимодействие магистрального и промышленного транспорта [5].

В работе [15] Подорожкиной А.В. были рассмотрены вопросы повышения надежности работы ГС. Автор разработал математическую модель местного вагонопотока на ГС для анализа функционирования станционных подсистем. Проведя анализ,

автор установил, что величина коэффициента технологической устойчивости отдельных подсистем ГС напрямую связана с надежностью их функционирования. С помощью имитационного моделирования ГС автор получила значение коэффициентов устойчивости подсистем ГС, что позволило учитывать убытки из-за снижения уровня устойчивости функционирования ГС.

Профессор П.А. Козлов впервые создал имитационную модель ИСТРА, которая позволяет осуществлять технологическую экспертизу станционных объектов [9]. Окулов Н.Е. с помощью имитационного моделирования ИСТРА выявил элементы, которые оказывают влияние на простои в парках станции и на производственных линиях. По результатам проведенных исследований, автор предложил подходы по использованию имитационной и оптимизационной модели для совершенствования технологии работы и инфраструктуры станции [14].

Miloš Milenković, Nebojša Bojović и Dmitry Abramini предложили подход по совершенствованию процесса управления парком грузовых вагонов. Для расчета желаемого парка грузовых вагонов авторы разработали четырехэтапный подход. Этапы включают разработку следующих компонентов: разработка генератора случайного веса вагона, разработка оптимальной схемы загрузки вагона, перемещение порожних грузовых вагонов, оптимальный размер парка вагонов. Заключительный этап включает объединение всех четырех этапов в единый пакет, называемый Rail Freight Wagon Flock Optimizer (RFWFO) [30].

На основании проведенного анализа были систематизированы задачи, подзадачи, модели и методы, направленные на решения задачи по оптимизации взаимодействия ГС и ПНП, рисунок 2,3.

Из анализа научных трудов можно сделать вывод, что все они представляют достаточно обширную научно-методическую базу, содержащую рекомендации по повышению эффективности взаимодействия ГС с ПНП.

Задачи		Подзадачи	Модели и методы	Результаты
Техническая сфера взаимодействия	1. Прогнозирование необходимого технического оснащения.	1.1. Оптимизация путевого развития грузовой станции.	Метод синтеза, теория графов, экспериментально-статистический метод.	Разработан метод размещения подвижного состава с учетом существующего путевого оснащения грузовой станции и его дальнейшего развития.
		1.2. Техническое оснащение грузовой станции.	Теория массового обслуживания и системного анализа, метод прогнозирования, имитационное моделирование.	Разработана имитационная модель по определению рационального технического оснащения грузовой станции в зависимости от текущего поездо- и вагонопотока.
	2. Надежность устройств инфраструктуры железнодорожного транспорта.	2.1. Надежность устройств на грузовой станции	Метод системного анализа, имитационное и аналитическое моделирование.	Разработана методика по повышению устойчивости функционирования «модулей» грузовой станции по обработке местного вагонопотока.
			Имитационное моделирование, аналитическое моделирование, статистический метод, метод технико-экономической оценки принимаемых решений.	Разработана аналитическая модель позволяющая получить значение коэффициента технологической устойчивости устройств на грузовой станции.
		2.2. Надежность устройств на промышленных станциях.	Теория вероятности, теория графов, Имитационное моделирование ИСТРА, оптимизационное моделирование.	Разработана имитационная модель по определению реестра путевых устройств и их срока службы на промышленных станциях.
			Метод теории массового обслуживания, метод теории вероятности, математическая статистика.	Разработана математическая модель по выявлению резерва устройств на всех технологических линиях промышленных станций.
Экономическая сфера взаимодействия	3. Сокращение транспортных расходов.	3.1. Эффективное использование подвижного состава.	Метод теории вероятности, метод математического моделирования	Разработана методика по рациональному распределению разнородных порожних вагонов между парками станции.
			Теория вероятности, математическая статистика. Имитационное моделирование и математическое программирование.	Разработана математическая модель по определению оптимального объема подвижного состава для подачи на пути общего пользования.
		3.2. Эффективное использование тягового подвижного состава.	Теория множеств, теории графов, дискретная и вычислительная математика, метод динамического согласования. Математическое программирование и моделирование.	Разработана математическая модель позволяющая использовать подвижной состав, учитывая динамику производства, потребления, запасов и наличие грузов в пути.

Рис. 2. Задачи, подзадачи, методы и результаты исследований на тему взаимодействия путей общего пользования и грузовых станций (часть 1).

Задачи	Подзадачи	Модели и методы	Результаты
Технологическая сфера взаимодействия	4. Выбор рациональной очередности обслуживания.	Теория агрегативных систем, метод экспертной оценки. Математическое моделирование.	Разработан алгоритм выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов с учетом возможных штрафных выплат.
		Метод комбинаторного анализа, математическое моделирование, теория графов. Метод разрешающих множеств.	Разработана алгоритм выбора оптимальной очередности обслуживания грузовых фронтов относительно времени нахождения заявки в «ожидании обслуживания локомотива».
		Метод Брандона, метод научного анализа и синтеза, экспериментально-статистический метод.	Разработаны аналитические модели позволяющие определить оптимальное значение интервалов между подачами вагонов на грузовые фронты погрузки-выгрузки.
	4.2. Определить оптимальное значение интервалов между подачами вагонов на грузовые фронты погрузки-выгрузки.		
	4.3. Выбор рациональной очередности обслуживания путей необщего пользования	Теория множеств, теории графов, дискретная и вычислительная математика, метод динамического согласования, математическое программирование и моделирование.	Разработана математическая модель, которая позволяет определить подачу подвижного состава опираясь на производство, потребление, запасы и наличие грузов в пути.
Технологическая сфера взаимодействия	5. Оптимизация погрузо-выгрузочных работ с вагонами.	Математическое моделирование.	Разработана аналитическая модель по определению максимального уровня загрузки грузовых фронтов.
	5.2. Выбор рациональной организации подвода подвижного состава на промышленные станции.	Теория вероятности, математическая статистика, имитационное моделирование и математическое программирование.	Разработана методика по определению оптимального объема подвижного состава для промышленных станций.
Информационная сфера взаимодействия	6. Оптимизация информационного взаимодействия между участниками перевозочного процесса	Метод экспертных оценок, метод оценки эффективности IT-технологий.	Реализовано единое информационное пространство для всех участников перевозочного процесса.
	6.2. Оптимизация процесса планирования порожнего вагоноттока.	Экономико-математический метод, метод матричного моделирования, метод семиотического анализа, графический метод.	Предложено использовать показатель «Нежелательная подача следующим клиентом» в модели грузового вагона.
	6.3. Обеспечение бесперебойного потока информации между участниками перевозочного процесса.	Теория вероятности, теория построения цифровых систем управления, сравнительный анализ эксплуатационных показателей.	Усовершенствовано информационное взаимодействие в системе поддержки принятия решений.

Рис. 3. Задачи, подзадачи, методы и результаты исследований на тему взаимодействия путей необщего пользования и грузовых станций (часть 2).

Однако, в новых условиях цифровой трансформации деятельности ОАО «РЖД», в частности внедрения цифровых технологий в производственные процессы ГС, неизбежным становится изменение требований к организации процессов планирования, управления исполнением перевозочного процесса, обмена вагонопотоками между станцией и примыкающими ПНП. При этом обусловленная необходимостью внедрения цифровых технологий в эксплуатационную и грузовую работу станций требует разработки научно обоснованного методического подхода, позволяющего оценить влияние цифровизации производственных процессов на показатели работы железнодорожной станции и ПНП для принятия решений по внедрению и/или интеграции наиболее целесообразных цифровых технико-технологических решений в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов, с учётом наиболее эффективного информационного и технологического их взаимодействия.

Несмотря на то, что компания ОАО «РЖД» активно внедряет цифровые технологии в работу ГС, цифровые сервисы остаются не всегда востребованными клиентами (грузоотправителями и грузополучателями) или предлагаемые цифровые технико-технологические решения не учитывают единые технологические процессы работы станции и примыкающих ПНП. Например, часто информация об исполнении планов сменной, текущей работы попадает в автоматизированные системы сторон по факту завершения приемосдаточных операций, что приводит к инерции систем планирования, ввиду несвоевременности поступления данных. Итогом являются непроизводительные простои вагонов и тягового подвижного состава, «перезаказ» парка вагонов, снижение перерабатывающей способности станции и пр. Согласованные проекты развития инфраструктуры станции и примыкающих ПНП, при плановом росте объёмов производства предприятий, имеют риски сниженного эффекта при часто действующей между сторонами технологии телефонного управления сменной и текущей грузовой, эксплуатационной работой.

Таким образом, актуальной проблематикой исследования является повышение эффективности взаимодействия ГС с ПНП в условиях цифровой трансформации производственных процессов. Принципиальные изменения производственных процессов, технико-технологической базы, системы принятия управленческих решений и др. требуют по-новому рассматривать процесс информационного и технологического взаимодействия ГС с ПНП.

Список литературы

1. Акулиничев В. М. Организация перевозок на промышленном транспорте. Москва, 1983. 247 с.
2. Афонин С. А. Рациональная технология диспетчерского управления транспортной системой промышленного предприятия специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технологических наук. 2011. 22 с.
3. Бауэр А. В. Разработка единой информационной системы управления перевозочным процессом при взаимодействии видов транспорта // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. 2021. С. 48-57.
4. Бойко В. А. Метод оценки перерабатывающей способности технических устройств грузовой станции с учетом динамики ее работы / В. А. Бойко, Ю. В. Гусев // Вестник Приазовского государственного технического университета, 2007. № 19. С. 261-266.
5. Бородин А. Ф. Единые технологические процессы: поиск новых подходов / А. Ф. Бородин, В. В. Панин // Железнодорожный транспорт. 2007. Т. 8. С. 36-41.
6. Гарлицкий Е. И. Совершенствование технологии обслуживания железнодорожных путей необщего пользования : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2014. № 12030204039. С. 149.
7. Грунтов П. С. Эксплуатационная надежность станций. Москва, 1986. 247 с.

8. Доценко Ю. В. Разработка моделей взаимодействия станций при-
мыкания и железнодорожных путей необщего пользования на ос-
нове сетей Петри / Ю. В. Доценко, А. И. Шеховцов, Ю. А. Шехов-
цова // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. 2023. Т. 71. С. 4-11.
9. Козлов П. А. Автоматизированный программный комплекс расче-
та, регистрации и отображения работы сортировочной станции /
П. А. Козлов, А. Е. Александров // Железнодорожный транспорт.
2003. Т. 9. С. 65-67.
10. Крохин Л. С. Управление работой грузовых железнодорожных
станций (теория, методы автоматизации, опыт внедрения): дисс.
... докт. тех. наук: 05.22.08. Москва, 1997. 325 с.
11. Левин Д. Ю. Организация местной работы: монография. Москва,
2013. 610 с.
12. Малышев Н. В. Модель приоритетов обслуживания подач ваго-
нов / Н. В. Малышев, С. А. Бойков // Проблематика транспортных
систем. 2022. Т. 19. № 4. С. 839-846. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2022-4-839-846>
13. Образцов В.Н. Основы комплексной теории транспорта /
В. Н. Образцов, Ф. И. Шаульский. Москва, 1948. 492 с.
14. Окулов Н.Е. Методы и способы совершенствования взаимо-
действия производства и транспорта: специальность 05.22.08
«Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических наук. 2014. 140 с.
15. Подорожкина А. В. Разработка методов оценки и повышения
устойчивости функционирования технологической линии мест-
ного вагонопотока на грузовой станции : специальность 05.22.08
«Управление процессами перевозок»: диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических. 2012. 289 с.
16. Портнова О. Ю. Повышение эффективности организации обе-
спечения вагонами промышленных предприятий : специальность
05.02.22 «Организация производства (по отраслям)»: диссертаци-
я на соискание ученой степени кандидата технических наук.
2015. 156 с.

17. Правдин Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта: примеры и расчеты / Н. В. Правдин, В. А. Негрей, В. А. Подкопаев. Москва, 1989. 208 с.
18. Расчет очередности обслуживания грузовых фронтов на станции / Е. М. Тишкин, С. А. Филиппченко, А. В. Макаров, А. Н. Феофилов // Вестник ВНИИЖТ. 1999. № 5. С. 29-31.
19. Смехов А. А. Организация работы на грузовой станции и примыкающих к ней подъездных путях / А. А. Смехов, Х. М. Лазарев. Москва, 1976. 51 с.
20. СМИ об «РЖД» [Электронный ресурс]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=214115> (дата обращения: 26.02.2024)
21. Сотников И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. Москва, 1976. 268 с.
22. Союз операторов железнодорожного транспорта. Обзор работы грузового железнодорожного транспорта за 12 месяцев 2023 года / Союз операторов железнодорожного транспорта. 2023. <https://www.railsovet.ru/upload/iblock/d0c/9b2tx6i2zwcbb4u7x8lsvwuojqsb6qh1rd.pdf>
23. Ферапонтов Г. В. Эксплуатация железнодорожных подъездных путей. Москва, 1972. 296 с.
24. Хмелев А. С. Совершенствование информационного взаимодействия в системах поддержки принятия решений и управления перевозочным процессом сырьевых поставок: специальность 29.40.00: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2022. 193 с.
25. Ющенко Н. Р. Выбор оптимального варианта организации маневровой работы грузовых станций на основе методов линейного программирования / Н. Р. Ющенко, М. Н. Бакалов // Труды ДИИТ. 1966. № 61. С. 215.
26. A time-space scheduling model for optimizing recurring bulk railcar deliveries / M. Lawley, V. Richard, J. P. Turkcan [и др.]. // Transportation Research Part B: Methodological. 2008. Vol. 42, Issue 5. P. 438-454. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2007.10.001>

27. An optimization model for empty freight car assignment at Union Pacific Railroad / M. G., F. J., N. A.K. [и др.] // *Interfaces*. 2008. Vol. 38, No. 2. P. 89–102. <https://doi.org/10.1287/inte.1070.0330>
28. Kirschstein T. Rail transportation planning in the chemical industry // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018. Vol. 112. P. 142-160. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.001>
29. Kwon O. K. Routing and scheduling temporal and heterogeneous freight car traffic on rail networks / O. K. Kwon, C. D. Maryland, J. M. Sussman // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 1998. Vol. 34. № 2. P. 101-115. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(97\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(97)00022-7)
30. Milenković M. Railway freight wagon fleet size optimization: A real-world application / M. Milenković, N. Bojović, D. Abramini // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2023. Vol. 26. P. 373. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100373>

References

1. Akulinichev V. M. *Organization of transportations on industrial transport*. Moscow, 1983, 247 p.
2. Afonin S. A. Rational technology of dispatch control of the transport system of the industrial enterprise specialty 05.22.08 “Management of transportation processes”: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technological Sciences, 2011, 22 p.
3. Bauer A. V. Development of a unified information system for managing the transportation process in interaction of types of transport. *Collection of scientific works of DONIJT*, 2021, pp. 48-57.
4. Boyko V. A. Method of an estimation of the processing ability of the freight station technical devices taking into account the dynamics of its work / V. A. Boyko, Yu. V. Gusev. *Vestnik of the Priazov State Technical University*, 2007, no. 19, pp. 261-266.
5. Borodin A. F. Unified technological processes: search for new approaches / A. F. Borodin, V. V. Panin. *Railroad transport*, 2007, vol. 8, pp. 36-41.
6. Garlitskiy E. I. Improvement of the service technology of the unused railway tracks: specialty 05.22.08 “Transportation process manage-

- ment”: dissertation for the degree of candidate of technical sciences, 2014, no. 12030204039, p. 149.
7. Gruntov P. S. *Operational reliability of stations*. Moscow, 1986, 247 p.
 8. Dotsenko, Yu. V. Development of the models of interaction between the stations and the unused railroad tracks on the basis of Petri nets / Yu. V. Dotsenko, A. I. Shekhovtsov, Yu. A. Shekhovtsova. *Collection of scientific works of DONIZhT*, 2023, vol. 71, pp. 4-11.
 9. Kozlov P. A. Automated program complex for calculation, registration and display of the marshalling station operation / P. A. Kozlov, A. E. Aleksandrov. *Railroad transport*, 2003, vol. 9, pp. 65-67.
 10. Krokhin L. S. *Freight railroad stations operation management (theory, automation methods, implementation experience)*. Moscow, 1997, 325 p.
 11. Levin D. Yu. Organization of local work: a monograph. Moscow, 2013, 610 p.
 12. Malyshev N. V. Model of the priorities of the wagon feed service / N. V. Malyshev, S. A. Boykov. *Problematics of transport systems*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 839-846. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2022-4-839-846>
 13. Obratsov V. N. Fundamentals of the complex theory of transportation / V. N. Obratsov, F. I. Shaulskiy. Moscow, 1948, 492 p.
 14. Okulov N. E. *Methods and ways to improve the interaction of production and transport*: specialty 05.22.08 “Management of transportation processes”: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2014, 140 p.
 15. Podorozhkina A. V. *Development of methods for evaluating and improving the stability of the local wagon flow technological line at the freight station*: specialty 05.22.08 “Management of transportation processes”: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2012, 289 p.
 16. Portnova O. Yu. *Increasing the efficiency of the organization of the provision of wagons for industrial enterprises*: specialty 05.02.22 “Production organization (by branches)”: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2015, 156 p.

17. Pravdin N. B. *Interaction of different types of transportation: examples and calculations* / N. V. Pravdin, V. A. Negrey, V. A. Podkopaev. Moscow, 1989, 208 p.
18. Calculation of Freight Fronts Service Queue at a Station / E. M. Tishkin, S. A. Filipchenko, A. V. Makarov, A. N. Feofilov. *Vestnik of VNIIZhT*, 1999, no. 5, pp. 29-31.
19. Smekhov A. A. *Organization of work at a freight station and adjoining access roads* / A. A. Smekhov, H. M. Lazarev. Moscow, 1976, 51 p.
20. Mass media about “Russian Railways”. <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=214115>
21. Sotnikov I.B. *Interaction of stations and sections of railroads*. Moscow, 1976, 268 p.
22. Union of Railway Transport Operators. Review of freight railroad transport for 12 months of 2023 / Union of Railway Transport Operators. 2023. <https://www.railsovet.ru/upload/iblock/d0c/9b2tx6i2zwc-b4u7x8lsvwuojqsg6qh1rd.pdf>
23. Ferapontov G. V. *Exploitation of railroad access roads*. Moscow, 1972, 296 p.
24. Khmelev A. S. *Improvement of information interaction in systems of decision support and management of transportation process of raw material supplies*: specialty 29.40.00: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2022. 193 c.
25. Yushchenko N. R. Selection of the optimal variant of the shunting operation organization of the freight stations on the basis of the linear programming methods / N. R. Yushchenko, M. N. Bakalov. *Proc. of DIIT*, 1966, no. 61, p. 215.
26. A time-space scheduling model for optimizing recurring bulk railcar deliveries / M. Lawley, V. Richard, J. P. Turkcan [et al.]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2008, vol. 42, issue 5, pp. 438-454. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2007.10.001>
27. An optimization model for empty freight car assignment at Union Pacific Railroad / M. G., F. J., N. A.K. [et al.]. *Interfaces*, 2008, vol. 38, no. 2, pp. 89–102. <https://doi.org/10.1287/inte.1070.0330>

28. Kirschstein T. Rail transportation planning in the chemical industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2018, vol. 112, pp. 142-160. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.001>
29. Kwon O. K. Routing and scheduling temporal and heterogeneous freight car traffic on rail networks / O. K. Kwon, C. D. Maryland, J. M. Sussman. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 1998. vol. 34, no. 2, pp. 101-115. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(97\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(97)00022-7)
30. Milenković M. Railway freight wagon fleet size optimization: A real-world application / M. Milenković, N. Bojović, D. Abramini. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2023, vol. 26, p. 373. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100373>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Москвичев Олег Валерьевич, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», доктор технических наук
Самарский государственный университет путей сообщения
ул. Свободы, 2В, г. Самара, Самарская область, 443066,
Российская Федерация,
moskvichev063@yandex.ru

Грузд Анжелика Андреевна, преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой»
Самарский государственный университет путей сообщения
ул. Свободы, 2В, г. Самара, Самарская область, 443066,
Российская Федерация,
a.hishova@samgups.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Moskvichev, Head of the Department of Operational Work Management, Doctor of Engineering Sciences
Samara State Transport University

2V, Svoboda Str., Samara, Samara Region, 443066, Russian Federation

moskvichev063@yandex.ru

Angelika A. Gruzd, Lecturer at the Department of Operational Work Management

Samara State Transport University

2V, Svoboda Str., Samara, Samara Region, 443066, Russian Federation

a.hishova@samgups.ru

Поступила 09.07.2024

После рецензирования 10.11.2024

Принята 25.11.2024

Received 09.07.2024

Revised 10.11.2024

Accepted 25.11.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-308

EDN: XIFNRS

УДК 004.056



Научная статья | Управление процессами перевозок

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА

*О.В. Князькина, Р.М. Хамитов,
О.П. Черникова, Ю.А. Златицкая*

Аннотация

Стремительные темпы научно-технического прогресса в отношении информатизации и цифровизации общества влекут за собой риск возрастания киберугроз, которые представляют серьезную проблему для организаций, поскольку темпы развития цифровых и информационных технологий существенно опережают темпы развития инструментов для их защиты. В статье описывается актуальность вопросов кибербезопасности в сфере транспорта, приводится понятийный аппарат кибербезопасности и основные типы кибератак. Изучена статистика киберугроз на транспорте в 2023 году по сравнению с 2022 годом. Рассмотрена киберсреда и основные элементы ее защиты. Разработана процедура управления кибербезопасностью в транспортной организации, в основе которой заложен процессный подход к управлению кибербезопасностью, включающая в себя блок по управлению аудитом текущего состояния системы защиты в организации и блок с последовательностью действий в случае наступления кибератаки. Предложенная процедура управления кибербезопасностью позволяет не только предотвращать потенциальные кибератаки, но производить аудит текущего состояния киберзащиты и формировать направления по ее совершенствованию с учетом изменяющихся угроз и динамично развивающихся технологий.

Цель – изучение вопросов управления кибербезопасностью в транспортной организации в условиях возрастания рисков киберугроз.

Метод и методология проведения работы. В статье использовались методы теории систем, системного анализа и синтеза, аналитические и статистические методы.

Результаты. Изучена статистика киберугроз в сфере транспорта. Предложена процедура управления кибербезопасностью в транспортной организации, позволяющая управлять оценкой текущего состояния системы защиты в организации и регламентирующая порядок действий в случае наступления кибератаки.

Область применения результатов. Полученные результаты исследования могут быть востребованы в практике управления вопросами кибербезопасности в транспортной организации.

Ключевые слова: сфера транспорта; кибербезопасность; кибератака; цифровизация; информатизация процессов; киберсреда

Для цитирования. Князькина О.В., Хамитов Р.М., Черникова О.П., Златицкая Ю.А. Кибербезопасность в сфере транспорта // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 29-45. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-308

Original article | Transportation Process Management

CYBER SECURITY IN TRANSPORTATION

*O.V. Knyazkina, R.M. Khamitov,
O.P. Chernikova, Yu.A. Zlatitskaya*

Abstract

The fast pace of scientific and technological progress in terms of informatisation and digitalisation of society entails the risk of increasing cyber threats, which pose a serious problem for organisations, as the pace of development of digital and information technologies significantly outstrips the pace of development of tools to protect them. The article describes the relevance of cyber security issues in the transport sector, provides a conceptual framework of cyber security and the main types of cyber attacks. The statistics of cyber threats in transport in 2023 compared to 2022 is studied. The cyber environment and the main elements of its defence are considered. A procedure for managing cyber security in a transport organisation has been developed, which is based on a process approach to

cyber security management, including a block for managing the audit of the current state of the defence system in the organisation and a block with a sequence of actions in the event of a cyber attack. The proposed cyber security management procedure allows not only to prevent potential cyber attacks, but also to audit the current state of cyber defence and form directions for its improvement, taking into account changing threats and dynamically developing technologies.

Purpose. To study the issues of cybersecurity management in a transport organization in conditions of increasing risks of cyber threats.

Methodology. The article uses methods of systems theory, system analysis and synthesis, analytical and statistical methods.

Results. The statistics of cyber threats in the transport sector is studied. A procedure for managing cyber security in a transport organisation is proposed, which makes it possible to manage the assessment of the current state of the organisation's protection system and regulates the procedure for actions in the event of a cyber attack.

Practical implications. The obtained research results may be in demand in the practice of cyber security management in a transport organisation.

Keywords: transport; cyber security; cyberattack; digitalization; informatization of processes; cyber environment

For citation. Knyazkina O.V., Khamitov R.M., Chernikova O.P., Zlatitskaya Yu.A. Cyber Security in Transportation. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 29-45. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-308

Введение

Транспорт представляет собой жизненно важную отрасль экономики, в которой задействованы различные организации: компании, работающие в сфере логистики, предприятия городского транспорта, перевозчики, нацеленные как на перевозку пассажиров, так и грузов силами автомобильного, воздушного, водного, авиационного, железнодорожного транспорта и прочие. За прошедшее десятилетие сфера транспорта претерпела существенные

изменения, активно идет информатизация и цифровизация транспортных процессов, отмечается быстрое развитие программных продуктов и техники, применяются инструменты искусственного интеллекта и комплексы для автоматизированного управления технологическими и техническими процессами. Внедрение информационных технологий в сфере транспорта в первую очередь ориентировано на повышение эффективности процессов за счет повышения результативности организации и управления транспортными и логистическими процессами, повышения рентабельности перевозок, роста фондовооруженности труда, снижения себестоимости транспортных услуг, повышение уровня безопасности и т.д. По мере того как транспортная отрасль становится все более цифровой возрастает риск киберугроз [2; 11-15].

Сфера транспорта выполняет важные функции в масштабах государства, поскольку выступает в качестве связующего звена как между регионами страны, так и между всеми сферами экономики, следовательно, предприятия транспортной отрасли являются объектом повышенного внимания и могут быть подвержены кибератакам, то есть вопрос актуальности кибербезопасности в сфере транспорта не вызывает сомнений.

Понятийный аппарат

Кибербезопасность – свойства различных программно-управляемых систем автоматического управления сохранять способность к безопасному и эффективному выполнению возложенных на них функциональных задач в условиях целенаправленных, умышленных, несанкционированно-деструктивных воздействий различной физической природы [7].

В сложившейся ситуации перед предприятиями транспортной сферы возникает задача по формированию мероприятий, направленных на достижение и непрерывное совершенствование кибербезопасности, нацеленной на обеспечение способности информационно-цифровой системы предприятия к функционированию

в условиях кибератак различной природы. Основные типы кибератак приведены на рисунке 1 [3; 6; 7].

Кибершпионаж	Получение секретной или конфиденциальной информации без разрешения владельцев информации
Кибермошенничество	Взлом системы с целью причинения материального или иного ущерба путем получения информации
Киберхалатность	Кибератаки из-за человеческой непреднамеренной ошибки
Киберсаботаж	Снижение пропускной способности и скорости перевозок вплоть до полной остановки движения транспорта
Кибераудит	Разработка сценариев кибератак, дружественный тест на проникновение, поиск киберуязвимостей
Кибердиверсии	Преднамеренное создание опасных маршрутов следования

Рис. 1. Основные типы кибератак

Статистика кибератак в сфере транспорта

По данным Positive Technologies [5], в 2023 г. по сравнению с 2022 г. количество успешных кибератак в сфере транспорта в мировом масштабе увеличилось на 36% что обусловлено общим ростом числа кибератак. Наиболее популярными направлениями кибератак в 2023 г. (около 87%) являются компьютеры, серверы и сетевое оборудование, порядка 50% кибератак направлено на веб-ресурсы компаний, 20% атак нацелено на людей в основном путем рассылки фишинговых писем и лишь 4% кибератак направлено на прочие объекты (рис.2).

Кибератаки в сфере транспорта могут привести к сбоям в бизнес-процессах и задержкам в оказании транспортных услуг. Так в результате кибератак может быть нарушена работа системы онлайн-бронирования, от кибератак могут пострадать внутренние операции транспортной организации, что приведет к задержкам в доставке грузов и увеличению эксплуатационных расходов. Также, воздействию кибератак могут быть подвержены системы обеспечения безопасности пассажиров, что создаст угрозу для клиентов и работников сферы

транспорта. Иногда кибератаки нацелены на вымогательство денег у организации путем угрозы проведения кибератаки.

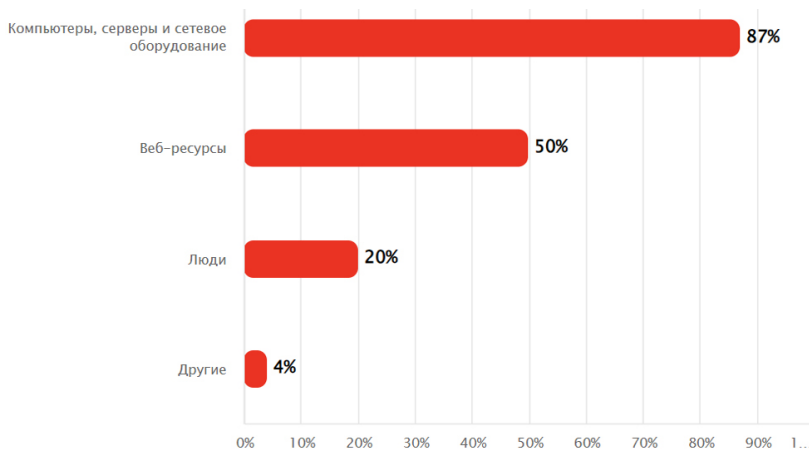


Рис. 2. Структура кибератак [5]

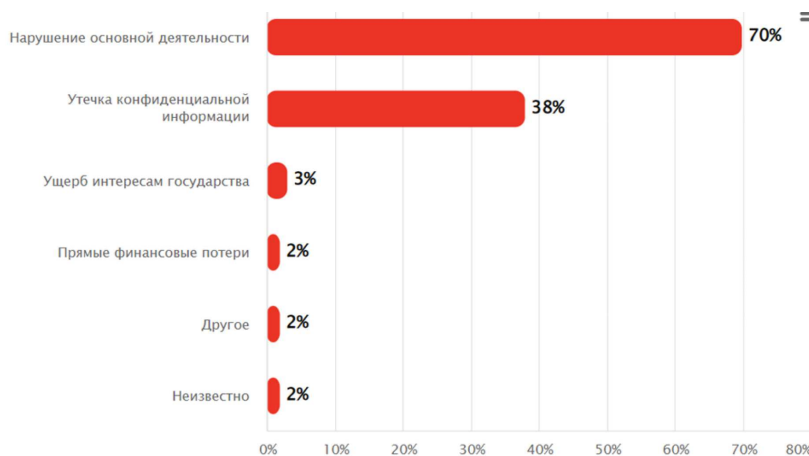


Рис. 3. Последствия кибератак для организаций в сфере транспорта [5]

В 2023 г. примерно в 70% транспортных компаний в следствие кибератак отмечалось нарушение основной деятельности:

наблюдались сбои в предоставлении сервисов клиентам, потеря доступа к инфраструктуре или данным внутри организаций, нарушение внутренних бизнес-процессов. У 38% организаций наблюдалась утечка конфиденциальной информации, а в результате 3% кибератак был нанесен ущерб интересам государства (рис. 3).

Постановка задачи

Кибербезопасность представляет серьезную проблему для организаций в сфере транспорта, поскольку темпы развития цифровых и информационных технологий существенно опережают темпы развития инструментов для их защиты. Если рассматривать транспортную сферу с позиции системного подхода, то транспортные организации по сути, представляют собой открытые системы, оказывающие транспортные услуги. Поскольку транспортные организации функционируют в условиях конкуренции, то особое значение приобретают показатели рентабельности, прибыльности транспортного предприятия и привлекательности для клиентов, на что оказывают непосредственное влияние скорость перевозки, логистика и параметры формирования маршрутов доставки, оптимизация использования транспортных средств, активность внедрения цифровых и информационных технологий. В этой связи возникает задача управления обеспечением защитой киберсреды транспортной организации, от угроз, связанных с цифровыми технологиями.

Киберсреда и основные элементы ее защиты

Киберсреда транспортных организаций представляет собой систему информационно-коммуникационных технологий и цифровых ресурсов организации, которая возникает в результате взаимодействия потребителей транспортных услуг (грузоотправителей, грузополучателей и пассажиров), персонала транспортных организаций, программного обеспечения, комплексов автоматизированного управления, цифровой среды, инструментов искусственного интеллекта и интернет-технологий. Основные элемен-

ты защиты киберсреды транспортной организации приведены на рисунке 4 [1; 9].



Рис. 4. Основные элементы защиты киберсреды транспортной организации

Учитывая, что в будущем кибератаки станут одним из основных бизнес-рисков в транспортной сфере, то к управлению кибербезопасностью целесообразно подходить с позиции процессного подхода с акцентом на превентивную направленность. Рассмотрим процедуру управления кибербезопасностью транспортной организации, в основе которой лежит работа в двух направлениях: порядок действия в случае возникновения кибератак и непрерывное совершенствование действующей киберзащиты (рис. 5).



Рис. 5. Процедура управления кибербезопасностью в транспортной организации

Заключение

Вопрос кибербезопасности в транспортной отрасли представляет собой актуальную и значимую проблему, требующую серьезного внимания и системного подхода. Развитие процессов цифровизации и информатизации в данной отрасли сопровожда-

ется увеличением киберугроз, что может привести к серьезным последствиям, таким как нарушение бизнес-процессов, утечка конфиденциальной информации и угрозы для безопасности пассажиров. Изучение статистики кибератак в сфере транспорта позволяет определить основные направления угроз и их потенциальные последствия для организаций.

Особое внимание следует уделить разработке процедур управления кибербезопасностью, которые помогут не только предотвращать атаки, но и проводить аудит текущего состояния киберзащиты и формировать направления для ее совершенствования. Ключевую роль в обеспечении безопасности информационных систем транспортной организации играют элементы защиты киберсреды, такие как сегментация сети, программное обеспечение для защиты конечных узлов, регулярные исправления и обновления программного обеспечения, резервное копирование данных, обучение по вопросам кибербезопасности, глубокая защита и тестирование безопасности.

Процессный подход к управлению кибербезопасностью в транспортной отрасли предполагает не только реагирование на потенциальные кибератаки, но и активное усовершенствование системы защиты с учетом изменяющихся угроз и технологий. Важными компонентами такого подхода являются обучение сотрудников, регулярное тестирование безопасности и постоянное обновление систем защиты. Таким образом, внедрение эффективных мер по обеспечению кибербезопасности в транспортной отрасли является необходимым шагом к минимизации рисков и обеспечению бесперебойного функционирования транспортных организаций.

Различные отрасли народного хозяйства страны, такие как металлургия и машиностроение, аграрная промышленность и животноводство, водо- и энергоснабжение, телекоммуникации и прочие для обеспечения своего функционирования напрямую зависят от транспортной сферы. Значительный сбой в транспортной отрасли, предположительно, может привести к беспрецедентно-

му ущербу. В этой связи предложенная процедура управления кибербезопасностью в транспортной организации, в основе которой заложен процессный подход к управлению кибербезопасностью, позволяет не только предотвращать кибератаки, но производить аудит текущего состояния киберзащиты и формировать направления по совершенствованию киберзащиты.

Список литературы

1. Аввакумова А.А. Обеспечение информационной безопасности на транспорте / А.А. Аввакумова, А.А. Трефилова // Аспект. URL: <https://na-journal.ru/8-2023-informacionnye-tehnologii/6196-obespechenie-informacionnoi-bezopasnosti-na-transporte> (дата обращения: 22.04.2024).
2. Васильев Е. А. Кибербезопасность в интеллектуальных транспортных системах / Е. А. Васильев, О. В. Князькина // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых–2023: сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции, 9–10 ноября 2023 г.: в 4-х т. / отв. ред. Горохов А. А. Курск, 2023. Т. 3. С. 45–48.
3. Журавлева Н.А. Проблемы экономической безопасности транспортных систем в условиях глобальных киберугроз / Н.А. Журавлева, А.Б. Никитин // Экономические науки. 2018. № 11 (168). С. 20-25.
4. Исмагилов И. Р. Моделирование угроз безопасности при защите объектов критически важной информационной инфраструктуры / И. Р. Исмагилов, Р. И. Ахметшина, Э. А. Гильманова // Экономика и социум. 2022. № 2-2(93). С. 645-648.
5. Киберугрозы в транспортной отрасли // Positive Technologies. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cyber-threats-in-the-transport-sector-2023/> (дата обращения: 22.04.2024).
6. Киселева Е.М. Железная дорога как объект // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19179> (дата обращения: 22.04.2024).

7. Макаров Б.А. Актуальность кибербезопасности на железнодорожном транспорте // *Техника железных дорог*. 2015. №3 (31). С. 19-24
8. Натальсон А. В. Оценка риска нарушения информационной безопасности в банковской сфере // *Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы : национальная (с международным участием) научно-практическая конференция, Казань, 19–20 мая 2022 года*. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. С. 113-116.
9. Основные проблемы кибербезопасности в транспортном секторе // *tmc3: сайт*. URL: <https://www.tmc3.co.uk/insights/cyber-security-challenges-in-the-transport-sector> (дата обращения 22.04.2024).
10. Хамитов Р. М. Использование искусственного интеллекта в безопасности на транспорте / Р. М. Хамитов, О. В. Князькина // *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 16–17 мая 2023 года*. Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2023. С. 3-6.
11. Al Ali, N. A. R. Cyber security in marine transport: Opportunities and legal challenges / N. A. R. Al Ali, A. A. Chebotareva, V. E. Chebotarev // *Pomorstvo*. 2021. Vol. 35, No. 2. P. 248-255. <https://doi.org/10.31217/p.35.2.7>
12. Development of a decision support system based on expert evaluation for the situation center of transport cybersecurity / V. Lakhno, B. Akhmetov, A. Korchenko [et al.] // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2018. Vol. 96, No. 14. P. 4530-4540.
13. Ishmuratov R.A., Kalabanov S.A., Shagiev R.I., Onischuk M.V. Monitoring and Control System of Three-Phase Electrical Loads on Railway Trains // *2020 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2020 - Proceedings* 9225142.
14. Kolchurina I., Kolchurina M., Khamitov R., Plotnikova I. Usage Practice of Information Technology for the Reorganization of Production Processes // *Lysenko E., Rogachev A., Galtseva O. (eds) Emerging Trends in Materials Research and Manufacturing Processes. Engineering Materials*. Springer, Cham. 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38964-1_8

15. Kutsenko S. M. Diagnostics of high-voltage insulation of the railway transport overhead system by the method of spaced antennas / S. M. Kutsenko, N. N. Klimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, May 21-24, 2019. Vol. 760. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/760/1/012035>
16. Mentsiev A. Digital transformation in transport infrastructure energy efficiency: Smart cities and sustainable mobility / A. Mentsiev, U. Takhaev, A. Mentsiev // E3S Web of Conferences, St. Petersburg, September 19-21, 2023. Vol. 460. St. Petersburg: EDP Sciences, 2023. P. 07018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346007018>

References

1. Avvakumova A.A. Ensuring information security in transportation / A.A. Avvakumova, A.A. Trefilova. *Aspect*. URL: <https://na-journal.ru/8-2023-informacionnye-tehnologii/6196-obespechenie-informacionnoi-bezopasnosti-na-transporte>
2. Vasiliev E. A. Cybersecurity in intelligent transportation systems / E. A. Vasiliev, O. V. Knyazkina. *Generation of the Future: The View of Young Scientists-2023: collection of scientific articles of the 12th International Youth Scientific Conference, November 9-10, 2023*: in 4 vol. / edited by A. A. Gorokhov. Kursk, 2023. Vol. 3. P. 45-48.
3. Zhuravleva N.A. Problems of economic security of transportation systems in the context of global cyber threats / N.A. Zhuravleva, A.B. Nikitin. *Economic Sciences*, 2018, no. 11 (168), pp. 20-25.
4. Ismagilov I. R. Modeling of security threats in the protection of critical information infrastructure objects / I. R. Ismagilov, R. I. Akhmetshina, E. A. Gilmanova. *Economics and Socium*, 2022, no. 2-2(93), pp. 645-648.
5. Cyber threats in the transportation industry. *Positive Technologies*. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cyber-threats-in-the-transport-sector-2023/>

6. Kiseleva E.M. Railroad as an object. *International Student Scientific Bulletin*, 2018, no. 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19179>
7. Makarov B.A. Actuality of cybersecurity on the railway transportation. *Technics of railroads*, 2015, no. 3 (31), pp. 19-24
8. Natalson A. V. Risk assessment of information security violation in the banking sector. *Modern digital technologies: problems, solutions, prospects: national (with international participation) scientific-practical conference, Kazan, May 19-20, 2022*. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2022, pp. 113-116.
9. Main problems of cyber security in the transportation sector. *tmc3: website*. URL: <https://www.tmc3.co.uk/insights/cyber-security-challenges-in-the-transport-sector>
10. Khamitov R. M. The use of artificial intelligence in transportation security / R. M. Khamitov, O. V. Knyazkina. *Science and youth: problems, searches, solutions: proceedings of the All-Russian scientific conference of students, graduate students and young scientists, Novokuznetsk, May 16-17, 2023*. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University, 2023, pp. 3-6.
11. Al Ali, N. A. R. Cyber security in marine transportation: Opportunities and legal challenges / N. A. R. Al Ali, A. A. Chebotareva, V. E. Chebotarev. *Pomorstvo*, 2021, vol. 35, no. 2, pp. 248-255. <https://doi.org/10.31217/p.35.2.7>
12. Development of a decision support system based on expert evaluation for the situation center of transport cybersecurity / V. V. Lakhno, B. A. A. Chebotarev. Lakhno, B. Akhmetov, A. Korchenko [et al.]. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2018, vol. 96, no. 14, pp. 4530-4540.
13. Ishmuratov R.A., Kalabanov S.A., Shagiev R.I., Onischuk M.V. Monitoring and Control System of Three-Phase Electrical Loads on Railway Trains. *2020 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2020 - Proceedings* 9225142.
14. Kolchurina I., Kolchurina M., Khamitov R., Plotnikova I. Usage Practice of Information Technology for the Reorganization of Production

- Processes / Lysenko E., Rogachev A., Galtseva O. (eds). *Emerging Trends in Materials Research and Manufacturing Processes. Engineering Materials*. Springer, Cham. 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38964-1_8
15. Kutsenko S. M. Diagnostics of high-voltage insulation of the railway transport overhead system by the method of spaced antennas / S. M. Kutsenko. M. Kutsenko, N. N. Klimov. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019, Moscow, May 21-24, 2019*. Vol. 760. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020, p. 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/760/1/012035>
16. Mentsiev A. Digital transformation in transport infrastructure energy efficiency: Smart cities and sustainable mobility / A. Mentsiev, U. Mentsiev. Mentsiev, U. Takhaev, A. Mentsiev. *E3S Web of Conferences, St. Petersburg, September 19-21, 2023*. Vol. 460. St. Petersburg: EDP Sciences, 2023, p. 07018. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202346007018>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Князькина Ольга Владимировна, доцент кафедры «Транспорт и логистики», кандидат технических наук
*Сибирский государственный индустриальный университет
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, Кемеровская область - Кузбасс, 654007, Российская Федерация
dmtov@mail.ru*

Хамитов Ренат Минзашарифович, доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы», кандидат технических наук
*Казанский государственный энергетический университет
ул. Красносельская, 51, г. Казань, Республика Татарстан, 420066, Российская Федерация
hamitov@gmail.com*

Черникова Оксана Петровна, заведующий кафедрой «Экономики, учета и финансов», кандидат экономических наук
Сибирский государственный индустриальный университет

ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, Кемеровская область - Кузбасс, 654007, Российская Федерация
chernikovaop@yandex.ru

Златицкая Юлия Александровна, доцент кафедры «Экономики, учета и финансов», кандидат технических наук
Сибирский государственный индустриальный университет

ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, Кемеровская область - Кузбасс, 654007, Российская Федерация
zlatitskaya@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Knyazkina, Associate Professor «Transport and Logistics»,
Candidate of Technical Sciences

Siberian State Industrial University

*42, Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo region - Kuzbass,
654007, Russian Federation*

dmtov@mail.ru

SPIN-code: 2657-2162

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-3061>

Renat M. Khamitov, Associate Professor «Information Technologies
and Intelligent Systems», Candidate of Technical Sciences

Kazan State Power Engineering University

*51, Krasnoselskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420066, Russian
Federation*

hamitov@gmail.com

SPIN-code: 7401-9166

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9949-4404>

Oksana P. Chernikova, Head of the Department of «Economics, Accounting and Finance», Candidate of Economic Sciences
Siberian State Industrial University
42, Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo region - Kuzbass,
654007, Russian Federation
chernikovaop@yandex.ru
SPIN-code: 6496-5060
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-6623>

Yulia A. Zlatitskaya, Associate Professor of the Department of “Economics, Accounting and Finance”, Candidate of Technical Sciences
Siberian State Industrial University
42, Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo region - Kuzbass,
654007, Russian Federation
zlatitskaya@bk.ru
SPIN-code: 9135-6180
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0393-0514>

Поступила 20.10.2024
После рецензирования 01.11.2024
Принята 05.11.2024

Received 20.10.2024
Revised 01.11.2024
Accepted 05.11.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

EDN: ASADBA

УДК 004.92:004.942



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО ПОДХОДА

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

Аннотация

Состояние вопроса. Киберфизические системы в настоящее время активным образом распространяются в различных сферах. Для того, чтобы осуществлять их эффективное управление, необходимо использовать подходы, базирующиеся на имитационном моделировании. В работе рассмотрена соответствующая задача.

Материалы и методы. В работе рассмотрена задача моделирования процессов в киберфизической системе. Приведена совокупность этапов, которые используются в ходе выбора характеристик, связанных с ее управлением. На первом этапе осуществляется выбор переменных. На втором этапе выбираются методы, которые используются в ходе моделирования, учитывается, что процессы, проходящие в киберфизической системе, а также внешние воздействия являются случайными. На третьем этапе выбираются однородные компоненты в киберфизической системе. На четвертом этапе, основываясь на средних значениях объемов передаваемых данных в киберфизической системе определяется величина эффективности ее работы. Приведена структура алгоритма позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов. Указаны особенности имитационного эксперимента для киберфизической системы, с применением оптимизационной модели. Отмечены те этапы, на основе которых ведется выбор по квазиоптимальному

варианту размещения модулей в киберфизической системе на базе имитационных методов.

Результаты. Проведено моделирование киберфизической системы с заданными характеристиками. Показано, что с использованием предлагаемого подхода удалось повысить эффективность системы.

Заключение. Результаты работы могут быть использованы для моделирования широкого класса киберфизических систем. Представленный алгоритм моделирования является универсальным.

Ключевые слова: имитационное моделирование; киберфизическая система; управление; модуль; алгоритм

Для цитирования. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Моделирование процессов в киберфизической системе с использованием имитационного подхода // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 46-64. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

MODELING PROCESSES IN A CYBER-PHYSICAL SYSTEM USING A SIMULATION APPROACH

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

Abstract

Background. Cyber-physical systems are currently actively spreading in various fields. In order to carry out their effective management, it is necessary to use approaches based on simulation modeling. The corresponding task is considered in the paper.

Materials and methods. The paper discusses the problem of modeling processes in the cyberphysical system. A set of stages that are used in the course of choosing characteristics related to its management is given. In the first step, the variables are selected. At the second stage, the methods

to be used in the simulation are selected, taking into account that the processes taking place in the cyber-physical system, as well as external influences, are accidental. In the third stage, homogeneous components in the cyberphysical system are selected. At the fourth stage, based on the average values of the amount of transmitted data in the cyber-physical system, the value of its efficiency is determined. The structure of an algorithm that makes it possible to distinguish homogeneous modules in a cyber-physical system taking into account the influence of external factors is given. The features of a simulation experiment for a cyber-physical system using an optimization model are indicated. The stages on the basis of which the choice of the quasi-optimal option for the placement of modules in the cyberphysical system based on simulation methods is carried out are noted.

Results. Simulation of a cyber-physical system with specified characteristics is carried out. It is shown that using the proposed approach it was possible to increase the efficiency of the system.

Conclusion. The results of the work can be used to simulate a wide class of cyber-physical systems. The presented modeling algorithm is universal.

Keywords: simulation modeling; cyber-physical system; control; module; algorithm

For citation. Preobrazhensky A.P., Avetisyan T.V., Preobrazhensky Yu.P. Modeling Processes in a Cyber-Physical System using a Simulation Approach. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 46-64. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-311

Введение

Актуальность исследования связана с тем, что за счет использования киберфизических систем возникают возможности для автоматизации и цифровизации современного производства, а также других сфер деятельности. В ходе проектирования киберфизических систем различные разработчики применяют интеграционные подходы. Например, парадигма проектирования Девопс [1] основывается на требовании снижения разрыва между разработкой системы и ее непрерывной модернизацией в жизненном цикле. На

практике от водопадных моделей [2] процессов разработки киберфизических систем переходят к циклическим и спиральным моделям. Другой возможный подход, который позволяет вести минимизацию разрыва среди этапов жизненного цикла киберфизической системы, – применение методологии ITIL (Information Technology Infrastructure Library – библиотека инфраструктуры информационных технологий) [3]. Сейчас также наблюдается развитие подходов, которые основываются на применении свойств варибельности (agility) киберфизических систем [4], при этом важно поддерживать целостность данных в протоколах управления системами.

Для того, чтобы разрабатывать киберфизические системы необходимо использовать имитационные подходы. Их следует применять в тех случаях, когда существуют трудности в управлении, обусловленные большими размерностями задач, есть проблемы при построении аналитических моделей, требуется дать описание того, как киберфизическая система будет вести себя во времени. В ходе имитационного моделирования киберфизических систем существует возможность учета случайных внешних воздействий [5; 6]. Можно проверять различные гипотезы, учитывать различные стратегии управления киберфизическими системами. Анализ показал, что в существующих публикациях отсутствуют имитационные модели киберфизических систем, которые достаточно полно описывают происходящие в них процессы.

Целью работы является рассмотрение особенностей имитационных подходов при моделировании киберфизических систем.

**Описание алгоритмических составляющих,
использующихся в ходе осуществления имитационного
моделирования киберфизических систем**

С тем чтобы организовать эффективное функционирование киберфизической системы требуется реализовать разработки соответствующего алгоритмического обеспечения.

Выбор характеристик управления киберфизической системой базируется на том, что происходит выполнение следующих этапов.

Этап 1. В киберфизической системе есть совокупность входных $x_1, x_2, \dots, x_n$ и выходных $y_1, y_2, \dots, y_m$ переменных. Они выбираются таким образом, чтобы обеспечить наибольшую информативность. Метод априорного ранжирования во многих случаях при этом используется исследователями [7].

Этап 2 состоит в том, что осуществляется выбор методов для моделирования. При этом для формирования математических моделей учитываются особенности происходящих в киберфизической системе процессов.

Регрессионный анализ может быть использован в ходе математического описания процессов в киберфизической системе в связи с тем, что они имеют вероятностный характер.

Внешние воздействия на киберфизическую систему являются случайными. Необходимо проверять гипотезу о том, что они являются нормальным образом распределенными. При этом необходимо опираться на критерий Пирсона. Применение пассивного или активного эксперимента происходит при формировании математической модели, в случае выполнения предпосылок регрессионного анализа [8].

Предположим, что в киберфизической системе нельзя преднамеренным образом варьировать входные переменные. Тогда необходимо опираться на пассивный эксперимент. Последовательным образом следует перебирать различные уравнения регрессии, чтобы выбрать среди них ту, которая будет описывать данные эксперимента адекватным образом. Это связано с тем, что нет предварительной информации относительно того, какая структура соответствует математической модели [9; 10].

Если опыты проводятся с учетом условий, которые задаются исследователем, то необходимо использовать методы планирования активного эксперимента. Если используется экспертная информация, то дополнительно необходимо применять методы регрессионного анализа.

В случае, когда некоторые из факторов и выходных переменных, связанные с процессами, анализируются как качественные,

учесть оценку их влияния можно или с привлечением метода дисперсионного анализа, или на основе шкалы их удельных значений [11].

Если исследуются процессы управления в киберфизических системах не во всех случаях можно реализовать все ситуации плана. В этой связи есть возможность для того, чтобы использовать оценки «пропущенных наблюдений», которые связаны с результатами анализа по матрицам и векторам выходных переменных.

Этап 3. На возможное количество математических моделей оказывает влияние не только количество выходных переменных $y_j = (j = \overline{1, m})$, но и количество однородных компонент в киберфизической системе, когда существует неоднородность в процессах работы киберфизической системы. Важно осуществлять анализ по источникам неоднородностей, а также осуществлять процесс выбора методов выделения однородных компонент [12].

Основываясь на данных, полученных на базе пассивного эксперимента по каждому k -му ($K = \overline{1, N}$) наблюдению выходной переменной $y[k]$ будут соотноситься значения количественных переменных на входе $x_j[k]$ ($i = \overline{1, d}$), а также и управляющих воздействий $u_j[k]$ ($j = \overline{1, n}$).

При рассмотрении киберфизических систем, имеющих неоднородные характеристики, требуется определить такие условия, которые обеспечивают получение однородных модулей в таких системах.

Исходим из того, что две выборки N_1 и N_2 будут относиться к однородному модулю f , $\mathbf{r}_i^{r(3)} = \mathbf{r}^{(1)} \cup \mathbf{r}^{(2)}$. Иначе, важно осуществлять проверку по однородности выборок, если выполняются условия $\mathbf{r}^{(3)}$ и $\mathbf{r}^{(4)}$, $\mathbf{r}^{(3)} \cup \mathbf{r}^{(4)} = \mathbf{r}^{(1)}$, $\mathbf{r}^{(5)}$ и $\mathbf{r}^{(6)}$, $\mathbf{r}^{(5)} \cup \mathbf{r}^{(6)} = \mathbf{r}^{(2)}$. Основываясь на этом, для каждого из этапов декомпозиции предлагается применять принцип дихотомии.

Если обозначаются две группы условий $\mathbf{r}^{(1)}$ и $\mathbf{r}^{(2)}$, то это связано с тем, что разделяются по двум частям интервалы

$$\left. \begin{array}{l} x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\text{гр}}, \quad x_{i\text{гр}} \leq x_{i\max} \\ u_{j\min} \leq u_j \leq u_{j\text{гр}}, \quad u_{j\text{гр}} \leq u_j \leq u_{j\max} \end{array} \right\},$$

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} (i=\overline{1,d}), \quad u_{j\min} \leq u_j \leq u_{j\max} (j=\overline{1,n}) \quad (1)$$

при этом $x_{i\text{гр}}$, $u_{j\text{гр}}$ – рассматриваются в виде граничных значений интервалов, соответствующих в киберфизической системе входным и управляющим переменным.

Проводится рассмотрение двух гипотез, чтобы оценить степень однородности модулей в киберфизической системе: H_1 – соответствует случаю, когда выборки $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ являются неоднородными относительно дисперсии; H_2 – соответствует случаю, когда выборки $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ являются однородными относительно дисперсии. Используется выражение, позволяющее осуществить расчет по оценке В - распределения Фишера:

$$B_{\text{расч}}^2 = N_1 \frac{D}{D_1} + N_2 \frac{D}{D_2} \quad (2)$$

при этом по выборке y обозначение оценки дисперсии – D ; по выборкам $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ обозначение оценок дисперсии – D_1 и D_2 ; для выборок $y^{(1)}$, $y^{(2)}$, y соотнесим число элементов N , N_1 , N_2 соответствующим образом. Если $B_{\text{расч}}^2 \geq B_{\text{табл}}^2$, то будет неоднородность в выборках. Тогда необходимо использовать условия $r^{(1)}$, $r^{(2)}$ для математического описания. Иначе новый вариант в дихотомическом делении (1) предлагается экспертом. После этого опять будет повторена процедура проверки. В случае, когда для 3–4 вариантов будет однородность по выборкам, происходит изменение в граничном значении $x_i^{\text{гр}}$ ($i = \overline{1, \bar{I}}$). Формирование единого математического описания по интервалам $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$ основывается на невозможности повторного разделения по группам.

Предположим, что выделяются две группы, соответствующие входной переменной x_i и выходной переменной $y[k]$ с учетом ус-

ловия $r^{(1)}$, если на основе результатов пассивного эксперимента обеспечивается формирование уравнения регрессии.

Если рассматривать g -й ряд модулей и однородную компоненту относительно существенных качественных неуправляемых входных переменных (w), тогда для расчета выходной переменной, соответствующих $[k]$ -му моменту времени, необходимо опираться на такую зависимость:

$$y[k] = \mathbf{f}_y^w \{x_i, u_j[k], y[k-1]\}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

при этом $y[k-1]$ рассматривается в виде предыстории l рассматривается в виде сдвига по времени.

Критерий Андерсона используется для того, чтобы осуществлять проверку на автокорреляцию статистических рядов в уравнении регрессии (3) при анализе временных рядов для $u_j[k]$ и $y[k-1]$. В случае подтверждения гипотезы об автокорреляции статистического ряда, то время подтверждается, то время $[k]$ вводится в уравнение регрессии с целью ухода от автокорреляции во временном ряде.

Затем осуществляется проверка гипотезы, связанной с однородностью коэффициентов в регрессионном уравнении.

Этап 4. Основываясь на средних значениях объемов передаваемых данных в киберфизической системе, определяется величина эффективности ее работы в ходе формирования математических моделей, если осуществляется сбор статистического материала.

Требуется привлечение экспертной информации для того, чтобы осуществить проверку работоспособности полученных математических моделей. Для этого, например, можно использовать направленный опрос специалистов [13].

На рис. 1 приведена иллюстрация структуры алгоритма, на основе которого однородные модули в киберфизической системе будут выделены с учетом влияния внешних факторов [10].



Рис. 1. Структура алгоритма позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов

Особенности имитационного эксперимента для киберфизической системы, с применением оптимизационной модели

Дадим анализ по применению многоальтернативных оптимизационных моделей, которые будут использоваться в ходе реализации имитационных экспериментов, если будут оцениваться проектные решения [15], когда ведется разработка компонентов в киберфизической системе.

Для того, чтобы по выбранным компонентам осуществить оценку эффективности их применения, требуется опираться на имитационное моделирование. При этом следует предусмотреть применение многоальтернативных оптимизационных моделей [9]:

$$\begin{aligned} \Psi_{il}(x_{mn}, x_m) &\rightarrow \text{extr}, i_1 I_1, \\ \Psi_{i2}(x_{mn}, x_m) &\leq b_{i2}, i_2 I_2, I_1 \cup I_2 = I, \\ \sum_{n=1}^{N_m} x_{mn} &= 1, m = \overline{1, M \odot} \\ x_{mn} &= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, m = \overline{1, M \odot}, n = \overline{1, N_m}, & x_m = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, m = \overline{1, M \odot \odot} \end{aligned}, (4)$$

В таких моделях I_1 – рассматривается в виде множества индексов, которые относятся к показателям киберфизической системы. Когда они учитываются в ходе моделирования, то соответствующие критерии позволяют определить для них требования [16]; I_2 – рассматривается в виде множества индексов, которые относятся к показателям системы. Когда они учитываются в ходе моделирования, то соответствующие ограничения позволяют определить для них требования:

$$x_m = \begin{cases} 1, & \text{альтернативная переменная, характеризующая выбор} \\ & \text{определенной реализации } m\text{-го компонента} \\ & \text{киберфизической системы;} \\ 0. \end{cases}$$

$$x_m = \begin{cases} 1, & \text{альтернативная переменная, характеризующая выбор} \\ & \text{типа связей между } m-m \text{ и } n-m \text{ компонентами} \\ & \text{киберфизической системы;} \\ 0. \end{cases}$$

$\psi_{i1}(\cdot)$ – относится в киберфизической системе к математическому описанию показателя, с которым связаны экстремальные требования. При этом на основе альтернативных переменных x_{mn} , x_m есть возможность для его вычисления; $\psi_{i2}(\cdot)$ – относится в киберфизической системе к математическому описанию показателя, с которым связаны граничные требования; b_{i2} – рассматриваются в виде величин ресурсных ограничений [17; 18].

Тот вариант, который следует выбрать в ходе проектирования, определяется на основе реализации имитационного эксперимента. При этом учитывается то, как ведется управление по множеству альтернатив с привлечением рекомендаций эксперта. Значения критериев, которые устанавливаются экспертом, позволяют дать оценку варианту. Еще один вариант может быть предложен в случае, когда результаты имитационного эксперимента не будут удовлетворять эксперта. Процесс выбора будет продолжен пока не будет обозначен квазиоптимальный вариант.

Проведение выбора по квазиоптимальному варианту размещения модулей в киберфизической системе [19] на базе имитационных методов происходит в несколько этапов.

1. Происходит применение алгоритма, позволяющего осуществлять поиск по оптимальной траектории выходных переменных для киберфизической системы. Для построения такой траектории эксперт участвует в анализе получаемых данных. Если они его не удовлетворяют, то будут корректироваться параметры управления и изменяются начальные условия.

2. С учетом всего периода управления проводится обозначение основных характеристик процессов в режиме диалога. При этом с учетом информации, которая получена в имитационном эксперименте изменяются входные данные на основе программы диалога.

3. Управление киберфизической системой осуществляется в процессе пошагового диалога. Для соответствующего шага, связанного с управлением, экспертом принимается решение относительно применяемого критерия на основе анализа сравнения прогнозируемых и текущих данных.

Для первых двух шагов в имитационном моделировании до начала управления осуществляется выбор по оптимальному варианту, для третьего шага используется диалоговый подход для имитационного моделирования, при этом результаты будут реализованы в ходе рассмотрения.

Результаты

В рамках анализируемой киберфизической системы было рассмотрено 32 модуля. Осуществлен анализ их характеристик. Среди модулей выделены 11 в которых требовалась корректировка характеристик. Корректировка осуществлялась на основе 8 итераций. Изменение в начальных условиях не превышало 6%. В итоге по сравнению с первоначальным размещением модулей эффективность киберфизической системы возросла на 9%.

Выводы

В работе проведено рассмотрение особенностей использования имитационных подходов, применяемых при анализе поведения киберфизических систем. Представлены основные этапы, на основе которых осуществляется выбор управляющих воздействий в киберфизической системе. Показана структура алгоритма, позволяющего выделять однородные модули в киберфизической системе с учетом влияния внешних факторов. Показаны этапы, на основе которых ведется выбор по квазиоптимальному варианту размещения модулей в киберфизической системе на базе имитационных методов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Perry L. Internet of Things for architects. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018.
2. Петрова И.А. Выявление основных критериев для применения гибкого и каскадного метода управления проектом // Современная экономика: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229-231.
3. Ингланд Р. Овладевая ITIL. М.: Лайвбук, 2011. 200 с.
4. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
5. Лысанов Д.М., Амиров Д.Н., Еремина И.И. Анализ работы механизмов узлов автоматизации в производственных системах // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3-2. С. 14-20.
6. Бакулин А.Ю., Львович Я.Е. Анализ и оптимизация эффективности функционирования организационной системы с автоматизированными устройствами обслуживания на основе имитационного моделирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
7. Львович Я.Е., Пупыкин А.Н. Интеллектуализация управления в организационных системах с цифровым концентратором результатов деятельности на основе оптимизационного моделирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.018>
8. Лысанов Д.М., Амиров Д.Н., Еремина И.И. Разработка программы для анализа работы узлов автоматизированной линии // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3-2. С. 7-13.
9. Бухольцев И.М., Львович Я.Е. Оптимизация моделирования процессов балансировки и ребалансировки инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной

- системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 1 (44). С. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>
10. Аветисян Т.В., Преображенский А.П. Проблемы мониторинга киберфизических систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 3 (46). С. 4-5.
 11. Аветисян Т.В., Меняйлов Д.В., Преображенский А.П. Особенности формирования современных диалоговых систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 1 (44). С. 31-33.
 12. Аветисян Т.В., Козлова Д.Н., Шунулина В.В., Преображенский А.П. О возможностях тестирования информационно-телекоммуникационных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 4 (47). С. 6-7.
 13. Гусев П.Ю., Львович Я.Е. Структуризация многофункциональной цифровизированной системы и управление ею на основе оптимизационных моделей дезагрегации ресурсов и объемов деятельности // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>
 14. Львович И.Я., Воронов А.А. Применение методологического анализа в исследовании безопасности // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 3. С. 469-470.
 15. Гоян В.И., Никонова Е.З. Реинжиниринг и его место в жизненном цикле информационной системы // International Journal of Advanced Studies. 2019. Т. 9. № 1-2. С. 45-51.
 16. Аветисян Т.В., Преображенский А.П. Некоторые особенности рекомендательных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 1 (44). С. 34-37.
 17. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 68-71.
 18. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ некоторых направлений повышения пропускной способности ip-се-

тей связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 42-45.

19. Хамитов Р.М. Схемы развертываний баз данных для обеспечения высокой доступности // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 4. С. 159-174. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-159-174>

References

1. Perry L. Internet of Things for architects. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018.
2. Petrova I.A. Vyyavlenie osnovnykh kriteriev dlya primeneniya gibkogo i kaskadnogo metoda upravleniya proektom [Identification of the main criteria for the application of flexible and cascade project management methods]. *Modern Economy: Current Issues, Achievements and Innovations. Collection of articles of the XXVIII International Scientific and Practical Conference*, 2019, pp. 229-231.
3. England R. Mastering ITIL. Moscow: Livebook, 2011, 200 p.
4. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
5. Lysanov D.M., Amirov D.N., Eremina I.I. Analiz raboty mekhanizmov uzlov avtomatiki v proizvodstvennykh sistemah [Analysis of the operation of automation units in production systems]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3-2, pp. 14-20.
6. Bakulin A.Yu., Lvovich Ya.E. Analiz i optimizatsiya effektivnosti funkcionirovaniya organizatsionnoy sistemy s avtomatizirovannymi ustroystvami obsluzhivaniya na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Analysis and optimization of the efficiency of an organizational system with automated service devices based on simulation modeling]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
7. Lvovich Ya.E., Pupykin A.N. Intellektualizatsiya upravleniya v organizatsionnykh sistemah s cifrovym koncentratorom rezul'tatov deya-

- tel'nosti na osnove optimizacionnogo modelirovaniya [Intellectualization of management in organizational systems with a digital hub of performance results based on optimization modeling]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 2 (45). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.018>
8. Lysanov D.M., Amirov D.N., Eremina I.I. Razrabotka programmy dlya analiza raboty uzlov avtomatizirovannoj linii [Development of a program for analyzing the operation of automated line units]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3-2, pp. 7-13.
 9. Bukholtsev I.M., Lvovich Ya.E. Optimizaciya modelirovaniya processov balansirovki i rebalansirovki investitsij dlya realizacii programmy razvitiya mnogoob'ektnoj organizacionnoj sistemy [Optimization of modeling of investment balancing and rebalancing processes for the implementation of a multi-object organizational system development program]. *Modeling, optimization and information technology*, 2024, vol. 12, no. 1 (44), p. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>
 10. Avetisyan T.V., Preobrazhensky A.P. Problemy monitoringa kiberfizicheskikh sistem [Problems of monitoring cyber-physical systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 3 (46), pp. 4-5.
 11. Avetisyan T.V., Menyailov D.V., Preobrazhensky A.P. Osobennosti formirovaniya sovremennykh dialogovykh siste [Features of the formation of modern dialogue systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 1 (44), pp. 31-33.
 12. Avetisyan T.V., Kozlova D.N., Shunulina V.V., Preobrazhensky A.P. O vozmozhnostyah testirovaniya informacionno-telekommunikacionnykh sistem [On the possibilities of testing information and telecommunication systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 4 (47), pp. 6-7.
 13. Gusev P.Yu., Lvovich Ya.E. Strukturizaciya mnogofunkcional'noj cifrovizirovannoj sistemy i upravlenie eyu na osnove optimizatsionnykh modelej dezagregacii resursov i ob'emov deyatel'nosti [Structuring

- of a multifunctional digitalized system and its management based on optimization models of disaggregation of resources and activity volumes]. *Modeling, optimization and information technology*, 2023, vol. 11, no. 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>
14. Lvovich I.Ya., Voronov A.A. Primenenie metodologicheskogo analiza v issledovanii bezopasnosti [Application of methodological analysis in security research]. *Information and security*, 2011, vol. 14, no. 3, pp. 469-470.
 15. Goyan V.I., Nikonova E.Z. Reinzhiniring i ego mesto v zhiznennom cikle informacionnoj sistemy [Reengineering and its place in the life cycle of an information system]. *International Journal of Advanced Studies*, 2019, vol. 9, no. 1-2, pp. 45-51.
 16. Avetisyan T.V., Preobrazhensky A.P. Nekotorye osobennosti rekomendatel'nyh sistem [Some features of recommender systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 1 (44), pp. 34-37.
 17. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Osobennosti optimizatsii besprovodnyh sistem svyazi [Features of optimization of wireless communication systems]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 1 (40), pp. 68-71.
 18. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Analiz nekotorykh napravlenij povysheniya propusknogo sposobnosti ip-setej svyazi [Analysis of some directions for increasing the throughput of IP communication networks]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 1 (40), pp. 42-45.
 19. Khamitov R.M. Skhemy razvertyvaniy baz dannykh dlya obespecheniya vysokoy dostupnosti [Database deployment schemes to ensure high availability]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 159-174. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-159-174>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
Komkovvvt@yandex.ru*

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель

Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация «Колледж Воронежского института высоких технологий»

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

Преображенский Юрий Петрович, проректор по ИТ, кандидат технических наук, доцент

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

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

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey P. Preobrazhenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor

Voronezh Institute of High Technologies

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

Komkovvvt@yandex.ru

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

Tatiana V. Avetisyan, Teacher

College of the Voronezh Institute of High Technologies

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

vtatyana_avetisyan@mail.ru

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

Yuri P. Preobrazhensky, Vice-Rector for IT, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
petrovich@vivt.ru

Поступила 20.10.2024

После рецензирования 10.12.2024

Принята 13.12.2024

Received 20.10.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 13.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-312

EDN: BLOMRG

УДК 629.735



Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО И АКТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТОВ

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

Аннотация

Состояние вопроса. Беспилотные летательные аппараты в настоящее время активным образом используются в военной, гражданской и научной сферах деятельности. За счет использования роя возникают возможности по повышению эффективности использования беспилотных летательных аппаратов. В работе рассматриваются особенности определения характеристик роя беспилотных летательных аппаратов.

Материалы и методы. Проведен анализ решения задачи, связанной с определением однородных характеристик на основе пассивного и активного экспериментов. Происходит обозначение условий, которые разделяются по двум выборкам. Рассматриваются две гипотезы, которые соответствуют условию однородности компонент. Приведены основные этапы алгоритма в пассивном и активном эксперименте, на основе которого выделяются однородные компоненты. Критерий Стьюдента и критерий Фишера применяются для того, чтобы осуществить формирование регрессионных моделей. Проведено определение однородных компонент, в дальнейшем осуществлено их уменьшение. Определено критическое значение скорости, дана оценка по прогнозу скорости. Определены степени полиномов, которые образуют регрессионные модели.

Результаты. На основе предложенных в работе подходов проведен анализ роя беспилотных летательных аппаратов. Проведен анализ ключевых компонент роя, уменьшено их число. Погрешность прогноза крейсерских скоростей составила несколько процентов.

Заключение. Представленные подходы в работе являются универсальными и могут быть применены для разных роев беспилотных летательных аппаратов. Показаны возможности прогнозирования крейсерских скоростей.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; пассивный эксперимент; активный эксперимент; рой

Для цитирования. Преображенский А.П., Аветисян Т.В., Преображенский Ю.П. Анализ характеристик роя беспилотных летательных аппаратов на основе пассивного и активного экспериментов // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 65-82. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-312

Original article |

System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF A SWARM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON PASSIVE AND ACTIVE EXPERIMENTS

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

Abstract

Background. Unmanned aerial vehicles are currently actively used in the military, civil and scientific spheres of activity. Due to the use of the swarm, there are opportunities to increase the efficiency of the use of unmanned aerial vehicles. The paper discusses the features of determining the characteristics of a swarm of unmanned aerial vehicles.

Materials and methods. The analysis of the solution of the problem related to the determination of homogeneous characteristics on the basis

of passive and active experiments is carried out. There is a designation of conditions that are divided into two samples. Two hypotheses that meet the condition of homogeneity of components are considered. The main stages of the algorithm in passive and active experiments, on the basis of which homogeneous components are distinguished, are given. The Student's criterion and the Fisher criterion are used to form regression models. Homogeneous components were determined, and then their reduction was carried out. The critical value of the speed is determined, and the speed forecast is estimated. The degrees of polynomials that form regression models are determined. Results. Based on the approaches proposed in the work, an analysis of a swarm of unmanned aerial vehicles is carried out. The analysis of the key components of the swarm was carried out, their number was reduced. The error in the forecast of cruising speeds was several percent.

Conclusion. The presented approaches in the work are universal and can be applied to different swarms of unmanned aerial vehicles. The possibilities of predicting cruising speeds are shown.

Keywords: unmanned aerial vehicles; passive experiment; active experiment; swarm

For citation. Preobrazhensky A.P., Avetisyan T.V., Preobrazhensky Yu.P. Analysis of the Characteristics of a Swarm of Unmanned Aerial Vehicles Based on Passive and Active Experiments. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 65-82. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-312

Введение

Актуальность исследования связана с тем, что беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время активно используются в различных сферах, в том числе в военной, гражданской авиации, при осуществлении исследований, для реализации развлечений [1]. Рой БПЛА может рассматриваться в виде новой концепции, связанной с тем, как применяются БПЛА. При этом существенным образом происходит повышение их эффективно-

сти. С тем, чтобы обеспечивать высокую стабильность и хорошую координацию в рое БПЛА необходимо учитывать то, как управление одним БПЛА будет оказывать влияние на их общую совокупность. Влияние оказывает степень однородности характеристик. Для оценки характеристик необходимо разрабатывать соответствующие математические модели.

Проведенный анализ литературных источников показал, что для того, чтобы планировать траектории беспилотных летательных аппаратов можно использовать два подхода [2]. Первый из них рассматривается как интеллектуальный. В нем применяются методы нечеткой логики и нейросетевого моделирования. Второй метод является графоаналитическим. В нем требуется учитывать потенциальные поля, а также диаграммы Вороного. На основе второго метода можно осуществить организацию безопасного перемещения беспилотных летательных аппаратов внутри априорно неопределенных сред. Для того, чтобы между двумя точками, которые лежат на траектории полета беспилотного летательного аппарата, определить длину, можно опираться, например, на нейростетовое моделирование [3]. При движении беспилотных летательных аппаратов в ряде случаев необходимо решать задачи, в которых требуется осуществлять огибание статических препятствий [4]. Для того, чтобы оценивать предельные отклонения [5] беспилотных летательных аппаратов в ряде случаев необходимо составить соответствующие системы дифференциальных уравнений, для которых требуется обеспечить гарантированные методы их решения.

В известных литературных источниках нет исследований, связанных с рассмотрением особенностей активного и пассивного эксперимента, а также результатов, полученных на основе таких подходов. Этим обусловлена новизна настоящей работы.

Целью работы является исследование возможностей использования методики пассивного и активного эксперимента для оценки характеристик роя БПЛА.

Описание подхода на основе пассивного эксперимента

Проведение идентификации роя БПЛА, для которых характеристики являются различными [6-8], должно основываться на том, что описываются условия неоднородности $r_1, \dots, r_k$. С учетом таких условий будет соблюдение принадлежности к однородным компонентам $f_i^1(u), \dots, f_i^k(u)$ по выборкам, соответствующим одномерной выходной переменной $y_i (i = \overline{1, m})$.

Если для роя БПЛА будет возрастать степень неоднородности, то при этом происходит рост объема и времени эксперимента. При этом важно осуществлять формирование подходов, в которых однородные компоненты в БПЛА будут ускоренным образом идентифицированы. Используются данные по пассивному эксперименту, которые соотнесены с каждым k -м ($k = 1, \dots, N$) наблюдением выходной переменной $y[k]$, в качестве нее, например, может рассматриваться скорость БПЛА. На их основе происходит определение соответствующих переменных, которые будут на входе $x_i[k] (i = \overline{1, d})$ а также воздействий, осуществляющих процессы управления $u_j[k] (j = \overline{1, n})$.

Требуется относительно выходных переменных y осуществлять процесс анализа по выборкам. Тогда важно по управляющим воздействиям и входным переменным определять необходимые условия [9, 10]. В ходе решения задачи дихотомический подход применяется по каждому декомпозиционному шагу.

Требуется рассмотрение двух гипотез, чтобы дать оценку относительно однородности [7]:

H_1 – по выборкам $y^{(p)}$ относительно дисперсии будет неоднородность.

H_2 – по выборкам $y^{(p)}$ относительно дисперсии будет однородность.

Проводится анализ того, какая из гипотез будет выполнена с учетом уровне значимости $q\%$ на основе статистических критериев, сравниваемых с критическими значениями. Соответствующие множества переменных x_i и u_j определяются при выполнении

гипотезы H_1 , которые ведут к тому, что будет неоднородность в математическом описании.

Проведем анализ для переменной x_i , которая будет на входе. С учетом условия

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\text{гр}}; \quad (1)$$

$$x_{i\text{гр}} \leq x_i \leq x_{i\max}. \quad (2)$$

будет разделение выборки, соответствующей выходной переменной $y[k]$.

Реализуется формирование уравнения регрессии, которое соответствует каждой группе (1), (2). При этом для дискретных моментов времени $[k]$ определены значения по выходным переменным:

$$y[k] = f(y[k-1], \Delta y[k]), l = 1, \dots, L. \quad (3)$$

Важно учесть, что Δy следует рассматривать в виде функции соответствующих факторов. Помимо этого, оказывает влияние предыстория $y[k-1]$, и еще управляющие воздействия u_j . В таком случае для $[k]$ -ого момента времени выходная переменная характеризуется зависимостью, которая на основе статистических данных строится в виде уравнения регрессии:

$$y[k] = f_g^w \{x_i, u_j[k], y[k-1]\}, l = 1, \dots, L. \quad (4)$$

Критерий О.Андерсена [11] может быть использован для того, чтобы по переменным $u_j[k]$ и $y[k-1]$, представляемых в виде рядов, проверить то, что не будет корреляции между соседними членами ряда.

Опираясь на теорему Фриша-Во-Ловелла [12], будем применять время в уравнении регрессии для того, чтобы во временном ряде избежать автокорреляции. В таком случае модель (4) представляется так:

$$y[k] = f_g^w \{x_i, u_j[k], y[k-1], [k]\}, l = 1, \dots, L. \quad (5)$$

После этого происходит обозначение двух гипотез: H_1 соответствует по всем v различным регрессионным коэффициентам $\beta_{v1} (v = 1, \dots, d + n + 1)$, для (1) и $\beta_{v2} (v = 1, \dots, d + n + 1)$, для (2); H_2 соответствует коэффициентам регрессии β_{v1} и β_{v2} , которые разные по всем $v \neq i$ и совпадают для $v = i$.

В ходе оценки информации по тому, чтобы определить разницу в пользу H_1 вместо H_2 необходимо опираться на выражение:

$$J\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = \frac{1}{\sigma^2} \left((\beta_1)^T S^1 \beta_1 - (\beta_2)^T S^2 \beta_2 \right), \quad (6)$$

в указанном выражении $\beta_1 = \{\beta_{11}, \dots, \beta_{v1}, \dots, \beta_{d+n+1}\}$ соответствует вектору коэффициентов регрессии по условию (4);

$(\beta_1)^T$ является транспонированным вектором β_1 ;

$\beta_2 = \{\beta_{12}, \dots, \beta_{v2}, \dots, \beta_{d+n+1}\}$ соответствует вектору коэффициентов регрессии с учетом условия (2);

β_2^T соответствует транспонированный вектор β_2 ;

$$S^1 = x_1^T \cdot x_1, \quad x_1 = \{x_{11}, \dots, x_{v1}, \dots, x_{1k}\};$$

$$S^2 = x_2^T \cdot x_2, \quad x_2 = \{x_{21}, \dots, x_{v2}, \dots, x_{2k}\};$$

x_{1v}, x_{2v} соответствуют векторам входной переменной, которые получены в результате экспериментальных измерений по первому и второму уравнениям регрессии ($v = 1, \dots, d + n + 1$); по выходной переменной для $y[k]\sigma^2$ соответствует оценке дисперсии.

В ходе оценок информации при определенном уровне значимости можно определить критическое значение с учетом F – распределения для $(d + n)$ и $N - (d + n + 1)$ степеней свободы [13, 14]. Использование рандомизации при эксперименте уменьшается влияние входных переменных на регрессионную модель.

На основе результатов, полученных по пассивному эксперименту в БПЛА, можно предложить такой алгоритм, на основе которого выделяются однородные компоненты:

1. По выходным и входным переменным происходит формирование полного перечня.
2. С точки зрения неоднородностей в управлении БПЛА делятся на подгруппы.
3. Происходит выделение существенных входных переменных.
4. Для факторов в процессах проводится проверка на наличие корреляции.

5. В случае наличия корреляции проведение сокращения показателей.

6. На основе дисперсного анализа проведение выделения однородных компонент в БПЛА.

7. Исходя из п.5 по информативным переменным проверка гипотезы относительно нормального распределения [15].

8. По пассивному эксперименту происходит установление условий r , они делятся по двум группам $r^{(1)}$ и $r^{(2)}$.

9. Для групп $r^{(1)}$ и $r^{(2)}$ проводится оценка однородности дисперсий в выборках.

10. Определяются переменные x_i и u_j по которым будет неоднородность в дисперсии.

11. Происходит деление по двум частям, связанным с переменными x_i и u_j , формируется уравнение регрессии с учетом того, какие коэффициенты автокорреляции, как они соответствуют критерию Андерсона.

13. Для всех показателей процессов по однородным компонентам БПЛА создаются регрессионные модели (8), в них проводится расчет коэффициентов, применяется t-критерий Стьюдента и F-критерий Фишера [15].

16. Осуществляется дополнительная проверка на однородность компонент в БПЛА при использовании критерия Андерсона [15] для оценки автокорреляции ряда $\Delta y_i[k]$:

$$\Delta y_i[k] = y_i[k] - \bar{y}_i[k]. \quad (7)$$

Описание подхода на основе активного эксперимента

В активном эксперименте используются управляющие воздействия u_j ($j = 1, \dots, n$) для того, чтобы реализовывать действия по декомпозиции в математическом описании. Тогда условия однородности будут делиться по группам за счет того, что одновременным образом определяются для всех переменных u_j ($j = 1, \dots, n$) однородные диапазоны. Можно отметить достоинство активного эксперимента, состоящее в том, что можно получить упрощенную статическую модель. Укажем основные шаги в алгоритме, на основе которого происходит поиск по однородным диапазонам в управлении.

1. Происходит формирование связи среди выходных и входных переменных [16]

$$y_i = f(u_1, \dots, u_n), \quad (8)$$

при этом $u = \{u_1, \dots, u_n\}$ рассматривается в виде вектора управляющих воздействий; y_i соответствует i -й выходной переменной.

2. Реализуется определение верхней и нижней границ по управляющим воздействиям.

3. Проводится выбор исходной точки, в дальнейшем будет проводиться эксперимент:

$$E = \|u_{ik}\|, \quad k = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, n, \quad (9)$$

в выражении N – соответствует в ходе реализации эксперимента количества опытов;

$u_{jo} = \{u_{10}, \dots, u_{n0}\}$ – соответствует по исходному состоянию вектору управляющих воздействий.

4. Происходит на основе экспериментов для выходной переменной формирование соответствующего вектора $y_{ib} = \{y_{i1}, \dots, y_{iN}\}$. Управляющие воздействия при этом варьируются в ходе воздействия на величину Dy_j , когда реализуется план эксперимента E .

5. Используется t -критерий Стьюдента, позволяющий на основе результатов эксперимента по коэффициентам регрессии дать оценку статистической значимости.

6. Формируется уравнение регрессии

$$\hat{y} = a_0 + a_1 u_1 + \dots + a_n u_n. \quad (10)$$

7. Используется F -критерий Фишера для того, чтобы осуществить процесс проверки адекватности математической модели (10).

8. По гиперповерхности переменных для выбранных точек ($k = 1, \dots, T$) рассматриваются мысленные эксперименты. Движение происходит в направлении $\bar{u}(\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n)$, с учетом $\text{grad}(\bar{u})$, который достигается на основе эксперимента E (9) [17].

9. Чтобы выбрать направление движения, необходимо определить такую переменную u_i , по которой будет обеспечиваться максимизация произведения $\hat{a}_i \Delta u_i$

$$\max(\hat{a}_i \Delta u_i) = \hat{a}_\delta \Delta u_\delta. \quad (11)$$

10. В случае крутого восхождения $\lambda_{\text{КВ}}$ проводится определение шага варьирования по u_i .

11. Для остальных переменных $y_j (j = 1, \dots, n - 1)$ проводится расчет значений $\lambda_{\text{КВ}}$:

$$\lambda_{j \text{ КВ}} = \frac{\hat{a}_j \Delta u_j}{\hat{a}_\delta \Delta u_\delta} \cdot \lambda_{\text{КВ}}. \quad (12)$$

12. Когда реализуется мысленный эксперимент, то для точек k , по направлению $\bar{u}$, происходит определение предсказанных значений выходной переменной $\hat{y}_{i \text{ прк}}$. При этом будет сравнение с экспериментальными значениями $y_{i \text{ЭК}}$ через 2–3 шага:

$$\bar{y}_{i \text{ЭК}} - y_{i \text{ прк}} = \left| \left(\hat{y}_{i \text{ пр}}(k-1) + \hat{y}_{i \text{ пр1}} - a_0 \right) \right| \leq \Delta y_{i \text{ доп}}, \quad (14)$$

в этом выражении $\Delta y_{i \text{ доп}}$ – является допустимой погрешностью в ходе реализации аппроксимирующих процедур;

$\bar{y}_{i \text{ЭК}}$ – соответствует усредненному значению переменной y_i с учетом того, какие были проведены параллельные опыты, которые соответствуют точке k , размещенной на гиперповерхности.

13. Происходит выбор нового уровня, который есть на границе адекватности $u_{i \text{ГР}}$ с учетом $\bar{y}_{i \text{ЭК}} - \hat{y}_{i \text{ прк}} > \Delta y_{i \text{ доп}}$. Будет определение нового шага по варьированию. После этого будет реализован план активного эксперимента для БПЛА.

14. Происходит повторение пунктов 3–13.

15. С учетом p однородных диапазонов управления при диапазонах управления $y_i = f_i^p(u)$ будут формироваться p математических моделей.

16. С учетом того, какой коэффициент множественной корреляции R_M в однородных компонентах БПЛА дается оценка по уровню работоспособности математических моделей [12].

Происходит использование коэффициента множественной корреляции с тем, чтобы провести проверку работоспособности математических моделей [18; 19] однородных компонент, для которых будет адекватное описание процесса. То есть, вы-

полняется условие $F_{\text{PAC}} < F_{\text{KP}}$ с учетом того, что задан уровень значимости $q\%$ [12]. Считаем, что будет достаточная работоспособность по математической модели в случае выполнения условия для коэффициента множественной корреляции $R_M > 0,8$. Иначе на базе методов дисперсионного анализа будут оцениваться как влияют качественные неуправляемые входные переменные. Они разделяются по качественным уровням и с их учетом для однородных компонент БПЛА строятся математические модели [12].

За счет того, что выделяются однородные диапазоны управления возникают возможности для того, чтобы по математическим моделям осуществить существенное упрощение их структуры, будет по каждой из однородных компонент БПЛА уменьшено число управляющих воздействий.

Результаты

Был рассмотрен рой БПЛА, в котором было 53 объекта. Для этого роя было выделено 14 однородных компонентов: размах крыла, длина аппарата, высота аппарата, вес, максимальная скорость, крейсерская скорость, дальность полета, время полета, высота полета, грузоподъемность, мощность двигателя, виды датчиков, масса груза, стоимость конструкции.

В ходе реализации пассивного эксперимента в качестве существенных входных переменных рассматривались координаты возможных препятствий для БПЛА. В качестве выходной переменной рассматривалась скорость. Критическое значение скорости составило 98 км/ч. Проведено формирование регрессионных моделей, которые базировались на полиномах, не превышающих 5 степени. Была осуществлена дополнительная проверка на однородность компонент. Число однородных компонент было уменьшено до 11. В ходе реализации активного эксперимента погрешность спрогнозированных значений крейсерских скоростей не превышала 7%.

Выводы

В работе рассмотрены возможности применения методики пассивного и активного эксперимента для оценки характеристик роя БПЛА. Для выходных характеристик (скоростей) были построены регрессионные модели, при этом степень полинома не превышала 5. Осуществлено уменьшение числа возможных однородных компонент в рое БПЛА. Дан прогноз по значениям крейсерских скоростей.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Исследование не имело спонсорской поддержки.*

Список литературы

1. Абрамов М.М. Новые и перспективные направления применения беспилотных летательных аппаратов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 3. С. 227-232. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-3-227-233>
2. Финаев В.И., Соловьев В.В., Шаповалов И.О., Белоглазов Д.А., Титов А.Е. Анализ графоаналитических методов планирования перемещения подвижных объектов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 11. Ч. 2. С. 137-148.
3. Кореванов С.В. Аппроксимация длины траектории полета и положения беспилотных летательных аппаратов с помощью нейронной сети // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. №210. С.135-137.
4. Ткачев С.Б., Крищенко А.П., Канатников А.Н. Автоматическая генерация сложных пространственных траекторий БПЛА и синтез управлений // Математика и Математическое моделирование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 01. С.1–17. <https://doi.org/10.7463/mathm.0115.0778000>
5. Рогалев А.Н., Рогалев А.А. Численные оценки предельных отклонений траекторий летательных аппаратов в атмосфере // Вестник СибГАУ. Т. 16. № 1. 2015. С. 104–112.
6. Покровская О.Д., Мороз Ю.А., Меликов М.И. Трансформация рынка транспортных услуг в России в условиях международных

- санкций // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 197-211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>
7. Натальсон А.В. Перспективы развития транспортной отрасли в эпоху цифровой трансформации // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 2-2. С. 74-78.
 8. Бородулин И.В., Гасилова О.С., Мальцева А.А., Сидоров Б.А. Оценка неравномерности движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3. С. 68-81. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-68-81>
 9. Кудряшов А.В., Преображенский Ю.П. Анализ компонентов транспортных систем // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2023). Сборник научных статей 15-й Международной научно-технической конференции. Курск, 2023. С. 116-118.
 10. Маренков Н.М., Клименко Ю.А. О проблемах управления транспортными процессами в компаниях // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2023). Сборник научных статей 15-й Международной научно-технической конференции. Курск, 2023. С. 144-146.
 11. Симчера В. М. Методы многомерного анализа статистических данных. М.: Финансы и статистика, 2008. 398 с.
 12. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer: New-York, 2017. 764 p.
 13. Калиушко Д.А., Зеленина А.Н. Разработка информационной системы учета грузоперевозок // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 3 (46). С. 7-8.
 14. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. О проблемах использования современных технологий в «Умных городах» // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 116-119.
 15. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищевая промышленность, 2005. 168 с.

16. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Проблемы моделирования транспортных потоков // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (42). С. 72-74.
17. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Принципы обеспечения метрологических характеристик информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (42). С. 95-98.
18. Бухольцев И.М., Львович Я.Е. Оптимизация моделирования процессов балансировки и ребалансировки инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 1 (44). С. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>
19. Гусев П.Ю., Львович Я.Е. Структуризация многофункциональной цифровизированной системы и управление ею на основе оптимизационных моделей дезагрегации ресурсов и объемов деятельности // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>

References

1. Abramov M. M. Novye i perspektivnye napravleniya primeneniya bes-pilotnyh letatel'nyh apparatov [New and promising areas of application of unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*, 2022, no. 3, pp. 227-232. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-3-227-233>
2. Finaev V.I., Solov'ev V.V., Shapovalov I.O., Beloglazov D.A., Titov A.E. Analysis of the graph-analytical methods of the moving objects motion planning. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*, 2015, no. 11, part 2, pp. 137-148.
3. Korevanov S.V. Approssimaciya dliny traektorii poleta i polozheniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov s pomoshch'yu nejronnoj seti [Ap-

- proximation of the flight path length and position of unmanned aerial vehicles using a neural network]. *Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2014, no. 210, pp. 135-137.
4. Tkachev S.B., Krishchenko A.P., Kanatnikov A.N. Automatic generation of complex spatial trajectories of UAV and synthesis of controls. *Mathematics and Mathematical Modeling. Bauman Moscow State Technical University*, 2015, no. 01, pp. 1-17. <https://doi.org/10.7463/mathm.0115.0778000>
 5. Rogalev A.N., Rogalev A.A. Numerical estimations of the limit deviations of the aircraft trajectories in the atmosphere. *Bulletin of Siberian State Agrarian University*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 104-112.
 6. Pokrovskaya O.D., Moroz Yu.A., Melikov M.I. Transformaciya rynka transportnyh uslug v Rossii v usloviyah mezhdunarodnyh sankcij [Transformation of the transport services market in Russia under international sanctions]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023. vol. 13, no. 1, pp. 197-211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>
 7. Natalson A.V. Perspektivy razvitiya transportnoj otrasli v epohu cifrovoj transformacii [Prospects for the development of the transport industry in the era of digital transformation]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 2-2, pp. 74-78.
 8. Borodulin I.V., Gasilova O.S., Maltseva A.A., Sidorov B.A. Ocenka neravnomernosti dvizheniya transportnyh sredstv v mestah razdeleniya transportnyh potokov [Assessment of uneven movement of vehicles in places of separation of traffic flows]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 68-81. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-3-68-81>
 9. Kudryashov A.V., Preobrazhensky Yu.P. Analiz komponentov transportnyh system [Analysis of components of transport systems]. *Modern automotive materials and technologies (SAMIT-2023). Collection of scientific articles of the 15th International Scientific and Technical Conference*. Kursk, 2023, pp. 116-118.
 10. Marenkov N.M., Klimenko Yu.A. O problemah upravleniya transportnymi processami v kompaniyah [On the problems of transport process

- management in companies]. *Modern automotive materials and technologies (SAMIT-2023). Collection of scientific articles of the 15th International Scientific and Technical Conference*. Kursk, 2023, pp. 144-146.
11. Simchera V. M. *Metody mnogomernogo analiza statisticheskikh daniy* [Methods of multidimensional analysis of statistical data]. M.: Finance and Statistics, 2008, 398 p.
 12. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning*. Springer: New-York, 2017, 764 p.
 13. Kaliushko D.A., Zelenina A.N. Razrabotka informacionnoj sistemy ucheta gruzoperevozok [Development of an information system for cargo transportation accounting]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2023, no. 3 (46), pp. 7-8.
 14. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. O problemah ispol'zovaniya sovremennykh tekhnologij v "Umnyh gorodah" [On the problems of using modern technologies in "Smart cities"]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 2 (41), pp. 116-119.
 15. Grachev Yu.P. *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov* [Mathematical methods of planning experiments]. M.: Food industry, 2005, 168 p.
 16. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Problemy modelirovaniya transportnykh potokov [Problems of modeling traffic flows]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 3 (42), pp. 72-74.
 17. Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Ruzhitsky E. Principy obespecheniya metrologicheskikh harakteristik informacionno-izmeritel'nykh sistem pozicionirovaniya transportnykh sredstv [Principles of ensuring metrological characteristics of information and measuring positioning systems of vehicles]. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2022, no. 3 (42), pp. 95-98.
 18. Bukholtsev I.M., Lvovich Ya.E. Optimizaciya modelirovaniya processov balansirovki i rebalansirovki investicij dlya realizacii programmy razvitiya mnogoob'ektnoj organizacionnoj sistemy [Optimization of modeling the processes of balancing and rebalancing investments

for the implementation of the program for the development of a multi-object organizational system]. *Modeling, optimization and information technologies*, 2024, vol. 12, no. 1 (44), p. 7. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015>

19. Gusev P.Yu., Lvovich Ya.E. Strukturizaciya mnogofunkcional'noj cifrovizirovannoj sistemy i upravlenie eyu na osnove optimizacionnyh modelej dezagregacii resursov i obemov deyatel'nosti [Structuring of a multifunctional digitized system and its management based on optimization models of disaggregation of resources and volumes of activity]. *Modeling, optimization and information technology*, 2023, vol. 11, no. 4 (43). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.004>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий

*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация
Komkovvivi@yandex.ru*

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель

Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация «Колледж Воронежского института высоких технологий»

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

Преображенский Юрий Петрович, проректор по ИТ, кандидат технических наук, доцент

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования 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
Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
Komkovvivt@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

Tatiana V. Avetisyan, Teacher
College of the Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
vtatyana_avetisyan@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>

Yuri P. Preobrazhensky, Vice-Rector for IT, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
petrovich@vivt.ru

Поступила 10.10.2024

После рецензирования 08.11.2024

Принята 21.11.2024

Received 10.10.2024

Revised 08.11.2024

Accepted 21.11.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-314

EDN: NAPHQW

УДК 656.1



Научная статья | Управление процессами перевозок

АЛГОРИТМ ВЫБОРА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, В.М. Плаксунова

Аннотация

В данной статье авторы рассматривают оптимизацию маршрутной сети и подвижного состава для обеспечения экологической безопасности (на примере г. Краснодар). Для улучшения экологической ситуации на исследуемых объектах проведен анализ и сделан вывод, что внедрение «умных перекрестков» положительно скажется: время проезда снизится, а средняя скорость проезда данного отрезка увеличится, за счет этого количество вредных выбросов от транспорта общего пользования снизится. Авторами предложено мероприятие по замене подвижного состава на электробусы, что позволит снизить выбросы отработавших газов, исходя из проведенных анализов и сделанных расчетов.

Авторами разработан алгоритм выбора мероприятий по повышению экологической безопасности транспортных потоков путем воздействия на маршрутную сеть пассажирского транспорта общего пользования.

Цель – оптимизация маршрутной сети для обеспечения экологической безопасности (на примере г. Краснодар)

Метод и методология проведения работы. В статье использовались синтез, статистический анализ.

Результаты. Был проведен анализ существующей маршрутной сети, изучены методы повышения экологической безопасности и предложены мероприятия, такие как увеличение расстояния между остановками, внедрение «умных перекрестков» и замена устаревшего подвижного состава на электробусы.

Область применения результатов: научно-исследовательская деятельность по улучшению маршрутов общественного транспорта для повышения его эффективности и доступности со снижением выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ через внедрение экологически чистых транспортных средств.

Ключевые слова: экологическая безопасность; городской пассажирский транспорт; маршрутная сеть; «умный перекресток»; маршруты пассажирского транспорта; подвижной состав

Для цитирования. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Плаксунова В.М. Алгоритм выбора мероприятий по повышению экологической безопасности транспортных потоков // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 83-99. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-314

Original article | Transportation Process Management

ALGORITHM FOR SELECTING EVENTS TO INCREASE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRAFFIC FLOW

T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, V.M. Plaksunova

Abstract

In this article, the authors consider the optimization of the route network and rolling stock to ensure environmental safety (using the city of Krasnodar as an example). To improve the environmental situation at the sites under study, an analysis was conducted and a conclusion was made that the introduction of “smart intersections” will have a positive effect: travel time will decrease, and the average speed of travel along this section will increase, due to which the amount of harmful emissions from public transport will decrease. The authors proposed an event to replace the rolling stock with electric buses, which will reduce exhaust emissions, based on the analyses and calculations made.

The authors developed an algorithm for selecting measures to improve the environmental safety of traffic flows by influencing the route network of public passenger transport.

Purpose. Optimization of the route network to ensure environmental safety (using the city of Krasnodar as an example).

Materials and methods. The article used statistical analysis, synthesis.

Results. The existing route network was analyzed, methods for improving environmental safety were studied, and measures were proposed, such as increasing the distance between stops, introducing “smart intersections” and replacing outdated rolling stock with electric buses.

Scope of application of the results: research activities to improve public transport routes to increase their efficiency and accessibility with a reduction in carbon dioxide emissions and other pollutants through the introduction of environmentally friendly vehicles.

Keywords: environmental safety; urban passenger transport; route network; “smart intersection”; passenger transport routes; rolling stock

For citation. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Plaksunova V.M. Algorithm for Selecting Events to Increase the Environmental Safety of Traffic Flow. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 83-99. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-314

Современный город – это особая экосистема, учитывающая формы социального участия жителей. Одним из ключевых элементов «умного» города является транспортная система, а точнее система, обеспечивающая мобильность населения. Концепция обеспечения «бесшовной» мобильности заключается в совместном использовании инфокоммуникационных технологий и интернета. Информация онлайн поступает от граждан или общественных устройств и анализируется в центре организации движения.

Вопросам развития транспортных систем городов посвящено достаточно много исследований. Как правило, больше внимания авторы уделяют показателям качества транспортного обслуживания населения, которые влияют на транспортно-эксплуатационные показатели подвижного состава, а также моделированию характеристик транспортных потоков и управлению дорожным движением.

При всей важности транспортно-дорожного комплекса городов, как неотъемлемого элемента экономики, необходимо учиты-

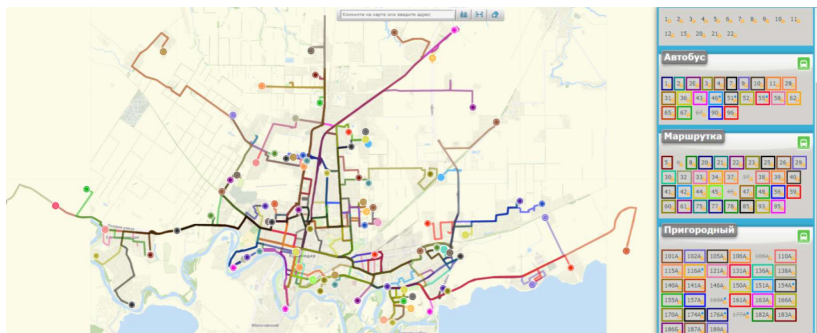
вать его весьма значительное негативное воздействие на природные экологические системы.

В связи с вышеизложенным предлагается рассмотреть возможность применения ESG-принципов при оперативном и стратегическом планировании изменений транспортной системы «умного» города для его устойчивого развития. Целью исследования является оптимизация маршрутной сети для обеспечения экологической безопасности (на примере г. Краснодар). Для этого необходимо: проанализировать маршрутную сеть; изучить методы повышения экологической безопасности; выбрать объект исследования; оценить возможные мероприятия по повышению экологической безопасности маршрутной сети.

Городская транспортная система включает в себя маршруты различных транспортных средств, таких как метро, трамвай, троллейбус и автобус. Автобус является самым популярным видом общественного транспорта и в ряде городов служит единственным средством для перевозки пассажиров. В крупных мегаполисах разумно использовать весь спектр городского транспорта, обеспечивая координацию и распределение функций между ними с учетом оптимального использования, основанного на грузоподъемности и стоимости перевозок.

Маршрутная сеть на примере г. Краснодар представлена на рисунках 1-2.

Основные требования, предъявляемые к городской маршрутной системе, – это обеспечение для пассажиров минимального количества пересадок при одной поездке и наименьшие затраты времени на одну поездку в любом направлении города. Эти показатели косвенно способствуют уменьшению негативного влияния транспорта на природу, поскольку сокращение необходимости пересадок и времени в пути, как правило, ведёт к снижению требуемого количества подвижного состава. Это указывает на возможность работы автобусов в наиболее эффективном режиме, что, в свою очередь, позволяет снизить расход топлива и смазочных материалов, а также уменьшить выбросы вредных веществ в выхлопных газах.



ул. Октябрьская. Но также они имеют ряд различий, таких как выделенная полоса, количество полос и др.

По улице Красной проходит 22 автобусных маршрута и 1 троллейбусный. Схема маршрутов, проходящих по улице Красная представлена на рисунке 3.

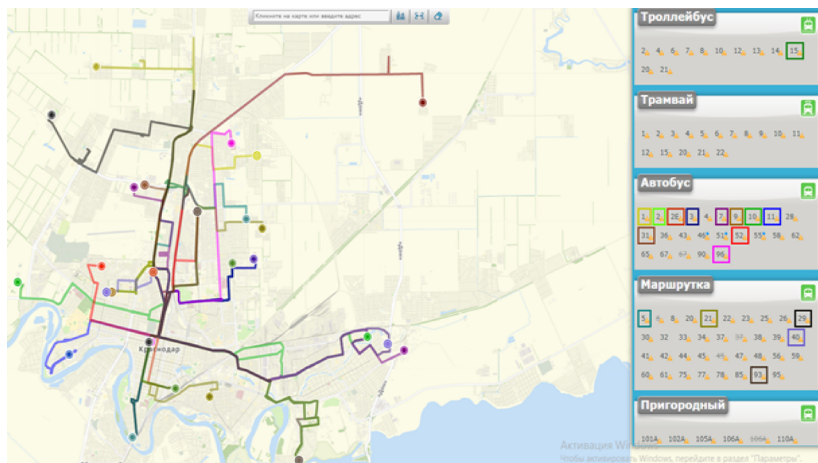


Рис. 3. Схема маршрутов, проходящих по улице Красная

Вторым объектом является улица Октябрьская. Улица Октябрьская расположена в Западном внутригородском округе Краснодара и проходит от улицы имени Красина до улицы Северной. Длина этой дороги составляет приблизительно 3,15 километра. Улица была занесена в официальную базу адресных объектов 5 ноября 1920 года.

По улице Октябрьской проходит 20 автобусных маршрутов и 6 троллейбусов. Также по улице Октябрьской имеется выделенная полоса для движения транспорта общего пользования. В дальнейших исследованиях будут сравниваться две улицы для движения транспорта общего пользования с выделенной полосой и без неё. Схема маршрутов, проходящих по улице Октябрьская представлена на рисунке 4.

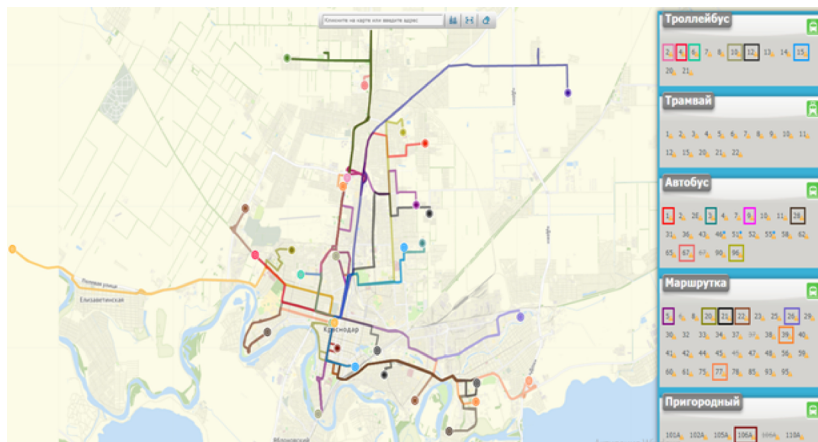


Рис. 4. Схема маршрутов, проходящих по улице Октябрьская

Как видно из анализа, исследуемые улицы проходят через центр города Краснодар. По данным улицам проходят многочисленные автобусные маршруты, которые наносят колоссальный вред окружающей среде, а также вред и дискомфорт людям передвигающихся в центре по делам, по каким-либо обстоятельствам. На примере описанных участков маршрутной сети г. Краснодара апробируем алгоритм выбора мероприятий по повышению экологической безопасности транспортных потоков путем воздействия на маршрутную сеть пассажирского транспорта общего пользования (рисунок 5).

Алгоритм, представленный на рисунке 5, адаптирован для конкретного объекта исследования. В случае изменения количества и номенклатуры сравниваемых мероприятий, возможно изменение количества последовательных блоков алгоритма.

Рассмотрим влияние на снижение экологического воздействия транспорта следующих мероприятий:

- увеличение расстояния между остановочными пунктами;
- оснащение пересечений «умными» светофорами;
- замена подвижного состава.

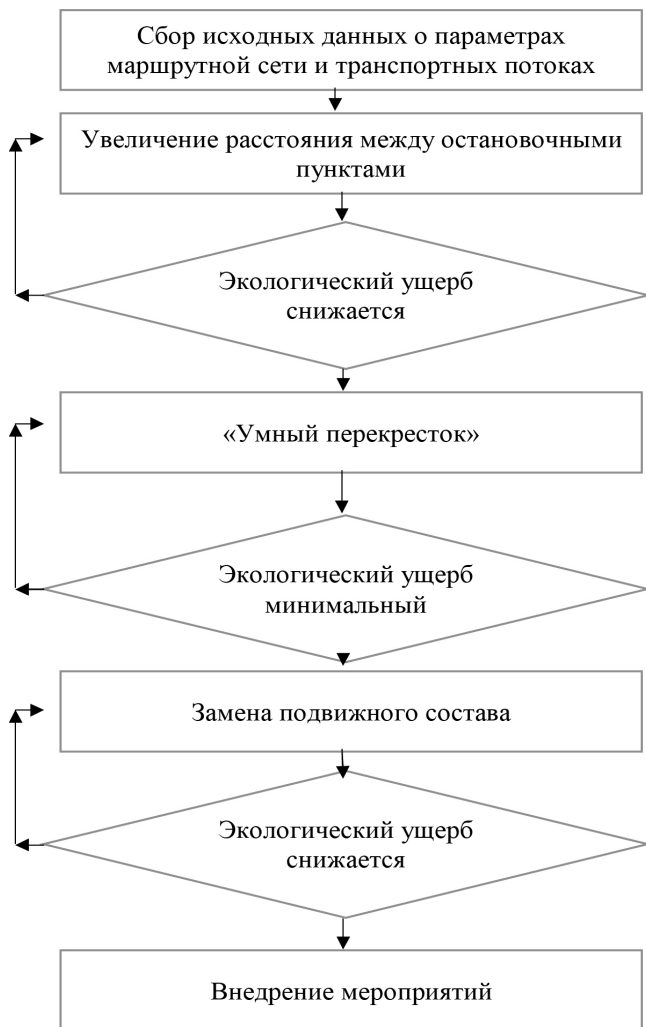


Рис. 5. Алгоритм выбора мероприятий по повышению экологической безопасности транспортных потоков путем воздействия на маршрутную сеть пассажирского транспорта общего пользования

Средняя расчетная скорость сообщения для каждого варианта по ул. Октябрьская представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Средняя скорость сообщения на отрезке

Показатель	Без изменений	«Умные перекрестки»	Без светофоров
1	2	3	4
S, км	1,5	1,5	1,5
t, ч	0,16	0,14	0,13
V _{ср} , км/ч	9,375	10,71	11,5

Из таблицы 1 видно, что при введении мероприятия «Умные перекрестки», время проезда снижается, а средняя скорость проезда данного отрезка увеличивается. Зная среднюю скорость сообщения для каждого из трех вариантов по ул. Октябрьская и интенсивность движения, можем рассчитать количество вредных выбросов от транспорта общего пользования. Расчеты представлены на рисунке 6.

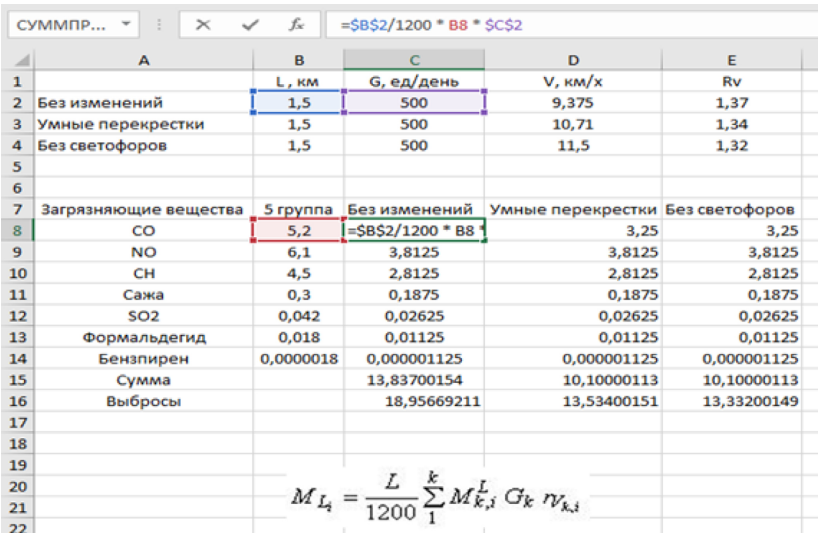


Рис. 6. Пример расчета выбросов

Можно сделать вывод, что введение мероприятия по внедрению «умных перекрестков» позволит улучшить экологическую ситуацию на данном участке дороги за счет увеличения скорости

сообщения и уменьшения простоя транспорта общего пользования на перекрестках.

Также можно посчитать снижение задержек на регулируемых и нерегулируемых перекрестках по ул. Октябрьская. Они снизятся на 15% и будут на 2,25 секунды меньше, чем было. Время задержки на каждом перекрёстке составит 12,5 секунд, а в общем на отрезке по ул. Октябрьская можно будет сэкономить транспорту общего пользования 1 минуту 30 секунд.

Рассмотрим более подробно изменение экологического воздействия на окружающую среду при замене подвижного состава. Большинство подвижного состава, движущегося по ул. Красная и ул. Октябрьская, являются уже устаревшими, которые наносят значительный вред окружающей среде от отработавших газов, шума и лишь 10 % являются электрическим транспортом.

Предлагается заменить подвижной состав на электробусы. Интенсивность движения транспорта общего пользования по ул. Красная и ул. Октябрьская за один час в одном направлении представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Интенсивность движения

Улица	Автобусные маршруты	Троллейбусы	Всего
Октябрьская	56	29	85
Красная	75	5	80

Рассчитаем выбросы для 1 км дороги по которой проедут 100 единиц транспорта общего пользования. Пример расчётов представлен на рисунке 7.

Из расчетов видно, что выбросы составят 2,454 г/км. И это всего лишь на 1 км дороги 100 единиц транспорта общего пользования. А по ул. Красная и ул. Октябрьская проходит около 20-25 автобусных маршрутов, каждый из которых делает по несколько десятков рейсов. Замена подвижного состава позволит снизить выбросы отработавших газов.

E11

	A	B	C	D	E
1		L, км	G, ед/день	V, км/ч	Rv
2	Автобус	1	100	10	1,35
3					
4					
5					
6					
7	Загрязняющие вещества	5 группа	Атобус		
8	CO	5,2	0,433333333		
9	NO	6,1	0,508333333		
10	CH	4,5	0,375		
11	Сажа	0,3	0,025		
12	SO2	0,042	0,0035		
13	Формальдегид	0,018	0,0015		
14	Бензпирен	0,0000018	0,00000015		
15	Сумма		1,818000203		
16	Выбросы		2,454300273		
17					
18					
19					
20	$M_{L_i} = \frac{L}{1200} \sum_1^k M_{k,i}^L G_k r_{v_{k,i}}$				
21					
22					

Рис. 7. Расчет выброс на 1 км дороги

В настоящее время охрана окружающей среды представляет собой одну из самых насущных и глобальных проблем человечества. Причина этого в быстром росте транспортной системы, особенно в крупных мегаполисах. Решение этой задачи требует комплексного подхода, который должен охватывать как этап производства автомобилей, так и этап их использования. Снижение экологического воздействия автотранспорта на экосистему городов требует значительных финансовых вложений. Следует разработать и внедрить экономические инструменты, которые будут способствовать покупкам и использованию экологически безопасных транспортных средств, а также привлечению инвестиций для их производства.

Список литературы

1. Анализ маршрутной сети Г. Краснодара / Т. В. Коновалова, А. Е. Арешкина, С. В. Коцурба, С. Л. Надирян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2021. № 3. С. 46-50.
2. Изюмский А. А. Методы обеспечения экологичности схем организации дорожного движения / А. А. Изюмский, И. С. Сенин. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2018. 183 с.
3. Коновалова Т. В. Экологическая ситуация в Краснодаре / Т. В. Коновалова, А. Ю. Иноземцева // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 октября 2020 года. Краснодар: ООО «Принт Терра», 2020. С. 1081-1083.
4. Котенкова И. Н. Методы повышения экологической безопасности муниципальных образований на примере г. Краснодара / И. Н. Котенкова, С. В. Коцурба // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Донецк, 25 мая 2022 года / Донецкая академия транспорта. Донецк: Донецкая академия транспорта, 2022. С. 143-146.
5. Котенкова И. Н. Повышение экологической безопасности транспортных потоков в крупных городах / И. Н. Котенкова, И. С. Сенин, А. А. Замбрыцкая // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам шестой международной научно-практической конференции, Краснодар, 21–22 декабря 2023 года. Краснодар: ООО «Принт-Терра», 2024. С. 443-447.
6. Надирян С. Л. Методика оптимизации численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2024. 140 с.

7. Надирян С. Л. Экологичность транспортной системы России / С. Л. Надирян, Ф. А. Баглай, Е. Ю. Мысливцева // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2020. № 1. С. 345-352.
8. Надирян С. Л. Maas-мобильность как услуга. Перспективы развития / С. Л. Надирян, И. Н. Котенкова // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 4. С. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>
9. Надирян С. Л. Maas-мобильность как услуга. Перспективы развития / С. Л. Надирян, И. Н. Котенкова // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 4. С. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>
10. Обеспечение экологической безопасности транспортных потоков в городах на примере Г. Краснодара / И. Н. Котенкова, И. С. Сенин, Г. И. Беленков, А. А. Замбржицкая // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XIX Международной научно-технической конференции, Саратов, 11 апреля 2024 года. Саратов: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2024. С. 198-201.
11. Организация дорожного движения с учетом экологической и экономической составляющей на примере г. Краснодара / А. А. Изюмский, С. Л. Надирян, И. С. Сенин, В. В. Лазаренко // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2021. № 9. С. 173-178. <https://doi.org/10.23672/p6702-6330-4625-d>
12. Повышение эффективности транспортно-логистических процессов за счет оптимизации систем управления транспортных средств / Т. В. Коновалова, Ю. Д. Шевцов, С. Л. Надирян [и др.] // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 4. С. 7-26. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-7-26>
13. Шепелева М. Д. Влияние автомобильного транспорта на экологическую среду Краснодара / М. Д. Шепелева, С. Л. Надирян // Транспортные и транспортно-технологические системы: Матери-

алы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 15 апреля 2021 года / Отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 321-324.

14. Экологические проблемы юга России и пути их решения / Т. В. Коновалова, Л. Б. Миротин, Е. А. Лебедев [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3-5(82). С. 99-107. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-5\(82\)-99-107](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-99-107)
15. Элементы дорожной инфраструктуры и влияние их на безопасность дорожного движения / Т. В. Коновалова, С. Л. Надирян, А. А. Изюмский, С. В. Коцурба // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 2. С. 49-68. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68>

References

1. Analysis of the route network of Krasnodar / T. V. Konovalova, A. E. Areshkina, S. V. Kotsurba, S. L. Nadiryan. *Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin)*, 2021, no. 3, pp. 46-50.
2. Iziumskiy A. A. *Methods of ensuring the environmental friendliness of traffic organization schemes* / A. A. Iziumskiy, I. S. Senin. Krasnodar: Kuban State Technological University, 2018, 183 p.
3. Konovalova T. V. Ecological situation in Krasnodar / T. V. Konovalova, A. Y. Inozemtseva. *Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles on the materials of the third international scientific-practical conference, Krasnodar, October 29-30, 2020*. Krasnodar: LLC "Print Terra", 2020, pp. 1081-1083.
4. Kotenkova I. N. Methods of improving the environmental safety of municipalities by the example of Krasnodar / I. N. Kotenkova, S. V. Kotsurba. *Scientific and technical aspects of innovative development of transport complex: Collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference, Donetsk, May 25, 2022*. Donetsk: Donetsk Academy of Transport, 2022, pp. 143-146.
5. Kotenkova I. N. Increasing the environmental safety of traffic flows in large cities / I. N. Kotenkova, I. S. Senin, A. A. Zambrzhitskaya. *Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collec-*

- tion of scientific articles on the materials of the sixth international scientific-practical conference, Krasnodar, December 21-22, 2023. Krasnodar: LLC "PrintTerra", 2024, pp. 443-447.*
6. Nadiryan S. L. Methodology for optimizing the number of vehicles serving regular routes of urban passenger transport: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2024, 140 p.
 7. Nadiryan, S. L. Environmental friendliness of the Russian transport system / S. L. Nadiryan, F. A. Baglay, E. Yu. Myslivtseva. *Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin)*, 2020, no. 1, pp. 345-352.
 8. Nadiryan S. L. Maas-mobility as a service. Prospects of development / S. L. Nadiryan, I. N. Kotenkova. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>
 9. Nadiryan S. L. Maas-mobility as a service. Development Prospects / S. L. Nadiryan, I. N. Kotenkova. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>
 10. Provision of ecological safety of transport flows in the cities on the example of G. Krasnodar / I. N. Kotenkova, I. S. Senin, G. I. Belenkov, A. A. Zambrzhitskaya. *Actual issues of organization of road transportation, traffic safety and operation of vehicles: Collection of scientific papers on the materials of the XIX International Scientific and Technical Conference, Saratov, April 11, 2024. Saratov: Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin*, 2024, pp. 198-201.
 11. Organization of road traffic taking into account the environmental and economic component on the example of Krasnodar / A. A. Iziumskiy, S. L. Nadiryan, I. S. Senin, V. V. Lazarenko. *Humanities, Socio-Economic and Social Sciences*, 2021, no. 9, pp. 173-178. <https://doi.org/10.23672/p6702-6330-4625-d>
 12. Increasing the efficiency of transport and logistics processes by optimizing vehicle control systems / T. V. Konovalova, Y. D. Shevtsov, S. L. Nadiryan [et al.]. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 7-26. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-7-26>

13. Shepeleva M. D. Impact of road transport on the ecological environment of Krasnodar / M. D. Shepeleva, S. L. Nadiryan. *Transport and transport-technological systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen, April 15, 2021* / Editor-in-Chief N. S. Zakharov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021, pp. 321-324.
14. Ecological problems of the south of Russia and ways to solve them / T.V. Konovalova, L.B. Mirotin, E.A. Lebedev [et al.]. *World of Transport and Technological Machines*, 2023, no. 3-5(82), pp. 99-107. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-5\(82\)-99-107](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-99-107)
15. Elements of road infrastructure and their impact on road safety / T. V. Konovalova, S. L. Nadiryan, A. A. Iziumsky, S. V. Kotsurba. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 49-68. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-2-49-68>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Коновалова Татьяна Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Транспортных процессов и технологических комплексов»

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край, 350072, Российская Федерация

tan_kon@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

Плаксунова Вероника Михайловна, студент кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край, 350072, Российская Федерация
plaksunova173@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana V. Konovalova, Candidate of Economics, Associate Professor, Head of the Department of “Transport Processes and Technological Complexes”
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
tan_kon@mail.ru

Sofiya L. Nadiryan, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of the “Transport Processes and Technological Complexes”
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
sofi008008@yandex.ru

Veronika M. Plaksunova, Student of the Department of “Transport Processes and Technological Complexes”
Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072, Russian Federation
plaksunova173@gmail.com

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 05.12.2024

Received 13.11.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 05.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-321

EDN: NWVXOD

УДК 656.1



Научная статья | Управление процессами перевозок

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕР ПО РАЗВИТИЮ ВЕЛОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.С. Лавренец

Аннотация

В данной статье авторы предлагают алгоритм планирования мер по развитию велотранспортной инфраструктуры. Была приведена статистика по использованию велосипедов, разобраны вопросы блоков алгоритма. На основании данного алгоритма можно объективно оценить текущее и перспективное состояние велодвижения и принять обоснованное оперативное или стратегическое решение о мерах по развитию велотранспортной инфраструктуры.

Цель – создание алгоритма планирования мер по развитию велотранспортной инфраструктуры.

Метод и методология проведения работы. В данной работе был использован статистический анализ.

Результаты. Была приведена статистика ДТП с велосипедистами и статистика использования велосипедов, предложен алгоритм планирования мер по развитию велотранспортной инфраструктуры.

Область применения результатов: научно-исследовательская деятельность по развитию велотранспортной среды.

Ключевые слова: алгоритм; велотранспортная инфраструктура; велосипед

Для цитирования. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Лавренец И.С. Алгоритм планирования мер по развитию велотранспортной инфраструктуры // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 100-112. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-321

Original article | Operation of Road Transport

ALGORITHM FOR PLANNING MEASURES FOR THE DEVELOPMENT OF CYCLING INFRASTRUCTURE

T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.S. Lavrenets

Abstract

In this article, the authors propose an algorithm for planning measures for the development of cycling infrastructure. Statistics on the use of bicycles were provided, and the questions of the algorithm blocks were analyzed. Based on this algorithm, it is possible to objectively assess the current and prospective state of cycling and make an informed operational or strategic decision on measures to develop cycling infrastructure.

Purpose. The goal is to create an algorithm for planning measures for the development of cycling infrastructure.

Materials and methods. Statistical analysis was used in this work.

Results. The statistics of accidents with cyclists and statistics of bicycle use were given, and an algorithm for planning measures for the development of cycling infrastructure was proposed.

Scope of application of the results: research activities for the development of the cycling environment.

Keywords: algorithm; bicycle transport infrastructure; bicycle

For citation. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Lavrenets I.S. Algorithm for Planning Measures for the Development of Cycling Infrastructure. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 100-112. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-321

В современном мире экологические проблемы становятся все более актуальными, поэтому развитие велосипедной инфраструктуры в городах приобретает особое значение. Велосипед все чаще рассматривается как городской утилитарный транспорт, который

может сократить, как и выбросы вредных веществ в атмосферу, так и решить проблему транспортных заторов.

Однако развитие велосипедного движения останавливает отсутствие, либо плохая развитость соответствующей инфраструктуры. Для успешного внедрения и эксплуатации велосипедной инфраструктуры необходимо разработать алгоритм действий, который будет учитывать потребности всех участников дорожного движения.

Ежегодно в России регистрируется более 4500 ДТП с пострадавшими велосипедистами, в которых погибает около 150 человек. Очевидно, что реальную статистику ДТП с участием велосипедистов без пострадавших оценить сложно, а количество конфликтных ситуаций с участием велосипедистов – практически невозможно. Так же сложно рассчитать фактическую интенсивность движения велосипедистов, так как они передвигаются по непредсказуемым траекториям (велосипедные дорожки, тротуары, проезжая часть городских улиц, парки, скверы и т.п.).

Согласно статистике, личный велосипед есть у 27% жителей России. Количество велосипедистов среди мужчин и женщин примерно одинаковое: 51% и 49%, соответственно. Большая часть тех, кто использует велосипед в качестве средства передвижения, – это люди в возрасте 25–44 лет (59%). Однако, по данным опросов городского населения, ездили на велосипеде за последние семь дней в качестве средства передвижения 6,9%, а просто для удовольствия – 8,6%.

За последние 5 лет интенсивность движения велосипедистов в городах увеличилась более чем в 10 раз. Это в основном связано с «бумом» роста доставок товаров населению, который пришелся на период ограничений на передвижения во время пандемии в 2020 г. В настоящее время ежегодный прирост интенсивности движения велосипедистов не превышает 2%. Важной особенностью текущего состава велопотока является то, что около 57% велосипедистов – это работники сервисов доставки, что являет-

ся положительным фактором прогнозирования характеристик и направленности велопотока.

Хаотичное развитие велотранспортной инфраструктуры обусловлено с одной стороны сезонной необходимостью в ней и невозможностью выделения отдельных путей сообщения в сложившейся густонаселенной застройке, а с другой стороны большими капитальными вложениями без научно обоснованного социально-экономического эффекта. В то же время отсутствие развитой велотранспортной системы города, является сдерживающим фактором повышения интенсивности движения велосипедистов.

В связи с вышеизложенным, необходим комплексный алгоритм, который поможет местным органам власти и заинтересованным сторонам эффективно планировать и реализовывать проекты по развитию велосипедной инфраструктуры, способствуя улучшению качества жизни горожан и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Алгоритм состоит из нескольких вопросов, на которые необходимо последовательно отвечать. В зависимости от ответа на вопрос – будет получен ответ, что надлежит делать с велосипедной инфраструктурой города.

Рассмотрим подробнее блоки алгоритма, представленного на рисунке 1.

Блок 1. «Есть ли велосипедные дорожки, соединяющие жилые микрорайоны и места отдыха горожан с транспортными узлами?»

На этом этапе необходимо провести оценку существующих велосипедных маршрутов, велополос и велодорожек. Изучить их местоположение, что они соединяют и образуют ли сеть, позволяющую беспрепятственно добраться до транспортных узлов.

Блок 2. «Существуют ли магистральные велодорожки, позволяющие велосипедистам добраться из одного района города в другой?»

Магистральные велодорожки имеют большое значение, аналогично магистралям в автомобильных дорогах они обеспечивают быстрое и эффективное перемещение.

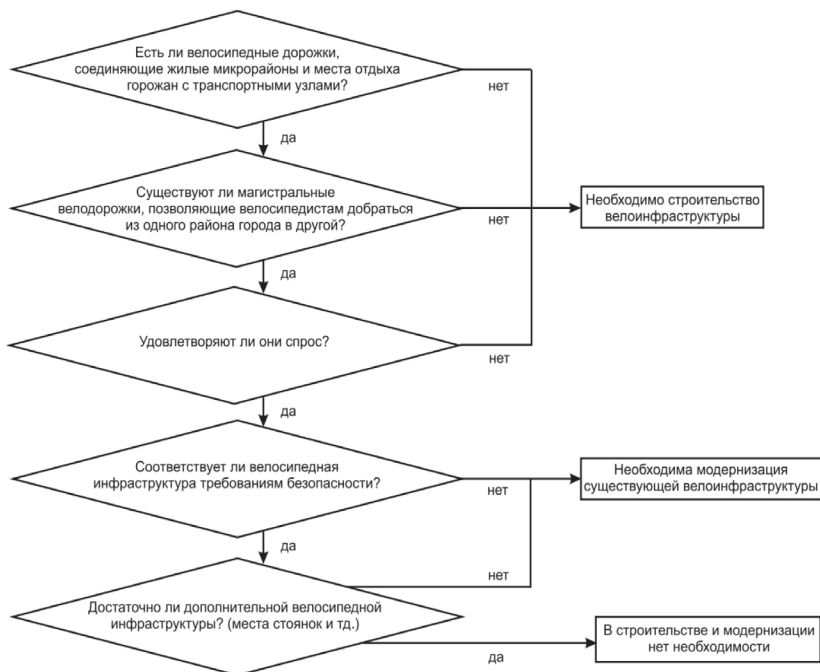


Рис. 1. Алгоритм развития велотранспортной инфраструктуры

Блок 3. «Удовлетворяют ли они спрос?»

Для оценки интенсивности движения на велосипедных маршрутах важно проводить замеры интенсивности движения, уровень загруженности дорог и качество обслуживания. Эти данные помогут выявить наиболее загруженные участки маршрутов, либо выявить незагруженные места и принять меры для их улучшения, что в конечном итоге повысит уровень безопасности и удобства для велосипедистов.

Интенсивность движения можно измерить датчиками, камерами видеонаблюдения или натурными замерами. На основе полученных данных можно определить, удовлетворяют ли существующие велосипедные маршруты спрос, и принять меры для их улучшения.

Блок 4. «Соответствует ли велосипедная инфраструктура требованиям безопасности?»

Вопрос соответствия велосипедной инфраструктуры требованиям безопасности является ключевым для успешного внедрения и эксплуатации велосипедных маршрутов в городе. Безопасность велосипедистов напрямую влияет на их готовность использовать велосипеды для ежедневных поездок.

Основные аспекты безопасности велосипедной инфраструктуры:

Разделение потоков. Велосипедные дорожки должны быть физически отделены от автомобильных дорог, чтобы минимизировать риск столкновений.

Освещение и разметка. Велосипедные маршруты должны быть хорошо освещены в темное время суток, чтобы велосипедисты могли безопасно передвигаться.

На сегодняшний момент нормативными документами, регламентирующие требования безопасности велосипедной инфраструктуры является:

ГОСТ 33150-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование пешеходных и велосипедных дорожек. Общие требования»

ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля»

Блок 5. «Достаточно ли дополнительной велосипедной инфраструктуры?»

Дополнительная велосипедная инфраструктура включает в себя различные элементы, которые помогают сделать велосипедное движение более безопасным, удобным и привлекательным.

Велопарковки. Это специально оборудованные места для парковки велосипедов. Они должны быть расположены в удобных и безопасных местах, таких как возле крупных магазинов, вузов, колледжей, школ, деловых центров, кинотеатров, спорткомплексов, жилых комплексов и гостиниц.

Информационные знаки и разметка. Установка велосипедных светофоров, знаков и разметки на перекрестках и велосипедных маршрутах помогает велосипедистам ориентироваться и соблюдать правила дорожного движения.

На основании данного алгоритма можно объективно оценить текущее и перспективное состояние велодвижения и принять обоснованное оперативное или стратегическое решение о мерах по развитию велотранспортной инфраструктуры.

Список литературы

1. Маркина В.В. Анализ интенсивности велосипедного движения в городе Екатеринбурге и формирование критериев качества проектирования велосипедной инфраструктуры // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 55-1. С. 70-76. <https://doi.org/10.18411/Ij-10-2019-15>
2. Галаева Н.Л. К вопросу проектирования велосипедных полос при развитии велотранспортной инфраструктуры городской среды // Перспективы науки. 2021. № 4. С. 258-261.
3. Чингуль А.А., Прохожев Н.О. Внедрение велосипедной инфраструктуры в городское планирование Нижнего Новгорода // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. С. 856-860.
4. Коновалова Т. В. Экологическая ситуация в Краснодаре / Т. В. Коновалова, А. Ю. Иноземцева // Механика, оборудование, материалы и технологии: Электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции, Краснодар, 29–30 октября 2020 года. Краснодар: ООО «Принт Терра», 2020. С. 1081-1083.
5. Надирян С. Л. Маас-мобильность как услуга. Перспективы развития / С. Л. Надирян, И. Н. Котенкова // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 4. С. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>

6. Еремин А.В., Волокитин В.П., Абрамов Ф.М., Корнилов Е.В. Интеграция велосипедной инфраструктуры в городскую среду и общественные пространства / Еремин А.В., Волокитин В.П., Абрамов Ф.М., Корнилов Е.В. // Высокие технологии в строительном комплексе. 2023. № 2. С. 120-123.
7. Иванова Н.В, Ганжа О.А. Ранжирование факторов, влияющих на проектирование сети велосипедной инфраструктуры // Вестник Волгоградского Государственного Архитектурно-Строительного Университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. № 3. С. 132-146. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_3_132
8. Optimization of pedestrian traffic in residential areas of large cities / T. V. Konovalova, S. L. Nadiryan, M. P. Mironova, A. E. Litvinov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1159, No. 1. P. 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012019>
9. Statistical means of the assessment of the passive safety of road vehicles / E. Y. Balaev, T. V. Konovalova, A. E. Litvinov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1159, No. 1. P. 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012098>
10. Нелюбин А. В. Перспективы и принципы развития велосипедной инфраструктуры на территории природных объектов города Москвы // Наука в мегаполисе. 2021. № 4(30). <https://mgpu-media.ru/issues/issue-30/man-modern-city/perspectives-principles.html>
11. Альков В. И. Критерии оценки качества велосипедной инфраструктуры города с использованием инновационной системы совместного использования велосипедов // Молодой ученый. 2021. № 4(346). С. 4-6.
12. Нелюбин А. В. Анализ реализации проекта велосипедной инфраструктуры на территории района Крылатское города Москва // Наука в мегаполисе. 2024. № 2(58). <https://mgpu-media.ru/issues/issue-58/gradostroitelstvo/analiz-realizatsii-proekta-velosipednoj-infrastruktury-na-territorii-rajona-krylatskoe-goroda-moskva.html>

13. Дулат А. Развитие велосипедной инфраструктуры в Астане: принципы и перспективы // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 6(75). С. 2234-2239.
14. Иванова Н. В. Ранжирование факторов, влияющих на проектирование сети велосипедной инфраструктуры / Н. В. Иванова, О. А. Ганжа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. № 3(96). С. 132-146. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_3_132
15. Фаррахов А. Г. К вопросу о расширении социальной инфраструктуры велосипедным транспортом в городах РФ / А. Г. Фаррахов, А. Р. Ишниязова // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 13–14 апреля 2023 года / Отв. редактор П.В. Евтин. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. С. 380-384.
16. Плотникова Д. Ю. Развитие велосипедной инфраструктуры, как фактор комфортной городской среды и развития туризма // Тенденции развития современной науки: сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 10-20 апреля 2022 года. Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. С. 318-323.

References

1. Markina V.V. Analysis of the intensity of bicycle traffic in the city of Yekaterinburg and the formation of quality criteria for the design of bicycle infrastructure. *Trends in the development of science and education*, 2019, no. 55-1, pp. 70-76. <https://doi.org/10.18411/lj-10-2019-15>
2. Galaeva N.L. To the issue of designing bicycle lanes in the development of bicycle transportation infrastructure of urban environment. *Prospects of Science*, 2021, no. 4, pp. 258-261.

3. Chingul A.A., Prokhozhev N.O. Introduction of the bicycle infrastructure in the urban planning of Nizhny Novgorod. *Interuniversity collection of articles of the contest winners*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2023, pp. 856-860.
4. Konovalova T. V. Ecological situation in Krasnodar / T. V. Konovalova, A. Y. Inozemtseva. *Mechanics, equipment, materials and technologies: Electronic collection of scientific articles on the materials of the third international scientific-practical conference, Krasnodar, October 29-30, 2020*. Krasnodar: LLC "Print Terra", 2020, pp. 1081-1083.
5. Nadiryan, S. L. Maas-mobility as a service. Prospects for development / S. L. Nadiryan, I. N. Kotenkova. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 41-51. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-4-41-51>
6. Eremin A.V., Volokitin V.P., Abramov F.M., Kornilov E.V. Integration of bicycle infrastructure into the urban environment and public spaces / Eremin A.V., Volokitin V.P., Abramov F.M., Kornilov E.V. *High technologies in the construction complex*, 2023, no. 2, pp. 120-123.
7. Ivanova N.V., Ganja O.A. Ranking of factors influencing the design of bicycle infrastructure network. *Bulletin of Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Construction and Architecture*, 2024, no. 3, pp. 132-146. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_3_132
8. Optimization of pedestrian traffic in residential areas of large cities / T. V. Konovalova, S. L. Nadiryan, M. P. Mironova, A. E. Litvinov. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1159, no. 1, p. 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012019>
9. Statistical means of the assessment of the passive safety of road vehicles / E. Y. Balaev, T. V. Konovalova, A. E. Litvinov [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1159, no. 1, pp. 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1159/1/012098>
10. Nelyubin A. V. Prospects and principles of bicycle infrastructure development on the territory of natural sites of Moscow. *Science in a*

- Megapolis*, 2021, no. 4(30). <https://mgpu-media.ru/issues/issue-30/man-modern-city/perspectives-principles.html>
11. Alkov V. I. Criteria for assessing the quality of bicycle infrastructure of the city using the innovative system of bicycle sharing. *Young Scientist*, 2021, no. 4(346), pp. 4-6.
 12. Nelyubin A. V. Analysis of bicycle infrastructure project implementation in the Krylatskoe district of Moscow. *Science in a Megapolis*, 2024, no. 2(58). <https://mgpu-media.ru/issues/issue-58/gradostroitelstvo/analiz-realizatsii-proekta-velosipednoj-infrastruktury-na-territorii-rajona-krylatskoe-goroda-moskva.html>
 13. Dulat A. Development of bicycle infrastructure in Astana: principles and prospects. *Vestnik nauki*, 2024, vol. 1, no. 6(75), pp. 2234-2239.
 14. Ivanova N. V. Ranking of factors influencing the design of bicycle infrastructure network / N. V. Ivanova, O. A. Ganzha. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2024, no. 3(96), pp. 132-146. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_3_132
 15. Farrakhov A. G. K question about the expansion of social infrastructure by bicycle transport in the cities of the Russian Federation / A. G. Farrakhov, A. R. Ishniyazova. *Transport and transport-technological systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen, April 13-14, 2023* / Editor-in-Chief P. V. Evtin. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2023, pp. 380-384.
 16. Plotnikova D. Yu. Development of bicycle infrastructure as a factor of comfortable urban environment and tourism development. *Trends in the development of modern science: Proceedings of the scientific and practical conference of students and graduate students of the Lipetsk State Technical University, Lipetsk, April 10-20, 2022*. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2022, pp. 318-323.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Коновалова Татьяна Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край,
350072, Российская Федерация
tan_kon@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*

Лаврениц Илья Сергеевич, преподаватель СПО кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов», студент кафедры «Транспортных процессов и технологических комплексов»
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край,
350072, Российская Федерация
Mr.Lavrenets46@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana V. Konovalova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the «Department of Transport Processes and Technological Complexes»
*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072,
Russian Federation
tan_kon@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

Ilya S. Lavrenets, Lecturer at the «Department of Transport Processes and Technological Complexes»

Kuban State Technological University

2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350072,

Russian Federation

Mr.Lavrenets46@mail.ru

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 11.12.2024

Принята 15.12.2024

Received 13.11.2024

Revised 11.12.2024

Accepted 15.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-322

EDN: YQIADQ

УДК 004.8:697.922



Научная статья |
Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТЕПЛОПOTЕРЬ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ ГОРОДА КАЗАНЬ ЗА ПЕРИОД 2020-2023 ГГ.)

А.А. Шакиров, А.И. Хабибрахманова

Аннотация

Обоснование. В исследовании представлено применение методов машинного обучения для прогнозирования теплопотерь в системе теплоснабжения города Казань на основе данных за период 2020–2023 годы. Прогнозирование теплопотерь позволяет повысить эффективность работы системы теплоснабжения, снизить затраты на производство и транспортировку тепла. В работе рассматриваются различные модели машинного обучения, такие как линейная регрессия, ансамблевые методы (случайный лес, градиентный бустинг) и нейронные сети, а также проводится оценка их точности и применимости в контексте городской инфраструктуры.

Цель – повышение точности прогнозирования теплопотерь в системе теплоснабжения города Казань с целью оптимизации работы и снижения эксплуатационных затрат.

Материалы и методы. Исследование базируется на операционных данных системы теплоснабжения, погодных данных, а также инфраструктурных характеристиках трубопроводов. Основные методы исследования включают линейную регрессию, методы регуляризации (Лассо, гребневая регрессия), ансамблевое обучение (случайный лес и градиентный бустинг) и многослойный перцептрон (MLP). Для оценки моделей использовались метрики MSE, MAPE и R2, а также кросс-валидация.

Результаты. Проведенный анализ показал, что методы машинного обучения, особенно градиентный бустинг и нейронные сети, позволяют достичь высокой точности прогнозирования теплопотерь ($R^2 = 0,89$). Применение данных методов способствует повышению энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат в теплоснабжающих системах.

Ключевые слова: теплопотери; прогнозирование; система теплоснабжения; машинное обучение; линейная регрессия; ансамблевые методы; нейронные сети; градиентный бустинг; энергоэффективность

Для цитирования. Шакиров А.А., Хабибрахманова А.И. Машинное обучение в прогнозировании теплопотерь в системах теплоснабжения (на примере данных города Казань за период 2020-2023 гг.) // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 113-133. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-322

Original article |
System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

MACHINE LEARNING IN PREDICTING HEAT LOSS IN HEAT SUPPLY SYSTEMS (USING THE EXAMPLE OF DATA FROM THE CITY OF KAZAN FOR THE PERIOD 2020-2023)

A.A. Shakirov, A.I. Khabibrakhmanova

Abstract

Background. The study presents the application of machine learning methods to predict heat loss in the heat supply system of the city of Kazan based on data for the period 2020-2023. Forecasting heat loss allows you to increase the efficiency of the heat supply system, reduce the cost of heat production and transportation. The paper examines various machine learning models, such as linear regression, ensemble methods (random forest, gradient boosting) and neural networks, and evaluates their accuracy and applicability in the context of urban infrastructure.

Purpose. Improving the accuracy of forecasting heat loss in the Kazan city heat supply system in order to optimize operation and reduce operating costs.

Materials and methods. The study is based on operational data of the heat supply system, weather data, as well as infrastructure characteristics of pipelines. The main research methods include linear regression, regularization methods (Lasso, ridge regression), ensemble learning (random forest and gradient boosting) and multilayer perceptron (MLP). The MSE, MAPE and R2 metrics, as well as cross-validation, were used to evaluate the models.

Results. The analysis showed that machine learning methods, especially gradient boosting and neural networks, make it possible to achieve high accuracy in predicting heat loss ($R^2 = 0,89$). The use of these methods helps to increase energy efficiency and reduce operating costs in heat supply systems.

Keywords: heat loss; forecasting; heat supply system; machine learning; linear regression; ensemble methods; neural networks; gradient boosting; energy efficiency

For citation. Shakirov A.A., Khabibrakhmanova A.I. Machine Learning in Predicting Heat Loss in Heat Supply Systems (using the Example of Data from the City of Kazan for the Period 2020-2023). *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 113-133. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-322

Введение

Эффективное управление системами теплоснабжения является важной задачей для городов, особенно в условиях роста энергозатрат и необходимости повышения энергоэффективности. Одним из ключевых аспектов управления теплоснабжением является минимизация теплопотерь, которые составляют значительную часть общих потерь энергии в тепловых сетях. Теплопотери в системах теплоснабжения могут быть обусловлены различными факторами, такими как изношенность инфраструктуры, климатические условия и недостаточная оперативность управления. Точное прогнозирование теплопотерь позволяет оптимизировать работу системы теплоснабжения, снижая затраты на производ-

ство и транспортировку тепла и, соответственно, повышая надежность и эффективность теплоснабжения [1].

Использование методов машинного обучения для прогнозирования теплопотерь в системах теплоснабжения является сравнительно новым направлением, которое может существенно повысить качество управления такими системами. Методы машинного обучения обладают способностью анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности [2], что делает их перспективными для решения задач прогнозирования теплопотерь. В данном исследовании рассматривается применение методов машинного обучения к прогнозированию теплопотерь в системе теплоснабжения города Казань на основе данных за период с 2020 по 2023 годы. Новизна работы заключается в применении современных подходов к анализу данных для повышения точности прогнозирования теплопотерь с учетом специфики городской теплоснабжающей инфраструктуры.

Обзор отечественной и зарубежной литературы показывает, что вопросы прогнозирования теплопотерь исследуются в различных аспектах [3-6], однако работы, ориентированные на использование методов машинного обучения в контексте теплоснабжения, практически отсутствуют. Зарубежные исследования в этой области часто фокусируются на моделировании тепловых процессов в масштабах небольших населенных пунктов или районов с использованием традиционных методов статистического анализа [7-10]. В то же время отечественные исследования сосредоточены на анализе технического состояния тепловых сетей и подходах к оптимизации их работы [3-6]. В контексте данной работы особое внимание уделяется интеграции подходов машинного обучения и специфике локальных условий, что позволяет получить более точные прогнозы для городских систем теплоснабжения.

Целью настоящего исследования является разработка и апробация моделей машинного обучения для прогнозирования теплопотерь в системе теплоснабжения города Казань. Для достиже-

ния поставленной цели необходимо решить следующие задачи: сбор и предобработка данных о теплопотерях, выбор и настройка моделей машинного обучения, оценка их точности и применимость для практического использования. Гипотеза исследования состоит в том, что использование методов машинного обучения позволит значительно повысить точность прогнозирования теплопотерь по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы

Исследование базируется на данных о теплопотерях в системе теплоснабжения города Казань за период с 2020 по 2023 годы. Источниками данных являются:

- операционные данные системы теплоснабжения. Они включают в себя параметры температуры теплоносителя на входе и выходе, давление в системе, скорость потока, а также потребление тепла в различных сегментах сети;

- погодные данные, такие как температура окружающей среды, влажность воздуха, скорость и направление ветра за период 2020-2023 годов. Эти данные собирались из метеорологических источников для учета влияния климатических факторов на теплопотери;

- инфраструктурные данные, которые включают информацию о характеристиках трубопроводов, таких как диаметр, материал, толщина изоляции, возраст трубопровода и протяженность сети в различных районах города.

Перед началом построения моделей машинного обучения все собранные данные были подвергнуты тщательной предобработке, включающей следующие этапы:

- Очистка данных. Она включает в себя удаление отсутствующих значений, а также выбросов, которые могли возникнуть из-за ошибок в измерениях или сбоя в оборудовании [11]. Для удаления выбросов использовались методы межквартильного размаха (IQR) и z-оценка.

– Интеграция данных. Все данные были объединены в единую таблицу, где каждому наблюдению соответствует временной интервал и связанные с ним погодные и операционные параметры [11]. Для этого использовались временные метки, что позволяло синхронизировать данные из различных источников.

– Нормализация данных. Для моделей машинного обучения были нормализованы количественные признаки (такие как температура, давление и скорость потока) с целью улучшения сходимости алгоритмов и повышения их точности [11].

Для прогнозирования тепловпотерь были использованы различные методы машинного обучения, которые разделяются на две основные группы: регрессионные методы и методы ансамблевого обучения.

1. Регрессионные модели:

– линейная регрессия использовалась для базовой оценки точности прогнозирования, а также для установления основных зависимостей между переменными;

– лассо-регрессия и гребневая регрессия применялись для борьбы с многоколлинеарностью и улучшения обобщающей способности моделей [12].

2. Методы ансамблевого обучения:

– случайный лес использовался для учета нелинейных зависимостей между параметрами и повышения устойчивости модели к выбросам;

– градиентный бустинг применялся для повышения точности модели за счет последовательного обучения слабых моделей с использованием библиотеки XGBoost [12].

Для более сложного анализа использовалась нейронная сеть типа MLP (многослойный перцептрон). Данный подход был направлен на моделирование сложных нелинейных зависимостей в данных и позволяет учитывать временные взаимодействия между параметрами системы [9].

Для оценки точности и устойчивости каждой модели использовалась кросс-валидация с десятикратным разбиением данных.

Такой подход позволил уменьшить влияние случайного выбора обучающей и тестовой выборок и обеспечивал более объективную оценку точности моделей.

Основными метриками для оценки качества прогнозирования теплотер были выбраны [11]:

- среднеквадратическая ошибка (MSE) – для оценки отклонения прогнозируемых значений от фактических;
- средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) – для оценки точности моделей в процентах, что упрощает интерпретацию результатов для практического применения;
- коэффициент детерминации (R^2) – для оценки доли объясненной вариативности в данных.

Выбор наилучшей модели осуществлялся на основе значений метрик MSE, MAPE и R^2 [13]. Дополнительно учитывалась интерпретируемость модели и время её обучения. В ходе анализа проводился подбор гиперпараметров моделей с использованием методов случайного поиска и сеточного поиска для достижения наилучших показателей качества.

Основная часть

На первом этапе исследования был проведен предварительный анализ данных с целью выявления основных характеристик и особенностей исследуемых показателей. Для анализа использовались временные ряды данных о теплотерях, а также связанные с ними погодные и операционные параметры за период с 2020 по 2023 годы. Результаты анализа показали наличие сезонных колебаний теплотер, что объясняется изменениями климатических условий, характерными для региона.

Для оценки базовой зависимости между параметрами была выбрана модель линейной регрессии. Линейная регрессия использовалась в качестве начальной модели, позволив оценить влияние различных факторов на теплотери и определить базовый уровень точности прогнозирования. Формула линейной регрессии имеет вид [14]:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \tau,$$

где Y – прогнозируемое значение теплотер, X_i – входные параметры, такие как температура, давление и скорость потока, β_i – коэффициенты регрессии, τ – случайная ошибка [14].

По результатам построения линейной модели была установлена точность прогноза, которая составила около 72% (коэффициент детерминации $R^2 = 0,72$). Для повышения качества прогнозирования применялись методы регуляризации, такие как Лассо-регрессия и гребневая регрессия [14]:

$$L(\beta) = \sum_{i=1}^m (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_{j=1}^n |\beta_j|,$$

где λ – параметр регуляризации, определяющий степень штрафа. Лассо-регрессия помогла исключить незначимые переменные, что снизило переобучение модели [14].

Гребневая регрессия использует другой подход к регуляризации, минимизируя квадраты коэффициентов [15]:

$$L(\beta) = \sum_{i=1}^m (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_{j=1}^n \beta_j^2,$$

где λ – параметр регуляризации, определяющий степень штрафа. Лассо-регрессия помогла исключить незначимые переменные, что снизило переобучение модели.

Эти методы позволили уменьшить влияние многоколлинеарности, обеспечить лучшую обобщающую способность моделей, а также улучшить точность модели до коэффициента детерминации $R^2 = 0,75$. Результаты применения регуляризованных моделей представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты регуляризации линейной модели

Модель	Среднеквадратическая ошибка (MSE)	Коэффициент детерминации (R^2)
Линейная регрессия	3,45	0,72
Лассо-регрессия	3,32	0,74
Гребневая регрессия	3,29	0,75

Следующим этапом стало применение ансамблевых методов, таких как случайный лес и градиентный бустинг. Случайный лес состоит из множества деревьев решений, каждое из которых обучается на случайной выборке из исходных данных. Прогноз теплотер (Y) в модели случайного леса вычисляется как среднее значение прогнозов всех деревьев [16]:

$$Y_{forest} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_{tree_i},$$

где k – количество деревьев в лесу, а Y_{tree_i} – прогноз i-го дерева.

Модель градиентного бустинга использует последовательный подход к обучению, корректируя ошибки предыдущих моделей. Основная идея заключается в минимизации функции потерь путем добавления нового дерева, направленного на уменьшение ошибки [16]:

$$y_i^{(t)} = y_i^{(t-1)} + \eta f_t(X_i),$$

где $y_i^{(t)}$ – значение прогноза на t-й итерации, η – коэффициент обучения, $f_t(X_i)$ – функция ошибки текущей модели.

Градиентный бустинг продемонстрировал наилучшую точность среди всех ансамблевых методов, среднеквадратическая ошибка (MSE) составила 2.15, а коэффициент детерминации достиг 0,89. Результаты ансамблевых моделей представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты применения ансамблевых методов

Модель	Среднеквадратическая ошибка (MSE)	Коэффициент детерминации (R ²)
Случайный лес	2,25	0,87
Градиентный бустинг	2,15	0,89

В ходе исследования также использовалась модель нейронной сети типа многослойного перцептрона (MLP). Нейронная сеть включала три скрытых слоя по 128 нейронов в каждом, использующих функцию активации ReLU [17]:

$$f(x) = \max(0, x),$$

что позволяло эффективно моделировать сложные нелинейные зависимости. Выходной слой нейронной сети имел линейную

функцию активации для предсказания теплотерь. Обучение модели проводилось методом обратного распространения ошибки с использованием оптимизатора Adam, что обеспечило быструю сходимость модели.

Таблица 3.

Результаты применения ансамблевых методов

Модель	Среднеквадратическая ошибка (MSE)	Коэффициент детерминации (R^2)
Нейронная сеть (MLP)	2,18	0,88

Рисунок 1 показывает сравнение фактических и прогнозируемых значений теплотерь для различных моделей, иллюстрируя точность предсказаний. На графике видно, что ансамблевые модели и нейронная сеть обеспечивают более точное соответствие фактическим значениям теплотерь по сравнению с линейной регрессией.

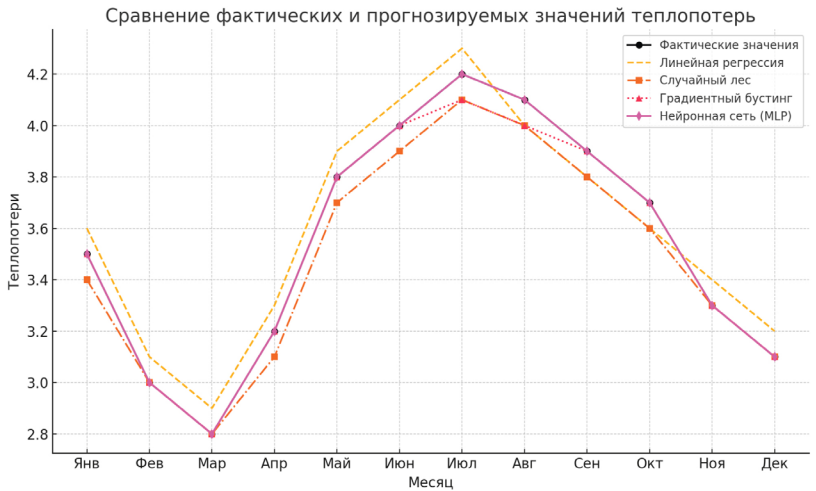


Рис. 1. Сравнение фактических и прогнозируемых значений теплотерь

Анализ точности моделей

Результаты моделирования показали, что использование современных методов машинного обучения позволяет достичь вы-

сокой точности прогнозирования теплопотерь. Таблица 4 представляет сравнительный анализ ключевых метрик для линейной регрессии, случайного леса, градиентного бустинга и нейронной сети (MLP).

Таблица 4.

Сравнение показателей качества моделей

Модель	Среднеквадратическая ошибка (MSE)	Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE, %)	Коэффициент детерминации (R^2)
Линейная регрессия	3,45	8,2	0,72
Случайный лес	2,25	5,1	0,87
Градиентный бустинг	2,15	4,9	0,89
Нейронная сеть	2,18	5,0	0,88

Как видно из таблицы, модели ансамблевого обучения и нейронная сеть продемонстрировали значительно лучшие результаты по сравнению с линейной регрессией. Модель градиентного бустинга показала наилучшие показатели точности, с наименьшей среднеквадратической ошибкой ($MSE = 2,15$) и высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,89$), что свидетельствует о высокой способности модели предсказывать теплопотери [17]. Нейронная сеть также показала точные результаты, сопоставимые с ансамблевыми методами [17].

Обсуждение результатов

Основным достижением данного исследования стало выявление высокоэффективных моделей для прогнозирования теплопотерь в системах теплоснабжения, использующих методы машинного обучения. Линейная регрессия показала наихудшие результаты, что объясняется её ограниченной способностью учитывать сложные нелинейные зависимости между переменными [15]. Модели Лассо и гребневой регрессии с регуляризацией обеспечили небольшое улучшение, но по-прежнему оставались менее точными, чем ансамблевые методы [17].

Ансамблевые методы, такие как случайный лес и градиентный бустинг, продемонстрировали значительное улучшение точности [17]. Это связано с тем, что ансамблевые методы позволяют учитывать сложные зависимости между факторами, что особенно важно для прогнозирования теплопотерь в условиях изменчивых климатических и эксплуатационных условий. Случайный лес показал хорошую устойчивость к шуму и выбросам в данных, что делает его подходящим для практического применения в теплоснабжении, особенно когда качество данных может варьироваться.

Модель градиентного бустинга показала наилучшие результаты по метрике средней абсолютной процентной ошибки (MAPE = 4,9%), что подтверждает её эффективность в условиях значительной изменчивости данных. Сравнение прогнозируемых и фактических значений теплопотерь, представленное на графике 1, также демонстрирует близость этих значений для градиентного бустинга, что подтверждает его высокую предсказательную способность.

Нейронная сеть также показала высокую точность, что связано с её способностью учитывать сложные нелинейные зависимости и работать с большим количеством входных параметров. Однако обучение нейронной сети требует большего времени и вычислительных ресурсов по сравнению с ансамблевыми методами, что может ограничивать её применение на практике [18]. Тем не менее, использование нейронных сетей перспективно в условиях, когда точность прогнозов является критически важной.

Сравнение с предыдущими исследованиями

Результаты настоящего исследования сопоставимы с результатами, полученными в других работах, посвященных применению методов машинного обучения для прогнозирования теплопотерь. Так, в исследованиях, проведенных на основе использования линейных регрессионных моделей, была достигнута точность прогнозирования на уровне R^2 от 0,65 до 0,75, что соответствует результатам линейной регрессии в данном исследовании. Однако

применение методов ансамблевого обучения и нейронных сетей позволило значительно превзойти указанные показатели.

В зарубежных исследованиях, посвященных моделированию теплопотерь в системах теплоснабжения с использованием методов случайного леса и градиентного бустинга, сообщается о значении коэффициента детерминации R^2 в диапазоне от 0,85 до 0,90 [9-10]. Настоящее исследование подтверждает эти результаты, что свидетельствует о высокой применимости [17] указанных методов для прогнозирования теплопотерь в российских условиях.

Интерпретация результатов и практическое применение

Прогнозирование теплопотерь в системах теплоснабжения является важной задачей для повышения энергоэффективности и снижения затрат на эксплуатацию. Полученные результаты показывают, что применение методов ансамблевого обучения, таких как градиентный бустинг, позволяет получить высокую точность прогнозов, что обеспечивает надежное управление системой теплоснабжения города Казань. Эти методы могут быть интегрированы в существующие системы управления для автоматического прогнозирования и планирования ресурсов.

Кроме того, применение нейронных сетей позволяет учитывать широкий спектр параметров, влияющих на теплопотери, что делает их перспективным инструментом для дальнейшего повышения точности моделей. Однако требуется проведение дополнительных исследований, направленных на оптимизацию структуры нейронных сетей и снижение вычислительной сложности для обеспечения их практического применения.

Заключение

В данном исследовании была проведена разработка и анализ моделей машинного обучения для прогнозирования теплопотерь в системе теплоснабжения города Казань на основе данных за 2020-2023 годы. Основной целью работы являлось повышение

точности прогнозирования тепловпотерь, что, в свою очередь, способствует оптимизации работы системы теплоснабжения и снижению эксплуатационных затрат.

Результаты исследования показали, что использование современных методов машинного обучения, таких как ансамблевые методы (случайный лес и градиентный бустинг) и нейронные сети (многослойный перцептрон, MLP), позволяет достичь высокой точности прогнозирования тепловпотерь. Среди рассмотренных моделей наилучшие результаты продемонстрировал градиентный бустинг, который обеспечил наименьшую среднеквадратическую ошибку ($MSE = 2,15$) и высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,89$). Нейронная сеть также показала хорошую точность, однако требует большего времени на обучение, что ограничивает её использование в некоторых практических ситуациях [19].

Полученные результаты согласуются с предыдущими исследованиями [8-10] в области прогнозирования тепловпотерь и подтверждают высокую эффективность методов ансамблевого обучения и нейронных сетей для решения этой задачи. Линейная регрессия, примененная для оценки базового уровня точности, продемонстрировала более низкие показатели качества, что указывает на её недостаточную способность моделировать сложные зависимости в данных.

Выводы исследования заключаются в следующем:

- методы машинного обучения могут быть успешно применены для повышения точности прогнозирования тепловпотерь в системах теплоснабжения, что способствует улучшению управления этими системами;
- градиентный бустинг показал наилучшие результаты среди рассмотренных моделей, обеспечивая высокую точность и устойчивость к изменчивости данных;
- нейронные сети обладают высокой предсказательной способностью, однако требуют значительных вычислительных ресурсов для обучения;

– линейная регрессия и методы регуляризации обеспечивают ограниченную точность прогнозирования и могут быть использованы только в качестве простых ориентировочных моделей.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что предложенные модели могут быть интегрированы в системы управления теплоснабжением города Казань для автоматического прогнозирования теплопотерь и оптимизации процессов транспортировки и распределения тепла. Внедрение таких моделей способствует снижению энергозатрат и повышению общей эффективности эксплуатации системы теплоснабжения.

В дальнейшем планируется провести исследования, направленные на улучшение структуры нейронных сетей, уменьшение вычислительной сложности моделей и их адаптацию для других городских систем теплоснабжения, что позволит более широко применять предложенные методы на практике.

Список литературы

1. Алтынбаев А.Р. Искусственный интеллект. Использование интеллектуальных систем учета энергоресурсов в системе электроснабжения предприятия // Вестник науки. 2024. Т. 2, № 6(75). С. 2180-2191.
2. Натальсон А.В. Разработка моделей машинного обучения для прогнозирования экономической эффективности бизнес-процессов // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 5, № 4(145). С. 164-170. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.04.05.021>
3. Куценко С.М. Оптимизация производства в энергетической отрасли при использовании искусственного интеллекта // Экономика и предпринимательство. 2024. № 6(167). С. 391-394. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.167.6.081>
4. Обайди А.А.Х. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства нейросетевым прогнозированием теплопотерь здания: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2024. 191 с.

5. Мельников Д.С. Разработка метода выявления теплопотерь на теплосетях города Архангельска на основе цифровых данных // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 8(65). С. 302-306.
6. Сибгатов А.Р. Влияние температурного графика тепловых сетей на Тепловые потери трубопроводов / А. Р. Сибгатов, Г. М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 29–30 апреля 2022 года. Саратов: Амирит, 2022. С. 147-150.
7. Minimization of Heat Losses in District Heating Networks by Optimizing their Configuration / V. Skochko, V. Solonnikov, O. Pohosov [et al.] // Problems of the Regional Energetics. 2024. No. 3(63). P. 182-195. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.3-63.15>
8. Жамалов А. Батареяның автономды резервуарының жылу шығынын есептеу әдісі / А. Жамалов, А. О. Бердіғожа // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы. 2021. No. 1(134). P. 79-85. <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2021-134-1-79-85>
9. Evaluating different artificial neural network forecasting approaches for optimizing district heating network operation / L. Frison, S. Götzhäuser, M. Bitterling, W. Kramer // Energy. 2024. Vol. 307. P. 132745. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132745>
10. Improved day ahead heating demand forecasting by online correction methods / F. Bünning, P. Heer, R. S. Smith, J. Lygeros // Energy and Buildings. 2020. Vol. 211. P. 109821. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109821>
11. Салтанаева Е.А. Сравнение традиционных методов машинного обучения и глубокого обучения / Е. А. Салтанаева, А. А. Шакиров, А. Р. Гимаева // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 12. С. 379-381.
12. Садриев Р.Р. Применение искусственного интеллекта для оптимизации энергопотребления в многоквартирных домах / Р. Р. Садриев, А. И. Кушакова, Р. С. Зарипова // Приборостроение и автоматизи-

- рованный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы IX Национальной научно-практической конференции, посвященной 55-летию КГЭУ, Казань, 07–08 декабря 2023 года. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. С. 223-225.
13. Моделирование потребления невозобновляемой энергии в мире / Л. А. Шильдт, Н. Г. Бикеева, К. В. Байдуганова, Г. В. Шильдт // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2024. № 3(49). С. 35-47. <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2024-3-49-35-47>
 14. Rakhimov Z. Linear regression with data missing not at random: bootstrap approach / Z. Rakhimov, N. Rahimova // Economic Development and Analysis. 2024. Vol. 2, No. 4. P. 492-502. <https://doi.org/10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss4-pp492-502>
 15. Cui K. Classification accuracy analysis using a random forest model // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 10–14 апреля 2023 года, 2023. С. 123-125.
 16. Цвенгер И.Г. Машинное обучение с управляемой регрессией в электроэнергетике // Наука, инновации, общество: актуальные вопросы и современные аспекты. Пенза: Наука и Просвещение, 2024. С. 196-215.
 17. Разработка моделей среднесрочного прогнозирования электропотребления в изолированно работающих энергосистемах на основе ансамблевых методов машинного обучения / С. М. Асанова, Д. С. Ахьеев, С. А. Дмитриев [и др.] // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2021. № 1(84). С. 32-39.
 18. Натальсон А.В. Цифровые двойники в промышленности: достижения и основные ошибки внедрения // Экономика и предпринимательство. 2024. № 9(170). С. 1138-1141. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.170.9.212>
 19. Хамитов Р.М. Оптимизация сервисного обслуживания в электросетевом комплексе методами машинного обучения / Р. М. Хамитов, Н. Д. Новоселов // Вестник НЦБЖД. 2024. № 3(61). С. 95-103.

References

1. Altynbaev A.R. Artificial intelligence. Utilization of intellectual systems of energy resources accounting in the enterprise power supply system. *Vestnik nauki*, 2024, vol. 2, no. 6(75), pp. 2180-2191.
2. Natalson A.V. Development of machine learning models for predicting the economic efficiency of business processes. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2024, vol. 5, no. 4(145), pp. 164-170. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.04.05.021>
3. Kutsenko S.M. Optimization of production in the energy industry using artificial intelligence. *Economics and Entrepreneurship*, 2024, no. 6(167), pp. 391-394. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.167.6.081>
4. Obaidi A.A.H. *Life cycle management of capital construction objects by neural network prediction of building heat loss*: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2024, 191 p.
5. Melnikov D.S. Development of the method of the heat loss detection on the heat networks of the Arkhangelsk city on the basis of the digital data. *Vestnik nauki*, 2023, vol. 4, no. 8(65), pp. 302-306.
6. Sibgatov A.R. Influence of the temperature schedule of heat networks on the heat losses of pipelines / A.R. Sibgatov, G.M. Akhmerova. *Actual problems of energy of the agroindustrial complex: Proceedings of the XIII National Scientific and Practical Conference with international participation, Saratov, April 29-30, 2022*. Saratov: Amirit, 2022, pp. 147-150.
7. Minimization of Heat Losses in District Heating Networks by Optimizing their Configuration / V. Skochko, V. Solon. Skochko, V. Solonnikov, O. Pohosov [et al.]. *Problems of the Regional Energetics*, 2024, no. 3(63), pp. 182-195. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.3-63.15>
8. Zhamalov A. Battery autonomous reservoirs are used for power supply / A. Zhamalov, A. O. Berdigozha. *L.N. Gumilev atyndagy Eurasia University of Science and Technology. Physics. Astronomy series*, 2021, no. 1(134), pp. 79-85. <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2021-134-1-79-85>

9. Evaluating different artificial neural network forecasting approaches for optimizing district heating network operation / L. Frison, S. Götzhäuser, M. Bitterling, W. Kramer. *Energy*, 2024, vol. 307, pp. 132745. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132745>
10. Improved day ahead heating demand forecasting by online correction methods / F. Bünnig. Bünnig, P. Heer, R. S. Smith, J. Lygeros. *Energy and Buildings*, 2020, vol. 211, p. 109821. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109821>
11. Saltanaeva E. A. Comparison of traditional methods of machine learning and deep learning / E. A. Saltanaeva, A. A. Shakirov, A. R. Gimaeva. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 2023, no. 12, pp. 379-381.
12. Sadriev R.R. Application of artificial intelligence to optimize energy consumption in apartment buildings / R.R. Sadriev, A.I. Kushakova, R.S. Zaripova. *Instrumentation and automated electric drive in fuel and energy complex and housing and communal services: proceedings of the IX National Scientific and Practical Conference dedicated to the 55th anniversary of KSEU, Kazan, December 07-08, 2023*. Kazan: Kazan State Energy University, 2024, pp. 223-225.
13. Modeling of non-renewable energy consumption in the world / L. A. Shildt, N. G. Bikeeva, K. V. Baiduganova, G. V. Shildt. *Bulletin of UGNTU. Science, Education, Economics. Series: Economics*, 2024, no. 3(49), pp. 35-47. <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2024-3-49-35-47>
14. Rakhimov Z. Linear regression with data missing not at random: bootstrap approach / Z. Rakhimov. Rakhimov, N. Rahimova. *Economic Development and Analysis*, 2024, vol. 2, no. 4, pp. 492-502. <https://doi.org/10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss4-pp492-502>
15. Cui K. Classification accuracy analysis using a random forest model. *Actual problems of aviation and astronautics, April 10-14, 2023*, 2023, pp. 123-125.
16. Zvenger, I.G. Machine learning with controlled regression in the electric power industry. *Science, innovations, society: topical issues and modern aspects*. Penza: Science and Education, 2024, pp. 196-215.

17. Development of models for medium-term forecasting of power consumption in isolated power systems based on ensemble methods of machine learning / S. M. Asanova, D. S. Akhieev, S. A. Dmitriev [et al.]. *Izvestia NTC of the Unified Energy System*, 2021, no. 1(84), pp. 32-39.
18. Natalson A.V. Digital twins in industry: achievements and main mistakes of implementation. *Economics and Entrepreneurship*, 2024, no. 9(170), pp. 1138-1141. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.170.9.212>
19. Khamitov R.M. Optimization of the service maintenance in the electric grid complex by the machine learning methods / R.M. Khamitov, N.D. Novoselov. *Vestnik of NCBZhD*, 2024, no. 3(61), pp. 95-103.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шакиров Арслан Айнурович, преподаватель кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы»
Казанский государственный энергетический университет
ул. Красносельская, 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация
shakirov.aa@bk.ru

Хабибрахманова Алсу Ильгамовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы»
Казанский государственный энергетический университет
ул. Красносельская, 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация
alsu_khisa@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Arslan A. Shakirov, Lecturer of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems
Kazan State Power Engineering University
51, Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Russian Federation
shakirov.aa@bk.ru

SPIN-code: 6508-3780

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0477-3660>

ResearcherID: T-3490-2018

Alsu I. Khabibrakhmanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems

Kazan State Power Engineering University

51, Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Russian Federation

alsu_khisa@mail.ru

SPIN-code: 3130-8620

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3751-3082>

Scopus Author ID: 57196030218

Поступила 13.10.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 28.11.2024

Received 13.10.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 28.11.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-323

EDN: LTYYNJ

УДК 656.073.7+004.94



Научная статья | Логистические транспортные системы

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р.Г. Король

Аннотация

Увеличение объемов внешнеторгового грузооборота России со странами Азиатско-Тихоокеанского региона требует опережающего развития трансграничной инфраструктуры. Загруженность портовых мощностей Тихоокеанского бассейна негативно влияет на эффективность обработки и пропуска транспортных и грузовых потоков, поэтому осуществляется формирование новой и развитие существующей транспортной и терминально-логистической инфраструктуры сухопутных трансграничных переходов. В статье предложено инфраструктурное развитие трансграничного перехода путем организации транспортно-логистических объектов смежного вида транспорта. Комплексный подход к усилению пропускной и перерабатывающей способности пограничных пунктов пропуска в рамках международного транспортного коридора позволит обеспечить последовательное развитие приграничных транспортно-логистических объектов с учетом экономической оценки. Одним из методов обоснования вариантов инфраструктурно-технологического развития трансграничного перехода является имитационное моделирование, позволяющее анализировать и прогнозировать поведение транспортно-логистических объектов в условиях воздействия факторов внешней среды.

Целью исследования является формирование теоретических основ и практических инструментов по формированию трансграничной инфраструктуры.

Метод и методология проведения работы. Использованы теоретические методы исследования: системного анализа, синтеза информации и формализация.

Результаты. Представлены принципы формирования и развития трансграничной инфраструктуры. Разработана программа автоматизированного расчета пропускной способности объектов трансграничной инфраструктуры.

Область применения результатов. При проектировании новых трансграничных переходов и проведении анализа функционирования приграничных транспортно-логистических объектов рационально использовать разработанные программные продукты.

Ключевые слова: трансграничные переходы; приграничная терминально-логистическая инфраструктура; имитационное моделирование

Для цитирования. Король Р.Г. Моделирование транспортных процессов при формировании и развитии трансграничной инфраструктуры // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 134-153. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-323

Original article | Logistic Transport Systems

MODELING OF TRANSPORT PROCESSES IN THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF CROSS-BORDER INFRASTRUCTURE

R.G. Korol

Abstract

The increase in the volume of Russia's foreign trade turnover with the countries of the Asia-Pacific region requires the rapid development of cross-border infrastructure. The workload of the port facilities of the Pacific basin negatively affects the efficiency of processing and passing transport and cargo flows, therefore, the formation of a new and development of the existing transport and terminal logistics infrastructure of land-based cross-border crossings is underway. The article proposes the infrastruc-

tural development of a cross-border crossing by organizing transport and logistics facilities of an adjacent type of transport. An integrated approach to strengthening the throughput and processing capacity of border checkpoints within the framework of the international transport corridor will ensure the consistent development of cross-border transport and logistics facilities, taking into account economic assessment. One of the methods of substantiating the options for infrastructural and technological development of a cross-border transition is simulation modeling, which allows analyzing and predicting the behavior of transport and logistics facilities under the influence of environmental factors.

The **purpose** of the study is to form theoretical foundations and practical tools for the formation of a cross-border infrastructure.

Methodology. Theoretical research methods were used: system analysis, information synthesis and formalization.

Results. The principles of the formation and development of cross-border infrastructure are presented. A program for automated calculation of the capacity of cross-border infrastructure facilities has been developed.

Practical implications. When designing new cross-border crossings and analyzing the functioning of cross-border transport and logistics facilities, it is rational to use the developed software products.

Keywords: cross-border crossings; cross-border terminal and logistics infrastructure; simulation modeling

For citation. Korol R.G. Modeling of Transport Processes in the Formation and Development of Cross-Border Infrastructure. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 134-153. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-323

Введение

Транспортно-логистический комплекс Дальнего Востока активно трансформируется под растущие объемы грузопотока, происходит усиление имеющейся транспортной инфраструктуры и создание новых транспортно-логистических объектов [1]. В 2027 году планируется завершить строительство транспортно-логи-

стического центра (ТЛЦ) «Артем», мощностью 1 млн ДФЭ. Реализуются проекты по созданию логистических комплексов Озон, Пятерочка и Вайлдбериз. Наращиваются производственные мощности дальневосточных объектов международных транспортных коридоров. Основной объем перевозок грузов обеспечивает Восточный полигон железных дорог, провозная способность которого должна достичь 180 млн тонн в 2025 году и 210 млн тонн к 2030 году [2]. По оценкам агентства NEFT Research в 2024 году загруженность Восточного железнодорожного полигона составила более 97%, что негативно отражается на работе причальных комплексов и является ограничением развития перерабатывающей способности морских портов [3]. Одним из вариантов решения данной проблемы возможно перенаправление части грузопотока через сухопутные трансграничные переходы. В настоящее время осуществляется модернизация приграничной транспортно-логистической инфраструктуры (ТЛИ) [4]. В условиях создания новых и развития существующих пограничных пунктов пропуска требуется системный подход к формированию сопутствующей приграничной инфраструктуры.

Принципы формирования и развития приграничной терминально-логистической инфраструктуры

Трансграничный переход относится к сложным пространственно-распределенным техническим системам, которые включают объекты, находящиеся в регионах смежных стран и обеспечивающие национальную безопасность [5]. Формирование приграничной терминально-логистической инфраструктуры осуществляется после принятия решения об организации трансграничного перехода и установления пропускной способности пунктов пропуска, а также определения номенклатуры перемещаемого грузопотока. При формировании терминально-логистической инфраструктуры пограничных пунктов пропуска первым этапом является определение вида трансграничного перехода и типа транспортных средств,

участвующих в международном грузовом сообщении. В зависимости от особенностей функционирования трансграничного перехода и наличия обязательных технологических операций с транспортными средствами проектируются объекты терминально-логистической инфраструктуры и их параметры, которые должны удовлетворять условиям достаточности перерабатывающей способности для обеспечения соответствующего уровня пропускной способности пограничных пунктов пропуска. К заключительному этапу относится технико-экономическая оценка принятых инфраструктурно-технологических решений с возможностью корректировки параметров создаваемых объектов ТЛИ.

Проектирование инфраструктурного оснащения пограничных пунктов пропусков и разработка технологических решений должно осуществляться комплексно с учетом параметров работы каждого объекта транспортно-логистической инфраструктуры трансграничного перехода [6]. Развитие параметров нескольких объектов терминально-логистической инфраструктуры целесообразно производить отдельными этапами в зависимости от складывающейся ситуации в определенный момент времени, рассматривая каждый объект индивидуально с оценкой его параметров и влияния на общую перерабатывающую способность системы. Этапное развитие приграничной терминально-логистической инфраструктуры осуществляется в зависимости от динамики объемов грузопереработки. Также необходимо учитывать изменения номенклатуры поступающих грузов, интенсивности поступления транспортных средств и режима работы смежного пункта пропуска. Перерабатывающая способность приграничной терминально-логистической инфраструктуры должна обеспечивать прием и переработку всего поступающего грузопотока при соблюдении технологии обработки транспортных средств с минимизацией времени простоя на объектах ТЛИ [7].

Трансграничный переход обеспечивает пропуск транзитного грузопотока $G_{тр}$ и грузопотока, поступающего в обработку $G_{пер}$ на объекты терминально-логистической инфраструктуры:

$$\Gamma_{перех.} = \Gamma_{тр} + \Gamma_{пер}$$

Объем пропуска транзитного грузопотока через пограничные пункты пропуска зависит от используемого вида транспорта, инфраструктурного оснащения, используемых информационных ресурсов и наличия инспекционно-досмотровых комплексов [8]. Переработка внешнеторгового грузопотока на объектах транспортно-логистической инфраструктуры происходит в следующих случаях:

- смена подвижного состава;
- мультимодальное сообщение, в виде передачи груза с одного транспортного средства на другое транспортное средство;
- груз под таможенным досмотром или другим контролем надзорных органов;
- требуется проведение логистических операций с грузом (накопление, складирование, упаковка, распределение и т.д.);
- консолидация или разукрупнение партий грузопотока.

Операции с грузопотоком являются наиболее продолжительными, финансово затратными и разрушающими принципы «бесшовности» сформированных транспортно-логистических цепей [9]. Минимизация количества операций и продолжительности терминальной обработки $Терми(T)$ с грузопотоком, поступающим в обработку $\Gamma_{пер}$ на объекты приграничной транспортно-логистической инфраструктуры возможно обеспечить за счет ускорения складских и таможенных операций, а также наличия достаточного уровня перерабатывающей способности терминально-логистической инфраструктуры $\Pi_{ТЛИ}$:

$$Min(T_{терми(T)}) \Rightarrow \begin{cases} \Gamma_{пер} \rightarrow \alpha \\ \Pi_{ТЛИ} \geq \Gamma_{пер} \\ T_{там.оп.} \leq T_{скл.оп.} \end{cases}$$

где α – прямой вариант перевалки грузов; $T_{там.оп.}$ – продолжительность операций таможенного осмотра грузов; $T_{скл.оп.}$ – продолжительность складских операций с грузом. Проведения таможенного осмо-

тра грузов на объектах терминально-логистической инфраструктуры в течении времени выполнения складских операций с транспортными средствами и грузопотоком, позволит ускорить их обработку.

Повышение эффективности пропуска грузопотока через трансграничный переход происходит за счет комплексного развития входящих пограничных пунктов пропуска и соединяющей их транспортной инфраструктуры. При реализации мероприятий, направленных на развитие инфраструктурно-технологических параметров пограничного пункта пропуска необходимо учитывать текущий уровень организации и перспективы развития пропускной способности пограничного пункта пропуска смежной страны [10]. Анализ влияния принятых инфраструктурных решений на формирование облика трансграничного перехода и оценка технологической взаимосвязи объектов пограничных пунктов пропуска в условиях изменения интенсивности поступления грузопотоков возможно провести с помощью инструментов имитационного моделирования [11-13].

Моделирование транспортных процессов на объектах трансграничной инфраструктуры

Программа автоматизированного расчета пропускной способности объектов трансграничной инфраструктуры включает два модуля: система автомобильных и железнодорожных пунктов пропуска [14; 15]. Программа позволяет задавать различные параметры инфраструктурного оснащения и технологии работы сухопутных пунктов пропуска сопредельных стран, учитывая специализацию сопутствующих терминально-логистических объектов, параметры транспортных средств, время движения транспортных средств между объектами трансграничного перехода $T_{\text{движ перех}}$ и продолжительность технологических операций.

Логика программного продукта основана на этапном усилении пропускной и перерабатывающей способности наземного трансграничного перехода путем организации и подведения железнодорожной инфраструктуры к приграничному терминаль-

В разработанной программе организация железнодорожной трансграничной инфраструктуры включает создание пограничных станций с приемо-отправочными и сортировочными парками, имеющими разную ширину железнодорожной колеи, а также увеличение емкости и количества подъемно-транспортных механизмов на объектах терминально-логистической инфраструктуры.

Пользователь программы может задавать различные параметры инфраструктурного оснащения и используемого подвижного состава, учитывая взаимодействие на терминальных объектах с автомобильным транспортом, временные параметры движения поездов на участке и технологические передвижения вагонов между парками станции. Задаваемый грузопоток в автоматическом режиме распределяется на автомобильные транспортные средства в зависимости от грузоподъемности Γ^{TC} и рода груза $K_{эсп}^{TC}$ и $K_{имп}^{TC}$ с выделением количества транзитных транспортных средств $K_{транз}^{TC}$. При движении транзитных железнодорожных поездов $K_{транз}^{жд}$ в сортировочном парке пограничной станции предусмотрено время на смену ходовой части вагонов $T_{смен}^{кол1-2}$ при переходе на другую ширину колеи. Парки железнодорожной станции характеризуются количеством путей разной ширины колеи $Ж_{пут}^{кол1(2)}$ и их вместимостью $Ш_{пут}^{кол1(2)}$, а также вместимостью грузовых фронтов на объектах терминально-логистической инфраструктуры $\Phi_{скл}^{жд}$. На железнодорожном участке, соединяющем пограничные станции двух стран, осуществляется поочередное движение поездов в зависимости от времени готовности поездов к отправлению и свободности пути. На рисунке 2 представлен интерфейс программного модуля железнодорожной системы пограничных пунктов пропуска.

Автомобильные пограничные пункты пропуска характеризуются пропускной способностью $\Pi_{пп}^{авто}$ и временными параметрами работы $T_{пп}^{раб}$, включая время на обработку транспортных средств $T_{там}^{обп}$. Задавая в программе данные ограничители и в условиях интенсивного поступления транспортных средств в обоих

направлениях движения в течении моделируемого времени будет формироваться очередь автомобильных транспортных средств в ожидании технологических операций до момента, когда заполняемость грузом объектов терминально-логистической инфраструктуры достигнет емкости данных объектов.

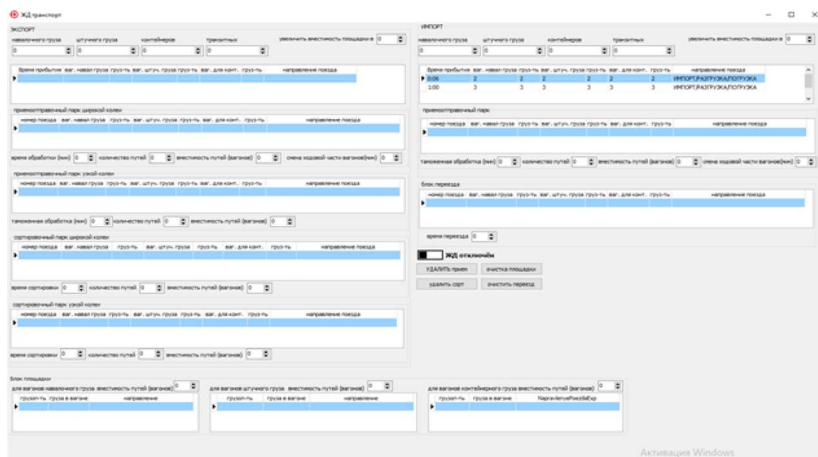


Рис. 2. Интерфейс модуля железнодорожной системы пограничных пунктов пропуска

Имитация остановится в виде промежуточного отчета и путем активации второго модуля процесс моделирования продолжится с подключением железнодорожной системы. На рисунке 3 представлен интерфейс программного модуля автомобильной системы пограничных пунктов пропуска.

Процесс имитационного моделирования пропуска заданных объемов грузопотока в экспортном и импортном направлении через железнодорожно-автомобильный трансграничный переход завершится при наступлении следующих ограничивающих условий:

- занятость подвижным составом всех железнодорожных путей в парках пограничной станции и на грузовых фронтах;
- занятость всех подъемно-транспортных механизмов без возможности увеличения их количества;

- отсутствие резервов емкости объектов терминально-логистической инфраструктуры.

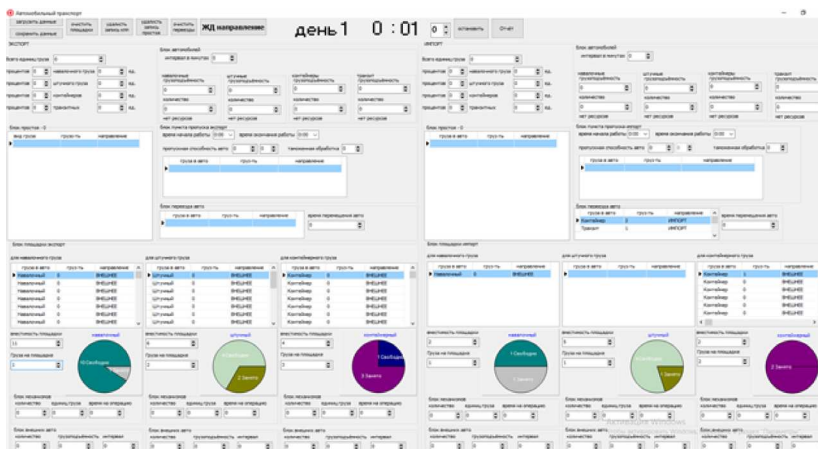


Рис. 3. Интерфейс модуля автомобильной системы пограничных пунктов пропуска

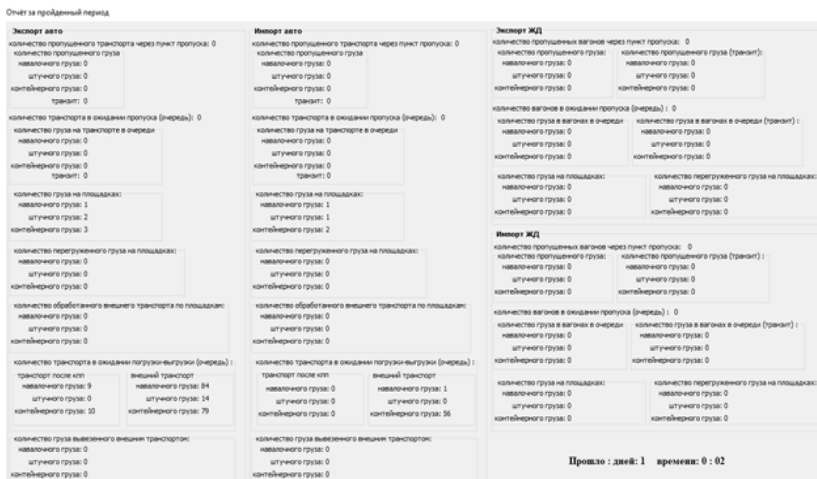


Рис. 4. Итоговый отчет программы имитационного моделирования

Ограниченность технических средств и инфраструктурных мощностей терминально-логистических объектов приведет к

скоплению подвижного состава на путях сортировочного парка в ожидании перемещения на грузовые фронты, что приведет к парализации станционных процессов [16].

Итоговый отчет моделирования на рисунке 4 представляет количественный анализ функционирования трансграничного перехода за период времени имитации.

Итоговый отчет включает следующие блоки с разделением на экспортное и импортное направление движения грузопотока:

1. Автомобильный пункт пропуска:

- количество пропущенных единиц транспорта;
- объем пропущенного груза (по номенклатуре);
- количество единиц транспорта в ожидании пропуска;
- объем груза (по номенклатуре), находящегося в транспортных средствах, ожидающих пропуска;

2. Терминально-логистические объекты:

- объем груза в зоне хранения терминала (по номенклатуре);
- объем перегруженного груза (по номенклатуре);
- количество единиц обработанного внешнего транспорта на терминалах;
- количество единиц транспорта, находящихся в ожидании грузовых операций;
- объем груза, вывезенного внешним транспортом (по номенклатуре);

3. Железнодорожный пункт пропуска:

- количество пропущенных единиц подвижного состава;
- объем пропущенного груза (по номенклатуре);
- количество единиц подвижного состава в ожидании пропуска;
- объем груза (по номенклатуре), находящегося в вагонах, ожидающих пропуска.

Разработанные программные продукты являются частью комплексной научно-исследовательской работы, посвященной анализу текущего инфраструктурно-технологического развития дальневосточных трансграничных переходов и выявлению ре-

зервов пропускной способности, а также оценке перспективного усиления транспортно-логистической инфраструктуры пограничных пунктов пропуска [17].

Заключение

Сегодня повышенное внимание направлено на модернизацию и усиление текущей инфраструктуры дальневосточных трансграничных переходов. Создание новых международных транспортных коридоров с организацией новых трансграничных переходов требует предварительного исследования по принятым инфраструктурно-технологическим решениям, которые влияют на показатели функционирования трансграничного перехода, к которым можно отнести объемы пропуска грузопотока в международном сообщении, время перемещения и обработки внешнеторговых грузов, а также затраты на организацию и развитие соответствующей инфраструктуры [18, 19]. Достижение показателей функционирования трансграничного перехода зависит от уровня развития параметров транспортно-логистических объектов пунктов пропуска. В условиях роста внешнеторгового грузооборота и интенсивности движения транспортного потока необходимо обеспечить последовательное развитие параметров транспортно-логистических объектов наземных пунктов пропуска. Проведение комплексного анализа функционирования инфраструктурно-технологических элементов пограничных пунктов пропуска позволит выявить ограничивающие элементы и разработать соответствующие мероприятия по повышению их эффективности работы.

Список литературы

1. Покровская О. Д., Мороз Ю. А., Меликов М. И. Трансформация рынка транспортных услуг в России в условиях международных санкций // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 197–211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>

2. Доигрались: мощностей Восточного полигона не будет хватать все следующие 10 лет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://morvesti.ru/analitika/1687/108985/> (дата обращения 04.12.2024).
3. Восточный полигон заполнился под завязку [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/newspaper/2024/11/27/6745b3259a79472e675cf369> (дата обращения 04.12.2024).
4. Бардаль А. Б. Развитие трансграничной транспортной инфраструктуры между РФ и КНР // Россия и Китай: история и перспективы сотрудничества. 2024. № 14. С. 418–423.
5. Ларин О. Н., Оюунгарав А. Приоритетные задачи развития трансграничной транспортно-логистической инфраструктуры Монголии // Инновационный транспорт. 2020. № 4 (38). С. 3–7. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2020-4-3-7>
6. Числов О. Н., Богачев В. А., Трапенов В. В., Богачев Т. В., Задорожний В. М. Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы // Бюллетень результатов научных исследований. 2023. № 3. С. 46–57. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2023-3-46-57>
7. Korol R. G. Perfection of the process of interaction of various types of transport in the Far Eastern transport hubs // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 275. P. 153-162. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_12
8. Володин А. Б. Пункты пропуска через государственную границу. Проблемы и пути их решения // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 170–177. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-170-177>
9. Попадюк А. Ю., Коровяковский Е. К. Об организации международных цепей доставки грузов // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. № 2. С. 100–110. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2020-2-100-110>
10. Король Р. Г., Подолинная С. Д. Моделирование перерабатывающей способности терминально-логистических объектов железнодорожного пограничного перехода Нижнеленинское (РФ)

- Тунцзян (КНР) // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (57). С. 52-63. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-1-52-63>
11. Числов О. Н., Мизгирева Е. Е. К вопросу моделирования инфраструктурно-технологического взаимодействия в транспортных узлах // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 3 (99). С. 86–91.
 12. Хашев А. И., Мамаев Э. А., Гуда А. Н. Комбинированное имитационноаналитическое моделирование в транспортно-логистических системах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1 (85). С. 117–125. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2022_1_117
 13. Покровская О. Д., Марченко М. А., Кукушкина Я. В. Совершенствование аналитического метода расчёта наличной пропускной способности с применением инструментов имитационного моделирования // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 159-180. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-159-180>
 14. Программа автоматизированного расчета пропускной способности объектов трансграничной инфраструктуры: система железнодорожных пунктов пропуска / разработчик Дальневост. гос. ун-т путей сообщения. Хабаровск: ИС, 2023. Загл. с титул. экрана. Электронная программа: электронная.
 15. Программа автоматизированного расчета пропускной способности объектов трансграничной инфраструктуры: система автомобильных пунктов пропуска / разработчик Дальневост. гос. ун-т путей сообщения. Хабаровск: ИС, 2023. Загл. с титул. экрана. Электронная программа: электронная.
 16. Король Р. Г., Числов О. Н. Моделирование терминально-логистических процессов переработки внешнеторговых грузов на пограничной станции Гродеково // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2022. Т. 81. № 3. С. 258-266. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-258-266>
 17. Подолинная С. Д., Ненашева А. В., Кучер Ю. Е., Чен К. Ю., Король Р. Г. К вопросу комплексного анализа перерабатывающей и

- пропускной способности сухопутных трансграничных пунктов пропуска Дальнего Востока // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2023. Т. 1. С. 122-126.
18. Пугачев И. Н., Казарбин А. В. Совершенствование транспортной системы страны и ее регионов, посредством цифровой трансформации транспортной отрасли России // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. № 6 (94). С. 762-772. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-762-772>
19. Гуськова М. Ф., Смирнов А. И. Экономическая оценка и предотвращение рисков при формировании и развитии трансграничных транспортных кластеров // Транспортное дело России. 2024. № 3. С. 62–64.

References

1. Pokrovskaya O. D., Moroz YU., A. Melikov M. I. Transformaciya rynka transportnyh uslug v Rossii v usloviyah mezhdunarodnyh sankcij [Transformation of the transport services market in Russia under international sanctions]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 197–211. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-197-211>
2. They've played too much: the capacity of the Eastern Polygon will not be enough for the next 10 years. <https://morvesti.ru/analitika/1687/108985/>
3. The Eastern polygon is filled to the brim. <https://www.rbc.ru/newspaper/2024/11/27/6745b3259a79472e6>
4. Bardal A. B. Razvitie transgranichnoj transportnoj infrastruktury mezhdu RF i KNR [Development of cross-border transport infrastructure between the RF and the PRC]. *Rossiya i Kitaj: istoriya i perspektivy sotrudnichestva* [Russia and China: history and prospects of cooperation], 2024, no. 14, pp. 418–423.
5. Larin O. N., Oyungarav A. Prioritetnye zadachi razvitiya transgranichnoj transportno-logisticheskoy infrastruktury Mongolii [Prior-

- ities for developing Mongolia's cross-border transport and logistics infrastructure]. *Innovacionnyj transport* [Innovative transport], 2020, no. 4 (38), pp. 3–7. <https://doi.org/10.20291/2311-164X-2020-4-3-7>
6. Chislov O. N., Bogachev V. A., Trapenov V. V., Bogachev T. V., Zadorozhnyi V. M. Razvitie uzlovoj terminal'no-skladskoj infrastruktury: modifikaciya metodov issledovaniya i prognozy [Development of hub terminal and warehouse infrastructure: modification of research methods and forecasts]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij* [Bulletin of scientific research result], 2023, no. 3, pp. 46–57. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2023-3-46-57>
 7. Korol R. G. Perfection of the process of interaction of various types of transport in the Far Eastern transport hubs. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 275, pp. 153-162. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_12
 8. Volodin A. B. Punkty propuska cherez gosudarstvennuyu granicu. Problemy i puti ih resheniya [State border checkpoints. Problems and solutions]. *Mir transporta* [World of transport and transportation], 2019, vol. 17, no. 3 (82), pp. 170–177. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-170-177>
 9. Popadyuk A. YU., Korovyakovskiy E. K. Ob organizacii mezhdunarodnyh cepej dostavki грузов [Problems of international cargo supply chains management]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij* [Bulletin of scientific research result], 2020, no. 2, pp. 100–110. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2020-2-100-110>
 10. Korol R. G., Podolinnaya S. D. Modelirovanie pererabatyvayushchej sposobnosti terminal'no-logisticheskikh ob'ektov zheleznodorozhnogo pogra-nichnogo perekhoda Nizhneleninskoe (RF) - Tunczyan (KNR) [Modeling of processing capacity of terminal and logistics facilities of the Nizhneleninskoye (RF) -Tongjiang (PRC) railway border crossing]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya* [Herald of the Ural state university of railway transport], 2023, no. 1 (57), pp. 52-63. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-1-52-63>

11. Chislov O. N., Mizgireva E. E. K voprosu modelirovaniya infrastruktturno-tekhnologicheskogo vzaimodejstviya v transportnyh uzlah [On the issue of modeling infrastructural and technological interaction in transport hubs]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Vestnik transporta Povolzhya], 2023, no. 3 (99), pp. 86–91.
12. Khashev A. I., Mamaev E. A., Guda A. N. Kombinirovannoe imitacionnoanaliticheskoe modelirovanie v transportno-logisticheskikh sistemah [The combined simulation and analytical modeling in transport and logistics systems]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya* [Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya], 2022, no. 1 (85), pp. 117–125. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2022_1_117
13. Pokrovskaya O. D., Marchenko M. A., Kukushkina YA. V. Sovershenstvo-vanie analiticheskogo metoda raschyota nalichnoj propusknoj sposobnosti s primeneniem instrumentov imitacionnogo modelirovaniya [Improvement of the analytical method for calculating the available throughput with the use of simulation tools]. *International journal of advanced studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 159-180. EDN KLGC GG. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-159-180>
14. Program of automated calculation of throughput capacity of cross-border infrastructure facilities: a system of railway checkpoints. Khabarovsk: IC, 2023.
15. Program of the automated calculation of the throughput capacity of transboundary infrastructure objects: a system of automobile checkpoints. Khabarovsk: IC, 2023.
16. Korol R. G., Chislov O. N. Modelirovanie terminal'no-logisticheskikh processov pererabotki vneshnetorgovyh грузов na pograničnoj stancii Grodekovo [Simulation of terminal and logistics processes of foreign trade cargo processing at the Grodekovo border station]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Russian railway science journal], 2022, vol. 81, no. 3, pp. 258-266. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-258-266>

17. Podolinnaya S .D., Nenasheva A. V., Kucher YU. E., Chen K. YU., Korol R. G. K voprosu kompleksnogo analiza pererabatyvayushchej i propusknnoj sposobnosti suhoputnyh transgranichnyh punktov propuska Dal'nego Vostoka [To the question of a comprehensive analysis of the processing and throughput capacity of land-based cross-border checkpoints of the Far East]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientifically technical and economical cooperation in Asia-Pacific countries in the 21st century], 2023, vol. 1, pp. 122-126.
18. Pugachev I. N., Kazarbin A. V. Sovershenstvovanie transportnoj si-stemy strany i ee regionov, posredstvom cifrovoj transformacii trans-portnoj otrasli Rossii [Improvement of country's transport system and its regions through the digital transformation of the Russian transport industry]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [The Russian automobile and highway industry journal], 2023, Vol. 20, no. 6 (94), pp. 762-772. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-762-772>
19. Gus'kova M. F., Smirnov A. I. Ekonomicheskaya ocenka i predotvra-shchenie riskov pri formirovanii i razvitii transgranichnyh transportnyh klasterov [Economic assessment and prevention of risks in the formation and development of cross-border transport clusters]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2024, no. 3, pp. 62–64.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Король Роман Григорьевич, заведующий кафедрой «Технология транспортных процессов и логистика», доцент, кандидат технических наук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, Хабаровский край, 680021, Российская Федерация

kingkhv27@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Roman G. Korol, Head of the Department «Technology of Transport Processes and Logistics», Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

Far Eastern State Transport University

47, Serysheva Str., Khabarovsk, Khabarovsk Region, 680021, Russian Federation

kingkhv27@mail.ru

SPIN-code: 8365-6922

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7522-1604>

Scopus Author ID: 57485775000

Поступила 11.11.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 05.12.2024

Received 11.11.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 05.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-324

EDN: MDRBEO

УДК 656.078



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТА РОССИИ

О.Н. Миркина

Аннотация

Транспортная отрасль является одной из важных отраслей экономики, так как она выполняет функцию перемещения грузов и пассажиров, соединяет хозяйствующие субъекты разных регионов страны, создавая единое экономическое пространство. Изучение показателей деятельности транспорта позволяет получить представление о динамике развития отрасли с экономической и технической точки зрения. Опираясь на данные статистики за период 2020-2023 гг., в работе проведен анализ ряда экономических и технической показателей деятельности транспорта. Сделан вывод о положительных тенденциях развития отрасли.

Цель – рассмотрение динамики показателей деятельности транспортной отрасли России.

Метод и методология проведения работы. В исследовании применялись системный подход и общенаучные методы – статистический, сравнительный анализ и логические обобщения. Статья базируется на статистических и периодических материалах.

Результаты. По результатам анализа статистических данных выявлено увеличение стоимости основных фондов и объема инвестиций, снижение степени износа основных фондов, улучшение сальдированного финансового результата деятельности транспортных организаций.

Область применения результатов. Полученные результаты целесообразно применять экономическим субъектам, органам государственного управления.

Ключевые слова: транспортная отрасль; транспортное предприятие; инвестиции; основные фонды; прибыль; тариф

Для цитирования. Миркина О.Н. Анализ показателей деятельности транспорта России // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 154-168. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-324

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

ANALYSIS OF RUSSIAN TRANSPORT PERFORMANCE INDICATORS

O.N. Mirkina

Abstract

The transport industry is one of the important sectors of the economy, as it performs the function of moving goods and passengers, connects business entities from different regions of the country, creating a single economic space. The study of transport performance indicators allows you to get an idea of the dynamics of the industry from an economic and technical point of view. Based on statistical data for the period 2020-2023, the work analyzes a number of economic and technical indicators of transport activity. The conclusion is made about the positive trends in the development of the industry.

The **purpose** is to consider the dynamics of indicators of the Russian transport industry.

The method and methodology of the work. The study used a systematic approach and general scientific methods – statistical, comparative analysis and logical generalizations. The article is based on statistical and periodical materials.

Results. Based on the results of the analysis of statistical data, an increase in the value of fixed assets and the volume of investments, a decrease in the degree of depreciation of fixed assets, and an improvement in the balanced financial result of transport organizations' activities were revealed.

Scope of application of the results. It is advisable to apply the obtained results to economic entities and public administration bodies.

Keywords: transport industry; transport enterprise; investments; fixed assets; profit; tariff

For citation. Mirkina O.N. Analysis of Russian Transport Performance Indicators. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 154-168. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-324

Понятие «транспорт» неоднозначно. В узком смысле его можно рассматривать как совокупность технических средств для перемещения грузов и пассажиров. В широком смысле под словом «транспорт» понимают целую отрасль – совокупность предприятий, обладающих схожестью используемых в производстве сырья, оборудования и технологии, квалификации работников, удовлетворяющих одинаковые или подобные потребности клиентов (потребителей). Деятельность предприятий, составляющих транспортную отрасль, проявляется в перемещении пассажиров и грузов, которыми могут выступать как конечная продукция, так и сырье, полуфабрикаты. От того насколько обеспечены организации транспортной отрасли основными фондами, степенью их износа, зависит скорость и качество выполнения транспортных услуг, а от величины тарифов на них зависит конечная цена любого товара или услуги, предлагаемых потребителю. Транспорт как отрасль крайне важен для экономики страны, а значит, следует изучать показатели его деятельности.

Значение транспорта в экономике России трудно переоценить. В соответствии с Транспортной стратегией РФ [10], транспортный комплекс выполняет важные функции по достижению государственных целей в части обеспечения национальной безопасности, экономического роста (в том числе за счет развития смежных отраслей и косвенных эффектов от транспортного комплекса) и связанности территории страны. Транспорт позволяет решать национальные задачи в сфере повышения качества жизни и здоровья граждан, экономического роста и повышения конкурентоспособности отечествен-

ной экономики, укрепления безопасности и обороноспособности страны, реализации ее транспортного потенциала.

Отечественная транспортная отрасль включает железнодорожный, автомобильный, морской и трубопроводный транспорт, который обслуживает пассажиров и перевозит грузы [7]. Автомобильный пассажирский транспорт является составной частью единой транспортной системы страны и обеспечивает ее территориальную целостность и доступность ее регионов [5]. Железнодорожный, трубопроводный, морской транспорт применяются преимущественно для транспортировки грузов.

По данным Федеральной службы государственной статистики [8] можно рассмотреть показатели деятельности отрасли «Транспортировка и хранение» и вывить их динамику. Это позволит определить тенденции развития транспорта России. Условно эти показатели можно разделить на две группы: экономические и технические показатели. В группу экономических входят показатели по труду, инвестициям, о динамике тарифов и стоимости основных фондов и др. К техническим показателям можно отнести протяженность путей, наличие подвижного состава, перевозки грузов и пассажиров и т.п. Рассмотрим некоторые экономические показатели деятельности транспорта Российской Федерации.

Как показал ранее проведенный анализ [4], общая динамика показателей развития отрасли «Транспортировка и хранение» за период 2018-2020 гг. была положительной за исключением периода ограничений во время пандемии. Основные экономические показатели транспорта за период 2020-2023 гг. позволяют отметить положительную динамику удельного веса отрасли в валовой добавленной стоимости экономики страны (с 6,5% до 6,9% соответственно). Среднегодовая численность работников организаций за этот период в абсолютном выражении увеличилась незначительно – с 3,2 млн чел в 2020 г. до 3,3 млн чел в 2023 г., доля работников отрасли в экономике также незначительно возросла – с 7,5% до 7,6% в 2020 г. и 2023 г. соответственно [8].

Среди экономических показателей отрасли представляют интерес показатели, отраженные в таблице 1, составленной по данным [8]. Выбор этих показателей объясняется следующим. Основные фонды – важнейшее средство производства организаций отрасли. Результатом инвестиций в основной капитал является увеличение их стоимости, снижение степени износа основных фондов, что является базой для роста оказания услуг и в дальнейшем улучшения финансовых результатов деятельности.

Как видно, происходит увеличение стоимости основных фондов. Можно предположить, что в определенной степени это связано с ростом инвестиций в основной капитал отрасли.

Таблица 1.
Некоторые экономические показатели деятельности транспорта РФ

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Прирост 2023 г. к 2020 г., %
Наличие основных фондов (на конец года; по полной учетной стоимости), млрд руб.	23582,0	25157,7	27364,6	29546,0	25,3
Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	2597,5	3221,0	4427,8	5489,3	111,3
Степень износа основных фондов, %	40,4	39,6	38,0	37,9	-6,2
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) организаций, млрд руб.	348,9	1013,9	1448,5	2059,9	490,4

Источниками инвестиций в транспорт служат бюджетные и внебюджетные средства. Представим динамику инвестиций в разрезе по отраслям транспорта (рис. 1).

Очевидна положительная динамика инвестиционных вложений, особенно по абсолютной величине инвестиций выделяется трубопроводный транспорт. Также заметна величина инвестиций в основной капитал видов транспорта «Грузовые перевозки железнодорожным транспортом» и «Прочий сухопутный пассажирский транспорт».

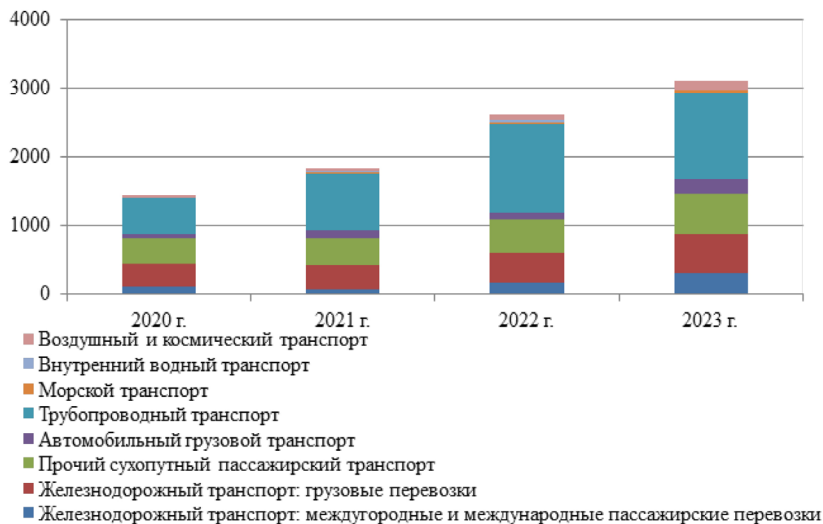


Рис. 1. Динамика инвестиций в основной капитал
(в фактически действовавших ценах) по видам транспорта, млрд руб.

Можно предположить, что инвестиции в трубопроводный транспорт вызваны особенностями экономической деятельности страны. Инвестиции в железнодорожный транспорт в значительной степени обусловлены необходимостью развивать транспортные коридоры в восточном направлении страны [2]. По прогнозам специалистов, общие бюджетные и внебюджетные расходы на госпрограмму «Развитие транспортной системы» в ближайшие три года будут падать: к 2025 году они снизятся более чем на 40% относительно уровня 2022-го, до 1,54 трлн руб. Основная причина – резкое уменьшение ожидаемых внебюджетных вложений. Падение связано с неопределенностью для крупных компаний дальнейших инфраструктурных планов государства, от которой в большей степени страдает железнодорожная отрасль. Однако возможно в течение следующего года будут согласованы и утверждены новые объемы расходов, что может немного сгладить негативный тренд [1].

Как видно из данных таблицы 1, прирост инвестиций способствовал обновлению основных фондов: за период 2020-2023 гг. степень износа основных фондов в целом по отрасли снизилась с 40,4% до 37,9%. Хотя, безусловно, степень износа основных фондов отрасли остается высокой. Особенно велика она в организациях следующих видов деятельности [8]: трубопроводный транспорт (57,5% по состоянию на конец 2023 г.), перевозки автомобильным (автобусным) пассажирским транспортом в междугородном сообщении по расписанию (57,1%) и в международном сообщении по расписанию (52,2%), внутренний водный грузовой транспорт (45,2%). Вид деятельности «Воздушный и космический транспорт» выделяется увеличением степени износа основных фондов за рассматриваемый период с 35,6% до 37,6%.

Финансовым результатом деятельности предприятий отрасли является прибыль или убыток. Рассмотрим динамику сальдированного финансового результата деятельности транспортных организаций (рис. 2).

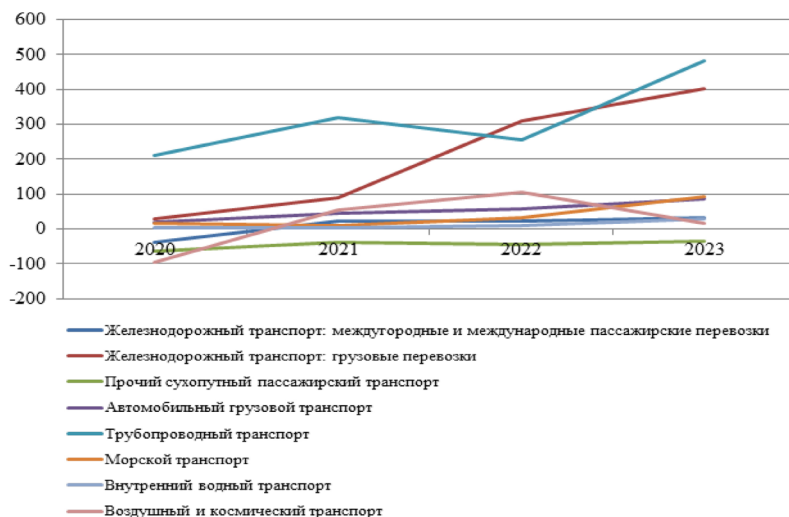


Рис. 2. Динамика сальдированного финансового результата деятельности транспортных организаций по видам транспорта, млрд руб.

Данные статистики [8] и рисунка 2 свидетельствуют, что организации некоторых видов транспорта демонстрируют стабильный положительный тренд – железнодорожный транспорт: грузовые перевозки, трубопроводный транспорт, автомобильный грузовой транспорт; некоторые – перешли из убыточного состояния в прибыльное за рассматриваемый период: железнодорожный транспорт: междугородные и международные пассажирские перевозки, воздушный и космический транспорт. Организации, относящиеся к категории «Прочий сухопутный пассажирский транспорт» в течение рассматриваемого периода имеют отрицательный финансовый результат.

Сальдированный финансовый результат деятельности отрасли зависит от доли убыточных организаций в их общей величине (таблица 2).

Таблица 2.

Динамика удельного веса убыточных организаций по виду экономической деятельности «Транспортировка и хранение», %

Вид деятельности	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Железнодорожный транспорт: междугородные и международные пассажирские перевозки	34,3	32,0	33,3	27,3
Железнодорожный транспорт: грузовые перевозки	29,0	24,1	31,7	23,5
Прочий сухопутный пассажирский транспорт	64,2	42,8	49,9	46,6
Автомобильный грузовой транспорт	29,2	22,8	24,3	20,1
Трубопроводный транспорт	21,3	20,0	26,3	28,1
Морской пассажирский транспорт	58,8	73,7	69,2	70,0
Морской грузовой транспорт	44,1	39,6	32,7	28,6
Внутренний водный пассажирский транспорт	66,7	42,9	46,4	50,0
Внутренний водный грузовой транспорт	25,9	25,6	25,0	19,7
Воздушный и космический транспорт	44,2	30,4	30,6	33,3

Данные таблицы показывают, что являются убыточными 70% организаций вида деятельности «Морской пассажирский транспорт», 50% организаций вида деятельности «Внутренний водный пассажирский транспорт», 46,6% организаций вида деятельности

«Прочий сухопутный пассажирский транспорт». Очевидно, что деятельность пассажирского транспорта не приносит прибыли значительной доле действующих организаций [6].

Очевидно, что во многом финансовый результат деятельности транспортных организаций зависит от величины тарифов на услуги, поэтому целесообразно рассмотреть динамику финансового результата их деятельности во взаимосвязи с динамикой тарифов. Динамика индексов тарифов на услуги некоторых видов транспорта (декабрь к декабрю предыдущего года) отражена в таблице 3.

Таблица 3.

**Динамика индексов тарифов на услуги некоторых видов транспорта
(декабрь к декабрю предыдущего года), %**

Вид деятельности	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Железнодорожный транспорт: междугородные и международные пассажирские перевозки	101,8	113,0	107,0	109,0
Железнодорожный транспорт: грузовые перевозки	103,5	103,7	120,0	121,9
Автомобильный пассажирский транспорт	104,0	107,1	110,5	113,6
Автомобильный грузовой транспорт	97,0	103,5	114,8	114,3
Трубопроводный транспорт	92,6	104,2	141,0	116,5
Морской грузовой транспорт	104,3	109,8	110,8	123,2
Внутренний водный грузовой транспорт	100,9	104,8	120,4	109,8
Воздушный грузовой транспорт	288,9	116,6	110,9	106,8

Как видно из данных таблицы, стабильно растут тарифы по всем видам деятельности, однако особенно выделяются «Железнодорожный транспорт: грузовые перевозки», «Морской грузовой транспорт», «Автомобильный пассажирский транспорт». Не наблюдается прямой зависимости между индексацией тарифов на услуги и сальдированным финансовым результатом деятельности транспортных организаций. Очевидно, существуют и другие причины, снижающие величину финансового результата, например, стоимость топлива и электроэнергии, определяющие величину затрат транспортных организаций [3]. Рассматривая

данные таблицы 3 за 2023 г. можно сопоставить их с индексами цен на отдельные виды товаров и энергоресурсов в январе – декабре 2023 г. к январю – декабрю 2022 г. (в процентах) [9]. Так индекс цен на электроэнергию, отпущенную транспорту составил 110,8%, индекс цен на бензин автомобильный – 127,2%, на топливо дизельное – 96,1%. Рост тарифов на услуги видов транспорта в целом соответствует росту цен на некоторые ресурсы.

В число технических показателей входит объем перевезенных грузов и пассажиров. На рисунке 3 отражена динамика перевозки грузов разными видами транспорта [8].

Данные рисунка 3 позволяют сделать вывод, что основной объем грузов перевозится с помощью автомобильного транспорта, далее следует железнодорожный и трубопроводный транспорт. При этом общий объем перевезенных грузов за рассматриваемый период возрос незначительно (+13,8%).

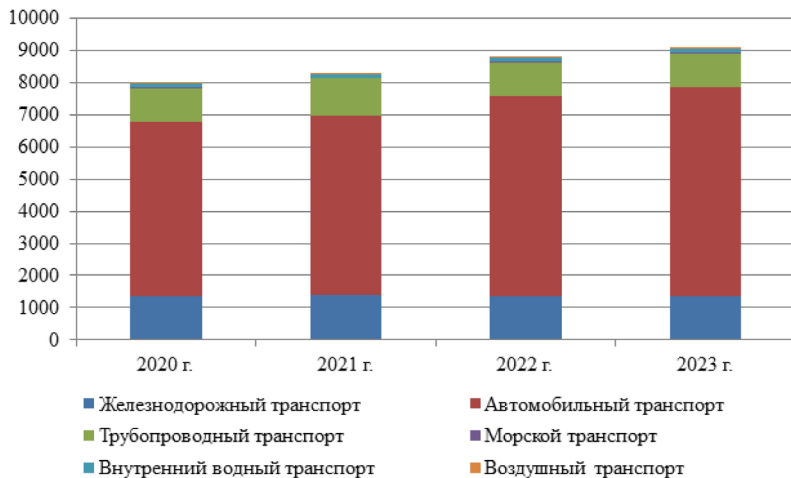


Рис. 3. Динамика перевозки грузов разными видами транспорта за 2020-2023 гг., млн т

По данным [8] на рисунке 4 отражена динамика перевозки пассажиров.

Как видно, прирост перевозки пассажиров составил 21,5%, при этом наибольшая доля пассажиров перевезена автобусным транспортом. Метрополитен занимает вторую позицию по объему перевозки пассажиров. Также велика доля трамвайного и троллейбусного транспорта. Это объясняется преобладанием внутригородского движения пассажиров над междугородним.

Таким образом, рассмотрение одного из технических показателей позволяет сделать вывод об увеличении физических объемов деятельности транспорта Российской Федерации.

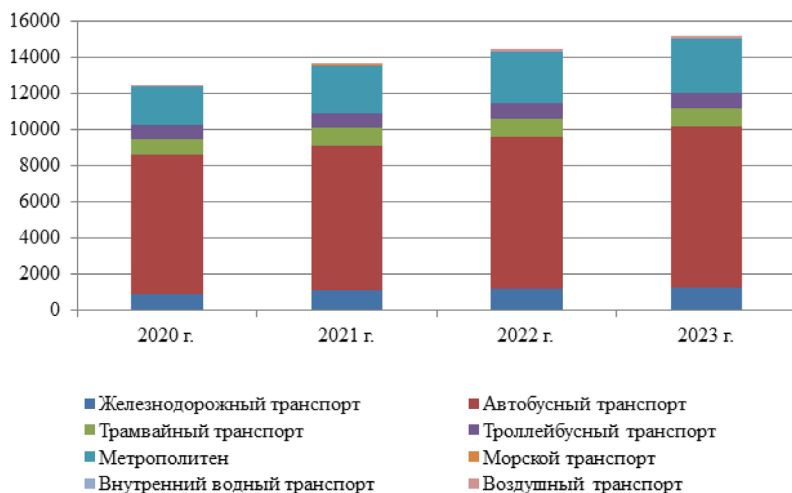


Рис. 4. Динамика перевозки пассажиров разными видами транспорта за 2020-2023 гг., млн человек

Таким образом, анализируя экономические показатели деятельности отечественных транспортных организаций можно сделать следующие выводы. Доля валовой добавленной стоимости, создаваемой транспортными организациями увеличивается, что в некоторой степени обусловлено увеличением числа занятых в отрасли и осуществляемыми инвестициями.

Статистические данные показывают рост стоимости основных фондов отрасли, выявлена положительная динамика инвестици-

онных вложений, однако степень износа основных фондов отрасли остается высокой. В целом за период 2020-2023 гг. выявлен рост положительного сальдированного финансового результата деятельности организаций.

В отрасли по видам деятельности выделяется грузовой и пассажирский транспорт. В разрезе отраслей можно отметить, что пассажирский транспорт имеет более скромные масштабы деятельности и финансовые результаты, здесь высокая степень износа основных фондов, темпы индексации тарифов не покрывают возрастающие затраты.

Рассматривая грузовые перевозки можно отметить, что объем инвестиций, степень изношенности основных фондов и др. показатели разнятся по видам транспорта. Трубопроводный транспорт имеет самую большую абсолютную величину инвестиций, однако здесь определена и самая высокая степень износа основных фондов. Грузовые перевозки железнодорожным транспортом имеют стабильный рост инвестиций в основной капитал, динамика сальдированного финансового результата демонстрирует положительный тренд. Одной из причин здесь может служить высокие темпы роста индексов тарифов на услуги этого вида транспорта.

Выявлено увеличение физических объемов перевозки грузов и пассажиров.

В целом можно отметить, положительную динамику развития транспорта в отечественной экономике, что, безусловно, способствует решению задач, стоящих перед ней.

Список литературы

1. Госпрограмма по развитию транспорта: на что направят федеральные средства в 2024-2026 годах. [Электронный ресурс] URL: <https://sherpagroup.ru/analytics/5ex56hb> (дата обращения 05.12.2024)
2. Князькина О.В., Хамитов Р.М. Текущее состояние и перспективы развития Транссибирской магистрали // International Journal

- of Advanced Studies. 2024. Т. 14, No 2. С. 216-233. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-2-294>
3. Коновалова Т.В., Домбровский А.Н., Надирян С.Л., Коцурба С.В. Формирование и пути оптимизации транспортных затрат производственного предприятия // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, No 2. С. 169-180. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-2-283>
 4. Миркина О. Н. Состояние транспортной отрасли России и основные тенденции её развития // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12, № 1. С. 104-122. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-1-104-122>
 5. Нагорный В.В., Артемов В.Е., Миронова М.П. Целесообразность развития автомобильного пассажирского транспорт в северных регионах нашей страны // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, No 4. С. 50-61. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-50-61>
 6. Рейхерт Н. В. Влияние инфляционных процессов на потребительский спрос населения // Экономический журнал. 2018. № 3(51). С. 121-138.
 7. Сапожникова С. М. Оценка и прогноз развития автотранспортных малых компаний в регионе // International Journal of Advanced Studies. 2018. Т. 10. № 3. С. 79-99. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2018-3-79-99>
 8. Транспорт в России. 2024: Стат.сб./Росстат. М., 2024. 100 с.
 9. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. 2023 год. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/13259> (дата обращения 05.12.2024)
 10. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс] URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom->

na-period-do-2035-goda?ysclid=m4mrhzwma5913478764 (дата обращения 05.12.2024)

References

1. State program on transport development: what federal funds will be allocated for in 2024-2026. <https://sherpagroup.ru/analytics/5ex56hb>
2. Knyazkina O.V., Khamitov R.M. Current state and prospects of development of the Trans-Siberian Railway. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 216-233. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-2-294>
3. Konovalova T.V., Dombrovskiy A.N., Nadiryan S.L., Kotsurba S.V. Formation and ways of optimization of transport costs of the production enterprise. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 169-180. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2024-14-2-283>
4. Mirkina O. N. State of the transport industry of Russia and the main trends of its development. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 104-122. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-1-104-122>
5. Nagorny V.V., Artemov V.E., Mironova M.P. Expediency of development of automobile passenger transportation in the northern regions of our country. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 50-61. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-50-61>
6. Reichert N. V. Influence of inflationary processes on consumer demand of the population. *Economic Journal*, 2018, no. 3(51), pp. 121-138.
7. Sapozhnikova S. M. Evaluation and forecast of the development of motor transport small companies in the region. *International Journal of Advanced Studies*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 79-99. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2018-3-79-99>
8. Transportation in Russia. 2024: Stat.sb./Rosstat. M., 2024, 100 p.
9. Transport of Russia. Informational and statistical bulletin. 2023. Ministry of Transport of the Russian Federation. <https://mintrans.gov.ru/documents/7/13259>

10. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast for the period up to 2035. Approved by the order of the Government of the Russian Federation from November 27, 2021 № 3363-р. <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozm-na-period-do-2035-goda?ysclid=m4mrhzwma5913478764>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Миркина Ольга Наумовна, доцент кафедры экономики, кандидат экономических наук, доцент
Смоленский государственный университет
ул. Пржевальского, 4, г. Смоленск, 214000, Российская Федерация
olga-mirkina@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Olga N. Mirkina, Associate Professor of Economics, Candidate of Economics, Associated Professor
Smolensk State University
4, Przewalski Str., Smolensk, 214000, Russian Federation
olga-mirkina@yandex.ru
SPIN-code: 5972-7929
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8040-8353>

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 05.12.2024

Received 13.11.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 05.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-329

EDN: WOTLEB

УДК 656.27:656.2



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

А.В. Горелик, Н.В. Романов, Т.С. Щедрина

Аннотация

В статье предложена технологическая модель организации эффективного технического обслуживания устройств сигнализации, централизации и блокировки на малоделятельном участке.

В настоящее время периодичность технического обслуживания объектов инфраструктуры на малоделятельных участках осуществляется с регламентированной периодичностью.

В то же время, контроль технического состояния, обслуживание и ремонт устройств сигнализации, централизации и блокировки зависят от различных параметров рассматриваемого участка, таких как, интенсивность движения поездов, пропускная и провозная способность, наличие или отсутствие систем диагностики и мониторинга на участке и других.

Предложенная модель позволяет осуществлять обоснованный выбор технологии организации технической эксплуатации систем обеспечения движения поездов на перегонах и станциях с малой интенсивностью движения поездов, с учетом выполнения объектами инфраструктуры возлагаемых на них функций безопасности, а также соблюдением установленных значений показателей технико-экономической эффективности.

Технологическая модель разработана с применением методов оценки рисков надежности и безопасности функционирования объ-

ектов сигнализации, централизации и блокировки, методов оптимизации производственных процессов и минимизации непроизводительных потерь, моделирования указанных процессов с помощью метода функциональных сетей.

Технологическая модель является инструментом принятия решения о применении той или иной технологии организации технического обслуживания систем и устройств сигнализации централизации и блокировки на участке с малоинтенсивным движением поездов.

Практическое применение предложенной модели реализуется путем автоматизации ее положений с использованием соответствующих информационных систем.

Ключевые слова: малодетальные участки; техническое обслуживание; устройства сигнализации; устройства централизации; устройства блокировки; технологическая модель

Для цитирования. Горелик А.В., Романов Н.В., Щедрина Т.С. Организация эффективного технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на малодетальных участках // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 169-184. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-329

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

THE ORGANIZATION OF EFFECTIVE MAINTENANCE OF RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS DEVICES IN LOW-ACTIVITY SECTIONS

A.V. Gorelik, N.V. Romanov, T.S. Shhedrina

Abstract

The article proposes a technological model for the organization of effective maintenance of signaling, centralization and blocking devices in low-active section.

Currently, the frequency of maintenance of infrastructure facilities in low-activity section is carried out with a regulated cyclic.

At the same time, the control of the technical condition, maintenance and repair of signaling, centralization and blocking devices depend on various parameters of the site in question, such as the intensity of train movement, traffic capacity and carrier capacity, the presence or absence of diagnostic and monitoring systems on the site and others.

The proposed model makes it possible to make a reasonable choice of technology for organizing the technical operation of train movement system on stretches and stations with low train traffic, taking into account the performance of safety functions assigned to them by infrastructure facilities, as well as compliance with established values of technical and economic efficiency indicators.

The technological model was developed using methods for assessing the risks of reliability and safety of alarm devices, centralization and blocking, methods for optimizing production processes and minimizing unproductive losses, modeling these processes using the method of functional networks.

The technological model is a decision-making tool for the application of a particular technology for the organization of maintenance of systems and devices for signaling, centralization and blocking in low-active section train traffic.

The practical application of the proposed model is realized by automatization of its provisions using appropriate information systems. Keywords: inactive sites, maintenance, alarm, centralization and blocking, technological model.

Keywords: low-active sections; maintenance; signalling devices; centralization devices; blocking devices; technological model

For citation. Gorelik A.V., Romanov N.V., Shhedrina T.S. The Organization of Effective Maintenance of Railway Automation and Telemechanics Devices in Low-Activity Sections. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 169-184. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-329

На малоделятельных участках железной дороги параметры движения поездов значительно отличаются от участков с интенсивным движением. Это требует индивидуального подхода

при выборе технологии содержания и эксплуатации систем обеспечения движения поездов. В соответствии с действующими локальными нормативными актами ОАО «Российские железные дороги» [7], контроль технического состояния устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), их периодические осмотры и текущий ремонт осуществляется через строго определенные периоды времени, при этом как правило периодичность указанных осмотров, в незначительной степени зависит от интенсивности движения поездов на том или ином железнодорожном (ж.д.) участке. Такой подход приводит к неэффективному расходованию материальных ресурсов и денежных средств, выделяемых на текущее содержание объектов ж.д. инфраструктуры, так как указанные затраты не учитывают риски возможных потерь от отказов различных транспортных объектов, прежде всего расположенных на участках с незначительным размером движения поездов и объемом маневровой работы. Очевидно, что кроме размеров движения поездов, технология содержания и эксплуатации объектов инфраструктуры, должна зависеть от технологической оснащенности станций и перегонов системами диагностики и мониторинга, современными системами автоматического контроля технического состояния систем обеспечения движения поездов.

Рекомендации и нормативные требования, определяющие влияние указанных показателей на технологию эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры приведены в работах [1; 7-18]. Поэтому требуется разработать технологическую модель организации эффективного технического обслуживания устройств СЦБ на малодеятельных участках (далее – технологическая модель), на основе которой, можно было бы осуществлять обоснованный выбор технологии организации технической эксплуатации систем обеспечения движения поездов на перегонах и станциях с незначительным объемом поездной и маневровой работы, с учетом выполнения объектами инфраструктуры возлагаемых на них

функций безопасности, а также соблюдением установленных значений показателей технико-экономической эффективности.

Линия считается малоделятельной (специализации «М»), если суммарный размер движения по ней пассажирских и грузовых поездов не превышает 8 пар поездов в сутки, а приведенная грузонапряженность составляет не более 5 млн. т-км брутто/км в год [9]. С учетом средней технической скорости движения поездов, класс такой малоинтенсивной линии может варьироваться от второго до пятого (Таблица 1).

Таблица 1.

Классы железнодорожных линий для специализации «М»

Годовая грузо- напряженность (млн. ткм брут- то/км)	> 110	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	$\geq 77 \text{ и } \leq 110$	> 110
	> 90	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	$\geq 77 \text{ и } \leq 90$	> 90
Класс железно- дорожной линии	2	2	3	4	4	5	5	5

Несмотря на незначительную долю малоделятельных участков на сети железных дорог общего пользования, эти ж.д. линии играют важную социальную роль, и часто являются единственным доступным средством сообщения, для жителей небольших поселков или деревень, существенно удаленных от промышленных центров. Для содержания таких объектов ж.д. инфраструктуры необходимо эффективное распределение ограниченных денежных средств, которые как правило выделяются на условиях софинансирования транспортной компании и средствами региональных бюджетов. Также, в соответствии с [11], к рассматриваемым ж.д. участкам могут относиться не только линии с преимущественно пассажирским движением, но и другие типы малоделятельных линий, характеристики которых приведены в таблице 2.

Таким образом, в отдельных случаях необходимость функционирования малоделятельной линии может быть обусловлена не только социальными или экономическими причинами, но и

требованиями по обеспечению обороноспособности страны, что лишний раз подтверждает необходимость научно-обоснованного подхода к выбору технологии организации технического обслуживания систем и устройств СЦБ.

Таблица 2.

Типы малодетальных линий

№	Типы малодетальных линий	Характер эксплуатации
1	Линии, обеспечивающие перевозки для объектов Министерства обороны Российской Федерации	Наличие на линии объектов Министерства обороны РФ в количестве 1 и более. На линии осуществляется движение как пассажирских, так и грузовых поездов
2	Линии с грузовым движением	На линии отсутствует движение пассажирских и пригородных поездов
3	Линии с пассажирским движением	На линии отсутствует движение грузовых поездов
4	Линии со смешанным движением	На линии осуществляется движение грузовых и пассажирских поездов. Отсутствуют объекты Министерства обороны РФ
5	Технологические линии	Транзитные и внутриузловые линии

На малодетальных участках (линий 5, 4 и отдельных участках 3 класса) назначение работ по ТО и ремонту (ТО и Р) устройств (систем) СЦБ могут осуществляться в случае фактического отказа этих систем [10]. При этом профилактические осмотры и текущий ремонт устройств участвующих в реализации функций безопасности, связанных с контролем выполнения условий безопасности движения поездов должны, в любом случае, осуществляться с нормированной периодичностью. При применении в составе устройств (систем) СЦБ элементов резервирования, назначение работ по ТО и Р производится по факту отказа основного элемента и перехода на резервный. Применение данного вида ТО и Р обеспечивает отказоустойчивость системы обеспечения движения поездов в целом, при отказах отдельных элементов такой системы, существенно снижает возможные потери вызванные от-

казами устройств СЦБ, и позволяет эксплуатировать объекты железнодорожной инфраструктуры до их перехода в придельное состояние, что особо актуально в условиях финансового дефицита.

В настоящее время на сети железных дорог России эксплуатируется порядка 10% станций и 12% перегонов [12], относящихся к малоделятельным линиям. Кроме того, около 70% таких перегонов оборудованы системой полуавтоматической блокировки, а более 50% станций имеют 6 и менее путей. Учитывая малую долю объектов СЦБ (примерно 11% от всего объема по сети железных дорог), а также низкую оснащенность таких участков современными техническими средствами, организация их эффективного, с экономической точки зрения, технического обслуживания требует тщательного анализа производственных процессов на данных участках, с учетом особенностей организации движения поездов.

При обосновании целесообразности планирования и проведения тех или иных мероприятий, направленных на повышение эффективности процесса технического обслуживания и ремонта систем и устройств СЦБ необходима, прежде всего оценка целевых показателей [13]:

$$n_{\text{нал}}^{\text{ЖАТ}} > n_{\text{потр}}^{\text{ЖАТ}}; \quad (1)$$

$$\forall i (\lambda_{oi}^{\phi} > \lambda_{oi}^{\text{н}}); \quad (2)$$

$$K_{\Gamma 12}^{\phi \text{ ЖАТ}} > K_{\Gamma 12}^{\text{н ЖАТ}}; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \text{СЖЦ} \rightarrow \min; \quad (4)$$

Где N – совокупность всех систем СЦБ;

i – отдельная система СЦБ;

λ_o^{ϕ} – фактическое значение интенсивности опасных отказов систем СЦБ;

$\lambda_o^{\text{н}}$ – нормированная величина интенсивности опасных отказов;

$n_{\text{нал}}^{\text{ЖАТ}}$ – значение наличной пропускной способности;

$n_{\text{потр}}^{\text{ЖАТ}}$ – значения потребной пропускной способности;

$K_{г12}^{ф ЖАТ}$ – фактическое значение коэффициента готовности по отказам первой и второй категории;

$K_{г12}^{н ЖАТ}$ – нормативного значение коэффициента готовности по отказам первой и второй категории;

СЖЦ – стоимость жизненного цикла [13].

Технология организации ТО систем и устройств СЦБ должна быть разработана с применением методологии бенчмаркинга, методов оценки рисков по надежности и безопасности функционирования объектов СЦБ, статистических методов оценки остаточного и функционального ресурса систем СЦБ [8], методов оптимизации производственных процессов и минимизации непроизводительных потерь, моделирования указанных процессов с помощью метода функциональных сетей.

Схема реализации технологической модели организации эффективного технического обслуживания устройств СЦБ на малодеятельных участках представлена на рисунке 1.

Разработка технологической модели для малодеятельных участков позволит решить следующие задачи:

- обосновывать решения о целесообразности изменения технологии технического обслуживания устройств и систем СЦБ для конкретных объектов (станций и перегонов), так и отдельных участков железной дороги, с учетом класса и специализации;

- учитывать различные факторы, определяющие эффективность принятия решений по техническому обслуживанию устройств и систем СЦБ, в том числе, класс и специализацию железнодорожной линии, параметры движения поездов, фактическое и прогнозные значения остаточного и функционального ресурсов, различные условия эксплуатации системы, наличие финансовых и материальных ресурсов, климатические, географические и демографические условия, кадровое и материально-техническое обеспечения процесса технического обслуживания, а также другие значимые факторы;

- прогнозировать значение уровней безотказности и готовности систем СЦБ с учетом изменения технологии их технического обслуживания, расположенных на малодеятельных участках.

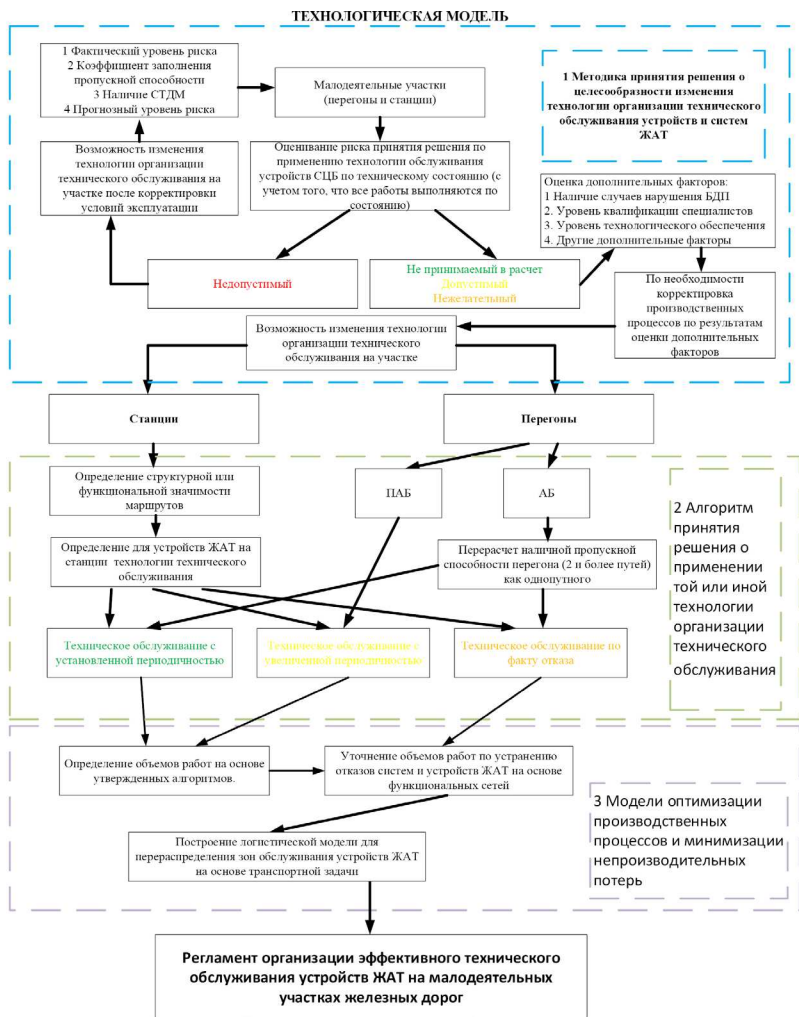


Рис. 1. Схематическая визуализация технологической модели организации эффективного технического обслуживания устройств СЦБ на малодеятельных участках

Основными технологическими процедурами (этапами) рассматриваемой модели являются:

- методика принятия решения о целесообразности изменения технологии организации технического обслуживания устройств и систем СЦБ;
- алгоритм принятия решения о применении той или иной технологии организации технического обслуживания систем и устройств СЦБ на малоделятельном участке железной дороги;
- модель оптимизации производственных процессов и минимизации непроизводительных потерь, реализованная на основе теории функциональных сетей.
- регламент организации эффективного технического обслуживания устройств СЦБ на малоделятельных участках железных дорог.

Таким образом, данная технологическая модель может быть использована для решения следующих задач:

- обоснования целесообразности изменения технологии организации технического обслуживания устройств СЦБ на участках железной дороги в зависимости от интенсивности движения поездов, класса и специализации железнодорожной линии, оценки эффективности таких изменений;
- оптимизации технологии организации технического обслуживания устройств СЦБ на малоделятельных участках железных дорог на основе результатов, полученных с применением технологии бенчмаркинга;
- разработки и корректировки распорядительной и нормативно-технической документации по хозяйству автоматики и телемеханики для дистанций инфраструктуры, обслуживающих малоделятельные участки железных дорог.

Список литературы

1. Горелик А.В. Оценка функционального ресурса систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А.В. Горелик, А.С. Весе-

- лова, И.А. Журавлев, П.А. Неваров, А.В. Орлов, П.В. Савченко, Н.А. Тарадин. МИИТ. М., 2015. 27 с.
2. ГОСТ 33893-2016 Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля. <https://docs.cntd.ru/document/1200144946>
 3. ГОСТ 33894-2016 Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля. <https://docs.cntd.ru/document/1200144931>
 4. ГОСТ 33895-2016 Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на перегонах железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля. <https://docs.cntd.ru/document/1200144932>
 5. ГОСТ 33896-2016 Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов. Требования безопасности и методы контроля. <https://docs.cntd.ru/document/1200144933>
 6. ГОСТ 34012-2016 Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования. <https://docs.cntd.ru/document/1200144934>
 7. Инструкция по техническому содержанию устройств инфраструктуры на малоинтенсивных линиях железных дорог. Утвержденной Распоряжением ОАО «РЖД» от 24.01.2019 № 110/р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 13.12.2023 № 3167/р. https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/0/instruktsiya_po_tekhnicheskomu_soderzhaniyu_ustroystv.html
 8. Ключевые инициативы и целевые проекты эффективного развития хозяйства автоматики и телемеханики / П. С. Сиделев, А. В. Горелик, Н. А. Тарадин, А. Н. Малых // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 7. С. 5-9.
 9. Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» (утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 13.01.2020 г. N 28/р). <https://docs.cntd.ru/document/564286419>

10. Положение о системе ведения хозяйства автоматики и телемеханики (утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 17.02.2022 г. № 386/р). 24 с.
11. Регламент эксплуатации и обслуживания инфраструктуры на малоинтенсивных железнодорожных участках (утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 17.05.2017 г. N 944р). 24 с.
12. Сирина Н. Ф. Технологическая координация эксплуатационной работы малодетальных железнодорожных линий / Н. Ф. Сирина, М. Е. Юшков // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2016. Т. 75, № 3. С. 147-153.
13. Стратегические цели и средства повышения эффективности производственного процесса технического обслуживания систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, А. Н. Малых, Г. Г. Курашева, Т. С. Щедрина // Наука и техника транспорта. 2023. № 2. С. 10-15.
14. Gorelik A. V. Assessment of Operational Risks of Electric Interlocking Systems / A. V. Gorelik, V. Y. Gorelik, D. V. Shalyagin // Russian Electrical Engineering. 2018. Vol. 89, No. 9. P. 550-554. <https://doi.org/10.3103/S1068371218090055>
15. Planning Electric-Rolling-Stock Maintenance in Conditions of Limited Resources / V. G. Sidorenko, C. M. Aung, V. M. Alekseev [et al.] // Russian Electrical Engineering. 2017. Vol. 88, No. 12. P. 839-841. <https://doi.org/10.3103/S106837121712015X>
16. Shubinsky I. Application of artificial intelligence in Russia's railway network asset management / I. Shubinsky, A. Zamyshlyaev, A. Bochkov // Reliability: Theory & Applications. 2022. Vol. 17, No. S3(66). P. 42-48. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2022-366-42-48>
17. Shubinsky I. B. Standardization of the Facilities of Railway Transport and the Normalization of Dependability Indicators / I. B. Shubinsky, A. M. Zamyshlaev // International Series in Operations Research and Management Science. 2022. Vol. 322. P. 49-76. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90029-8_5
18. System of adaptive management of railway transport infrastructure technical maintenance (URRAN project) / V. A. Gapanovich, I. B.

Shubinsky, E. N. Rozenberg, A. M. Zamyshlyayev // Reliability: Theory & Applications. 2015. Vol. 10, No. 2(37). P. 30-41.

References

1. Gorelik A.V. Estimation of the functional resource of the railway automation and telemechanics systems / A.V. Gorelik, A.S. Veselova, I.A. Zhuravlev, P.A. Nevarov, A.V. Orlov, P.V. Savchenko, N.A. Taradin. MIIT. M., 2015, 27 p.
2. GOST 33893-2016 Railway automation and telemechanics systems at railway crossings. Safety requirements and methods of control. <https://docs.cntd.ru/document/1200144946>
3. GOST 33894-2016 Railway automation and telemechanics systems at railway stations. Safety requirements and control methods. <https://docs.cntd.ru/document/1200144931>
4. GOST 33895-2016 Railway automation and telemechanics systems at railroad line crossings. Safety requirements and methods of control. <https://docs.cntd.ru/document/1200144932>
5. GOST 33896-2016 Systems of dispatch centralization and dispatch control of train traffic. Safety requirements and methods of control. <https://docs.cntd.ru/document/1200144933>
6. GOST 34012-2016 Railway automation and telemechanics equipment. General technical requirements. <https://docs.cntd.ru/document/1200144934>
7. Instruction on the technical maintenance of infrastructure devices on low-intensity railroad lines. Approved by Russian Railways Order No. 110/r dated 24.01.2019 as amended by Russian Railways Order No. 3167/r dated 13.12.2023. https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/0/instruktsiya_po_tekhnicheskomu_soderzhaniyu_us-troystv.html
8. Key initiatives and target projects for the effective development of automation and telemechanics / P. S. Sidelev, A. V. Gorelik, N. A. Taradin, A. N. Malykh. *Automation, Communications, Informatics*, 2023, no. 7, pp. 5-9.

9. Methodology of classification and specialization of railway lines of JSCo “Russian Railways” (approved by the order of JSCo “Russian Railways” dated 13.01.2020 N 28/r). <https://docs.cntd.ru/document/564286419>
10. Regulations on the system of maintenance of automation and telemechanics (approved by the order of JSCo “Russian Railways” dated 17.02.2022, No. 386/r). 24 p.
11. Regulations for the Operation and Maintenance of Infrastructure on Low-Intensity Railroad Sections (approved by the order of JSCo “Russian Railways” dated 17.05.2017, No. 944r). 24 p.
12. Sirina N. F. Technological coordination of operational work of low-intensity railway lines / N. F. Sirina, M. E. Yushkov. *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*, 2016, vol. 75, no. 3, pp. 147-153.
13. Strategic Goals and Means of Increasing the Efficiency of Production Process of Maintenance of Railway Automation and Telemechanics Systems / A. V. Gorelik, A. N. Malykh, G. G. Kurasheva, T. S. Schedrina. *Science and Technology of Transport*, 2023, no. 2, pp. 10-15.
14. Gorelik A. V. Assessment of Operational Risks of Electric Interlocking Systems / A. V. Gorelik, V. Y. Gorelik, D. V. Shalyagin. *Russian Electrical Engineering*, 2018, vol. 89, no. 9, pp. 550-554. <https://doi.org/10.3103/S1068371218090055>
15. Planning Electric-Rolling-Stock Maintenance in Conditions of Limited Resources / V. G. Shalyagin, G. Sidorenko, C. M. Aung, V. M. Alekseev [et al.]. *Russian Electrical Engineering*, 2017, vol. 88, no. 12, pp. 839-841. <https://doi.org/10.3103/S106837121712015X>
16. Shubinsky I. Application of artificial intelligence in Russia’s railway network asset management / I. Shubinsky, A. Zamyshlyaev, A. Bochkov. *Reliability: Theory & Applications*, 2022, vol. 17, no. S3(66), pp. 42-48. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2022-366-42-48>
17. Shubinsky I. B. Standardization of the Facilities of Railway Transport and the Normalization of Dependability Indicators / I. B. Shubinsky, A. M. Zamyshlaev. *International Series in Operations Research*

and Management Science, 2022, vol. 322, pp. 49-76. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90029-8_5

18. System of adaptive management of railway transport infrastructure technical maintenance (URRAN project) / V. A. Gapanovich, I. B. Shubinsky, E. N. Rozenberg, A. M. Zamyshlyayev. *Reliability: Theory & Applications*, 2015, vol. 10, no. 2(37), pp. 30-41.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Горелик Александр Владимирович, директор академии «Российская открытая академия транспорта», доктор технических наук

Российский университет транспорта

ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127055, Российская Федерация

agorelik@yandex.ru

Романов Николай Вячеславович, старший преподаватель кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры»

Российский университет транспорта

ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127055, Российская Федерация

romanovkolja@yandex.ru

Щедрина Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Электрификация и электроснабжение»

Российский университет транспорта

ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127055, Российская Федерация

shchedrina_ts@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr V. Gorelik, Director of the Academy “Russian Open Academy of Transport”, Doctor of Technical Sciences

Russian University of Transport (MIIT)
9 building 9, Obrazcova Str. Moscow, 127055, Russian Federation
agorelik@yandex.ru
SPIN-code: 9543-4715
Scopus Author ID: 57200751967

Nikolaj V. Romanov, Senior Lecturer of the Department «Transport Infrastructure Management Systems»
Russian University of Transport (MIIT)
9 building 9, Obrazcova Str. Moscow, 127055, Russian Federation
romanovkolja@yandex.ru
SPIN-code: 1431-6584

Tat'jana S. Shhedrina, Senior Lecturer of the Department «Electrification and Power Supply»
Russian University of Transport (MIIT)
9 building 9, Obrazcova Str. Moscow, 127055, Russian Federation
shchedrina_ts@mail.ru
SPIN-code: 1012-6413

Поступила 20.10.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 28.11.2024

Received 20.10.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 28.11.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-327

EDN: QBOQXL

УДК 629.4:656.222.2



Научные обзоры | Логистические транспортные системы

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

О.Д. Покровская, О.В. Шугаев

Аннотация

Состояние вопроса. Статья посвящена обзору опыта и анализу перспектив развития организации тяжеловесного движения. Технология тяжеловесного движения в России – сравнительно «молодая» и имеет ряд особенностей. Актуальность темы связана с систематизацией имеющегося у ОАО «РЖД» опыта организации тяжеловесного движения на различных полигонах, и определяется необходимостью выявления особенностей развития указанной технологии на ближайшую перспективу.

Цель: охарактеризовать текущее состояние развития технологии тяжеловесного движения с учетом исторического и концептуального аспектов организации тяжеловесного движения в нашей стране.

Методы. Использовались методы сравнительного анализа, логики и нормирования эксплуатационной работы железных дорог.

Результаты. Дана характеристика особенностей, опыта и перспектив развития тяжеловесного движения. Отмечены ключевые тенденции и треки дальнейшего совершенствования технологии. Сформулированы некоторые атрибуты будущего целевого образа тяжеловесной железной дороги.

Заключение. Показаны ключевые особенности и сложности организации тяжеловесного движения в России. Отмечено, что потенциал тяжеловесной логистики сегодня на полигонах ОАО «РЖД» до сих пор не раскрыт в полной мере.

Ключевые слова: тяжеловесное движение; железнодорожный транспорт; логистика; ОАО «РЖД»; опыт и перспективы развития

Для цитирования. Покровская О.Д., Шугаев О.В. Опыт и перспективы развития тяжеловесного движения // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 185-198. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-327

Scientific Reviews | Logistic Transport Systems

THE EXPERIENCE AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE HEAVYWEIGHT MOVEMENT

O.D. Pokrovskaya, O.V. Shugaev

Abstract

Background. The article is devoted to the review of the experience and analysis of the prospects for the development of the organization of the heavyweight movement. The technology of heavy-lift movement in Russia is relatively “young” and has a number of features. The relevance of the topic is related to the systematization of the experience of Russian Railways in organizing heavy traffic at various landfills, and is determined by the need to identify the features of the development of this technology in the near future.

Purpose: to characterize the current state of development of heavy-lift technology, taking into account the historical and conceptual aspects of the organization of heavy-lift traffic in our country.

Methods. The methods of comparative analysis, logistics and standardization of railroad operational work were used.

Results. The characteristics of the features, experience and prospects of the development of the heavyweight movement are given. The key trends and tracks for further improvement of the technology are noted. Some attributes of the future target image of a heavy railway are formulated.

Conclusion. The key features and difficulties of the organization of the heavyweight movement in Russia are shown. It is noted that the potential of heavy logistics at the landfills of JSC “Russian Railways” has not yet been fully disclosed.

Keywords: heavy traffic; railway transport; logistics; JSC “Russian Railways”; experience and development prospects

For citation. Pokrovskaya O.D., Shugaev O.V. The Experience and Prospects of the Development of the Heavyweight Movement. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 185-198. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-327

Введение

Краткий исторический обзор

В 2023-м году, на полях 12-й конференции ИННА («Международная ассоциация тяжеловесного движения»), которая прошла в Рио-де-Жанейро в августе 2023 г., презентовала актуальную концепцию Heavy Haul Vision 2030 (HHV2030) [1].

Закрепленный в решении указанной конференции термин: «Тяжеловесное грузовое движение – технологический процесс организации движения грузовых поездов с массой состава 6 300 т и более, включающих в состав вагоны с нагрузкой на ось 23,5; 25,0 тс и более» [2]. Функционирует в таких государствах, как Австралия, Бразилия, Канада, Китай, США, Швеция и ЮАР. Средняя протяженность железнодорожных линий, где курсируют тяжеловесные поезда, колеблется в диапазоне от 180 км до 1500 км, как правило, это выделенные, специализированные линии. На этих линиях в среднем в составе такого тяжеловесного поезда курсируют до 340 вагонов при допустимой нагрузке на ось специализированных вагонов порядка 25-40 т [3].

Отечественный опыт организации тяжеловесного движения берет свое начало с 1980-х годов, когда на Московской железной дороге под руководством Ивана Леонтьевича Паристого впервые была применена технология тяжеловесного движения, которая позволила перевозить значительно больше грузов без увеличения размеров движения. Опыт московских железнодорожников быстро распространился по сети, и уже в 1985 году на Полтавском отделении Южной железной дороги на участке между станциями

Золотнишино и Ромодан, протяжённостью 144 км, был проведён тяжеловесный длинносоставный поезд весом более 35 тыс. тонн.

20 февраля 1986 года по Целинной железной дороге был проведён рекордный состав-тяжеловес длиной 400 вагонов, весом 43 467 тонн.

Приоритетами для железнодорожного транспорта становятся рост объёма перевозок в 2000 году до 4700 млн тонн и обеспечение высокой эффективности работы железных дорог. Затем в ноябре 1990 года Научно-технический совет МПС СССР принял решение о разработке четырёхосных вагонов нового поколения с осевой нагрузкой 25 тс. Однако в начале 90-х уже в МПС России данная работа была свёрнута. Только в начале 2010-х годов эти вагоны были запущены в массовое производство и стали считаться инновационными [4].

Концепция тяжеловесного движения

Многоаспектное понятие тяжеловесного движения включает в себя два компонента. Первый, технический, определяется реализацией такой системы доставки, при которой будет обеспечен минимум затрат. Экономический, второй компонент, определяется ростом провозной и пропускной способности на грузонапряженных полигонах по вывозу массовых (прежде всего – сырьевых) грузов, что обеспечит прирост доходности таких перевозок [5,6].

В 2007 году ИННА обновила критерии принадлежности железных дорог к тяжеловесному движению. Тяжеловесной, как было определено в [1; 2], названа такая «...железная дорога, на которой выполняется не менее двух из трёх следующих условий: регулярно эксплуатируются или планируется эксплуатация маршрутных или сочленённых поездов массой не менее 8000 тонн брутто; осуществляются или планируется осуществлять регулярные коммерческие грузовые перевозки с грузонапряжённостью участков не менее 40 млн тонн брутто в год на линии протяжённостью не менее 150 км; регулярно эксплуатируется или планируется экс-

плуатировать подвижной состав при нагрузке на ось 27 тонн или более» [1; 2].

В настоящее время сеть ОАО «РЖД» в полной мере удовлетворяет первым двум условиям, активно проводится подготовка к реализации третьего на специализированных линиях и участках. Уже сегодня достигнута довольно высокая грузонапряжённость линий тяжеловесного движения – до 300 млн тонн брутто на километр в год.

Ключевой показатель, определяющий целесообразность организации тяжеловесного движения, это наличие устойчивого объема массовых грузов [7]. В «Стратегии развития транспортного машиностроения до 2030 года» [8] говорится, что: «С целью уменьшения транспортной составляющей в стоимости продукции, увеличения скорости доставки грузов, увеличения количества отправок грузов на экспорт ... требуется качественное улучшение технико-экономических параметров железнодорожного подвижного состава на период до 2030 года». Так, например, в 2030 году на сети ОАО «РЖД» должны «курсировать поезда 11500–13000 т, что увеличит провозную способность на 58%». В 2018 году Стратегия предусматривала организацию опытного курсирования поездов, составленных из железнодорожных вагонов с повышенной нагрузкой 27 тонн на ось, на направлениях массовой перевозки грузов, включая подготовку железнодорожной инфраструктуры и парка тягового подвижного состава [9-16].

Согласно «Комплексному плану модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года» предусмотрено повышение провозной способности на таких направлениях, как «Кузбасс – Северо-Запад, Кузбасс – Азово-Черноморский транспортный узел, Кузбасс – Дальневосточный транспортный узел».

Приоритетными в масштабе сети можно отметить тяжеловесные маршруты «Кузбасс – Екатеринбург – порты Северо-Западного региона; Кузбасс – Екатеринбург – Агрыз – Вековка – Орехово;

Кузбасс – Челябинск – Сызрань – Им. Максима Горького – Тихорецкая – порты Азово-Черноморского бассейна; Кузбасс – порты Дальнего Востока».

Современные направления развития тяжеловесного движения

В текущей геополитической ситуации скачкообразный высокий спрос на железнодорожные перевозки по направлению в страны Азиатско-Тихоокеанского региона потребовал от отрасли не только своевременного и стабильного вывоза грузов, но и повышение частоты курсирования тяжеловесных поездов. Это может быть достигнуто за счет закупки новых локомотивов, а также активной эксплуатации инновационных вагонов. Минимум 10 тяжеловесных поездов в сутки в настоящее время отправляется с Западно-Сибирской железной дороге в указанном направлении [3].

При дефиците пропускной способности на подходе к морским портовым объектам формирование тяжеловесных поездов из вагонов с повышенной грузоподъемностью является первоочередной мерой оптимизации процесса перевозок, к сожалению, по мнению экспертов, потенциал тяжеловесной логистики сегодня на полигонах ОАО «РЖД» до сих пор не раскрыт в полной мере. В качестве примера следует отметить, что по направлению Западная Сибирь-Дальний Восток (на июль 2024 г.) отправлено 63,3%, или 40,2 тыс. полувагонов с повышенной грузоподъемностью. К сожалению, только 15,3 тыс. из них следовали в поездах массой 7100 тонн. Основная же их часть двигалась по сети в поездах с типовыми параметрами, «теряя» при этом около 300 тыс. тонн. Иными словами, после выгрузки порожние вагоны возвращаются на места погрузки в смешанных составах, что требует их дополнительной переработки на сортировочных станциях. Необходимы оперативные меры по ежедневному подбору на путях общего пользования от 8 до 12 составов из инновационных вагонов [17].

В 2023 г. размеры тяжеловесного движения демонстрировали свой рост, превышающий 30 %. Каждый второй грузовой поезд, работающий на Восточном полигоне, в настоящее время является тяжеловесным. Это позволило освоить дополнительный объем перевозок в размере порядка 5 млн тонн. «Графиком движения поездов на 2024 г. предусмотрено дальнейшее увеличение числа тяжеловесных поездов на 7 % по сравнению с 2023 г.» [17].

С 2023 года наблюдается двухкратный рост поездов массой 7 100 тонн. Одним из логичных продолжений реализации технологии тяжеловесного движения стала организация движения сдвоенных контейнерных поездов, которая позволила организовать одновременно по одной нитке графика движение двух поездов. Кроме того, успешно начаты перевозки соединенных грузовых тяжеловесных поездов [17]. Для масштабирования технологии используется инновационный тяговый и нетяговый подвижной состав (25 тс), что позволяет уже сегодня каждую третью тонну грузов, обращающихся на Западно-Сибирской железной дороге, обслуживать инновационными вагонами.

Постоянно работают соединённые грузовые поезда с массой 13,4 тыс. тонн и 14,2 тыс. тон, например, «Известковая – Хабаровск», «Тайшет – Иркутск».

В 2024 году относительно 2022 года по Восточному полигону удалось обеспечить:

- рост количества тяжеловесных поездов не менее 13 %;
- увеличение средней массы грузового поезда на 133 т и
- увеличение среднесуточной производительности локомотива на 16 тыс. т-км брутто.
- экономию 3,5 нитки графика в сутки (по междорожному стыковому пункту Архара) [17].

Западно-Сибирская железная дорога активно отгружает грузы (среди которых уголь составляет подавляющее большинство) в адрес Северо-Западного и Азово-Черноморского морских бассейнов.

В частности, железнодорожные станции Мыски и Линево отправляют поезда весом 6,3 тыс. тонн, которые затем формируются железнодорожными станциями полигона Западно-Сибирской железной дороги Алтайская и Инская в поезда с повышенной массой (порядка 8-9 тыс. тонн).

Тяжеловесные поезда работают и по направлению к Азово-Черноморскому бассейну (железнодорожная станция Вышестеблиевская работает с поездами массой 7,1 тыс. тонн) [18]. Таким образом, для устойчивого курсирования тяжеловесных поездов должна иметься полноценная грузовая база, например, железная руда, металлы, обогащённый уголь и некоторые другие массовые грузы. Организация погрузки и выгрузки должна быть обеспечена соответствующей инфраструктурой, прежде всего, при усилении пути и оборудовании специальными вагоноопрокидывателями на станциях выгрузки, а также усилением железнодорожного пути с применением упругих прокладок для исключения избыточного увлажнения насыпи и деформации пути.

Дальнейшие вложения ОАО «РЖД» в инновационный подвижной состав (тяговый и нетяговый), а также в усиление объектов транспортной инфраструктуры будут обеспечены окупаемостью при ускорении среднего оборота одного вагона, прежде всего – за счет применения современных мощных погрузочных устройств и организации выгрузки вагонов без расцепки состава [3].

Заключение

Образ будущей тяжеловесной железной дороги

Анализ современного состояния практического опыта применения технологии тяжеловесного движения показал, что железные дороги мира давно и успешно используют технологию тяжеловесного движения для обслуживания массовых грузопотоков. Это связано с ключевым преимуществом тяжеловесного движения, которое позволяет сократить перевозочный цикл, себестои-

мость перевозки и повысить при этом пропускную и провозную способность железнодорожных линий.

Подводя итоги выполненного исследования, отметим, что организация тяжеловесного движения имеет автономную эффективность, которая не определяется непосредственно загруженностью линий. Тяжеловесное движение, например, организованное на участках с постоянным размером грузопотока, на грузонапряженных направлениях позволяет как сократить количество обращающихся поездов, так и их степень загрузки.

Участковая скорость возрастает при организации тяжеловесного движения при снижении обгонов тяжеловесных поездов пассажирскими, что ведет к повышению энергоэффективности движения и определяет дальнейший рост и маршрутной скорости. В конечном итоге будет реализовано стабильное грузодвижение при гарантированном выполнении срочности доставки.

Кроме того, преимущества организации тяжеловесного движения ярко проявляются на однопутных железнодорожных линиях, когда при снижении количества обращающихся поездов существенно возрастает участковая скорость [5; 6; 19; 20].

Таким образом, как отмечается в исследованиях [19; 20], «при ограниченной пропускной способности железнодорожного участка организация тяжеловесного движения позволяет повысить его провозную способность, т.е. при минимальных инвестиционных вложениях (или даже их полном отсутствии) – получить дополнительный доход от прироста объемов грузовых перевозок».

Если говорить о будущем целевом образе тяжеловесной железной дороги, то, согласно ключевым трекам концепции Heavy Haul Vision 2030 (HHV2030), в течение ближайших двух-трех лет железным дорогам с тяжеловесным движением необходимо сосредоточиться на «модернизации инфраструктуры и подвижного состава, повышении эффективности использования ресурсов и основных средств». Предполагается последовательно автоматизировать управление движением поездов параллельно с организа-

ционным и техническим развитием, включающим расширение возможностей систем связи и применение Интернета вещей.

Некоторые характеристики тяжеловесного движения в будущем:

- Оптимизация эксплуатационного процесса с использованием технологии блокчейна, что позволит автоматизировать процесс принятия решений системой автоведения с использованием встроенных алгоритмов искусственного интеллекта.
- Увеличится полезный объем грузовых вагонов, улучшатся их аэродинамические характеристики, уменьшится собственная масса.
- Используемые в качестве топлива сжиженный природный газ тепловозы с тяговым приводом переменного тока или газотурбовозы заменят немногочисленные остающиеся локомотивы, работающие на дизельном топливе и оснащенные двигателями постоянного тока. Это позволит преодолевать более крутые уклоны и водить поезда большей длины при более высокой энергетической эффективности.
- Для вождения тяжеловесных поездов будет использоваться распределенная тяга, расстояния между локомотивами в составе поезда увеличатся [1; 2].

Список литературы

1. ИНА (www.ihha.net); International Railway Journal. 2024. №1. Р. 14-16.
2. International union of railways. URL: <https://uic.org/>
3. Мировой опыт и российские особенности // Гудок. <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1433605>
4. Иванкин П. Исторические хроники // Гудок. <https://1520international.com/content/2023/nyabr-2023/istoricheskie-khroniki-pavel-ivankin-o-razviti-gruzovykh-perevozok/>
5. Тяжеловесное движение: экономическая оценка тягового бизнес-ресурса: монография / С. В. Рачек, А. С. Колышев, Е. В. Кобышева. Екатеринбург: УрГУПС, 2020. 133 с.

6. Колышев А. С. Экономическая оценка работы тягового ресурса в условиях тяжеловесного движения: дис. канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2019. 182 с.
7. В РЖД подвели итоги первых 9 месяцев 2024 года // УСГК. <https://usgk.ru/articles/179>
8. Стратегия развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 17 августа 2017 года № 1756-п. <http://government.ru/docs/28874/>
9. Dave van der Meulen. Railway globalization and heavy haul // Proceedings of the International Heavy Haul Association Specialist Technical Session, Kiruna, Sweden: International Heavy Haul Association, pp. 329-338.
10. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Эволюция железнодорожного транспорта на пути к инновационному ренессансу // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 1. С. 3-14.
11. Мугинштейн Л. А., Шенфельд К. П. Развитие тяжеловесного движения грузовых поездов. М.: Интекст, 2011. 76 с.
12. Лapidус Б. М. Развитие тяжеловесного движения на российских железных дорогах. Опыт, проблемы, решения // Бюллетень ОСЖД. 2013. № 1/2. С. 8-15.
13. Беседин И. С., Мугинштейн Л. А., Захаров С. М. Развитие тяжеловесного движения на железных дорогах мира // Железные дороги мира. 2006. № 9. С. 39-48.
14. Захаров С. М., Шенфельд К. П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 4. С. 9-18.
15. Шенфельд К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2011. № 3. С. 64-67.
16. Скутина О. Л. Особенности эксплуатации железнодорожного пути на участках тяжеловесного движения поездов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 4 (68). С. 76-85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)
17. Скорлыгина Н. Бескрайняя гладь поезда: ОАО «РЖД» уплотняет движение на БАМе и Транссибе // Коммерсантъ. Железнодоро-

рожный транспорт. Приложение №159 от 03.09.2024. С. 4. <https://www.kommersant.ru/doc/6904869>

18. Инновационные вагоны и мощь локомотивов // Гудок. <https://gudok.ru/content/freighttrans/1617808/>
19. Эрлих Н.В., Русаков В.О. Оценка общей продолжительности нахождения тяжеловесных поездов на технической станции и на железнодорожном участке // Вестник транспорта Поволжья. 2014. № 6 (48). С. 53-60.
20. Эрлих Н. В., Русаков В. О. Экономическая эффективность организации тяжеловесного движения на однопутных железнодорожных участках // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 2 (50). С. 68-73.

References

1. ИННА (www.ihha.net); International Railway Journal, 2024, no. 1, p. 14-16.
2. International union of railways. URL: <https://uic.org/>
3. World experience and Russian peculiarities. *Gudok*. <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1433605>.
4. Ivankin P. Historical chronicles. *Gudok*. <https://1520international.com/content/2023/noyabr-2023/istoricheskie-khroniki-pavel-ivankin-o-razvitii-gruzovykh-perevozok/>.
5. *Heavy-weight traffic: economic evaluation of the traction business resource: a monograph* / S. V. Rachev, A. S. Kolyshev, E. V. Konyshva. Ekaterinburg: UrGUPS, 2020, 133 p.
6. Kolyshev A. S. *Economic evaluation of traction resource operation under heavy-weight traffic conditions*: Cand. Sci. Econ. St. Petersburg, 2019, 182 p.
7. Russian Railways summarized the results of the first 9 months of 2024. *USGK*. <https://usgk.ru/articles/179>
8. Strategy for the development of transport machine building of the Russian Federation for the period up to 2030 / approved by the order of the Government of the Russian Federation on August 17, 2017 № 1756-r. <http://government.ru/docs/28874/>

9. Dave van der Meulen. Railway globalization and heavy haul. *Proceedings of the International Heavy Haul Association Specialist Technical Session*, Kiruna, Sweden: International Heavy Haul Association, pp. 329-338.
10. Lapidus B. M. M., Macheret D. A. Evolution of Railway Transportation on the Way to Innovation Renaissance. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, no. 1, pp. 3-14.
11. Muginstein L. A., Shenfeld K. P. *Development of heavy-weight freight train traffic*. Moscow: Intext, 2011, 76 p.
12. Lapidus B. M. Development of heavy-weight traffic on the Russian railroads. Experience, problems, solutions. *OSJD Bulletin*, 2013, no. 1/2, pp. 8-15.
13. Besedin I. S., Muginstein L. A., Zakharov S. M. Development of heavy-weight traffic on the world railroads. *Railways of the World*, 2006, no. 9, pp. 39-48.
14. Zakharov S. M., Shenfeld K. P. Development of heavy-weight traffic in the world. *Vestnik VNIIZhT*, 2013, no. 4, pp. 9-18.
15. Shenfeld, K. P. About the quality indicators of the transportation process organization. *Rail Transport*, 2011, no. 3, pp. 64-67.
16. Skutina O. L. Features of railroad track operation on the sections of heavy-weight train traffic. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2020, no. 4 (68), pp. 76-85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)
17. Skorlygina N. Boundless smoothness of the train: JSC “Russian Railways” compacts traffic on BAM and Transsib. *Kommersant. Railway Transport*. Appendix № 159, 03.09.2024, p. 4. <https://www.kommersant.ru/doc/6904869>
18. Innovative cars and the power of locomotives. *Gudok*. <https://gudok.ru/content/freighttrans/1617808/>.
19. Erlich N.V., Rusakov V.O. Estimation of the total duration of heavy-weight trains stay at the technical station and on the railway section. *Vestnik of Volga Region Transport*, 2014, no. 6 (48), pp. 53-60.
20. Erlich N.V., Rusakov V.O. Economic efficiency of heavy-weight traffic organization on single-track railway sections. *Bulletin of Volga Region Transport*, 2015, no. 2 (50), pp. 68-73.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа» *Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)*
пр. Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация
insight1986@inbox.ru

Шугаев Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры «Транспорт и логистика» *Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)*
ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация
o_shugaev@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Operational Work Management, Professor of the Department of Logistics and Commercial Work *Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation
insight1986@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9793-0666>

Oleg V. Shugaev, Senior Lecturer of the Department of Transport and Logistics
Siberian State Industrial University
42, Kirov Str., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation
o_shugaev@mail.ru

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 08.12.2024

Принята 11.12.2024

Received 13.11.2024

Revised 08.12.2024

Accepted 11.12.2024

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-328

EDN: RFRMLO

УДК 629.4:656.222.2



Научная статья | Логистические транспортные системы

ТРАНСПОРТНАЯ СИЛА И ИНДЕКС ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ КАК НОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯГОВОГО БИЗНЕС-РЕСУРСА

О.Д. Покровская

Аннотация

Состояние вопроса. Статья посвящена исследованию организации тяжеловесного движения. Актуальность темы определяет тренд наращивания средней массы грузовых поездов на российских железных дорогах.

Цель: охарактеризовать новые показатели для комплексной оценки развития тяжеловесного движения как новые индикаторы использования тяговых ресурсов ОАО «РЖД».

Методы. Использовались методы нормирования эксплуатационной работы железных дорог, логистики, а также инструменты визуализации, анализа.

Результаты. Предложен интегральный показатель – Индекс потенциала развития тяжеловесного движения для комплексной оценки эффективности организации как отдельного маршрута, так и связанных мультипликативных эффектов, что обеспечит научно обоснованное решение задачи наращивания пропускной способности железных дорог. Предложен показатель «транспортная сила», позволяющий оценивать совместно с грузонапряженностью среднюю осевую нагрузку поездов, обращающихся на одном километре эксплуатационной длины железных дорог и выполняющих транспортную работу.

Заключение. Показано, что сложно оценить эффективность организации тяжеловесного движения без соответствующего методи-

ческого инструментария на конкретном участке железнодорожного маршрута в определенный период времени. Предпринята попытка систематизировать компоненты тягового бизнес-ресурса и сфокусировать их в единую систему индикаторов с учетом локальных технико-технологических особенностей и целого ряда параметров.

Ключевые слова: тяжеловесное движение; железнодорожный транспорт; потенциал развития; интегральный показатель; индекс; индикатор; транспортная сила

Для цитирования. Покровская О.Д. Транспортная сила и индекс потенциала развития тяжеловесного движения как новые индикаторы использования тягового бизнес-ресурса // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 4. С. 199-211. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-328

Original article | Logistic Transport Systems

TRANSPORT FORCE AND THE INDEX OF THE DEVELOPMENT POTENTIAL OF HEAVY TRAFFIC AS NEW INDICATORS OF THE USE OF A TRACTION BUSINESS RESOURCE

O.D. Pokrovskaya

Abstract

Background. The article is devoted to the study of the organization of the heavyweight movement. The relevance of the topic determines the trend of increasing the average weight of freight trains on Russian railways.

Purpose: to characterize new indicators for a comprehensive assessment of the development of heavy-lift traffic as new indicators of the use of traction resources of JSC “Russian Railways”.

Methods. The methods of norming the operational work of railroads, logistics, as well as visualization and analysis tools were used.

Results. An integral indicator is proposed – the Index of the development potential of heavy traffic for a comprehensive assessment of the effectiveness of the organization of both a separate route and related multiplicative effects, which will provide a scientifically based solution to the problem of increasing the capacity of railways. The indicator “transport force” is proposed, which makes it possible to estimate, together with the load capacity, the average axial load of trains running on one kilometer of the operational length of railways and performing transport work.

Conclusion. It is shown that it is difficult to assess the effectiveness of the organization of heavy traffic without appropriate methodological tools on a specific section of the railway route in a certain period of time. An attempt has been made to systematize the components of a traction business resource and focus them into a single system of indicators, taking into account local technical and technological features and a number of parameters.

Keywords: heavy traffic; railway transport; development potential; integral indicator; index; indicator; transport force

For citation. Pokrovskaya O.D. Transport Force and the Index of the Development Potential of Heavy Traffic as New Indicators of the Use of a Traction Business Resource. *International Journal of Advanced Studies*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 199-211. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-328

Известно, что к числу важнейших показателей работы железных дорог относится грузонапряженность, характеризующаяся средним количеством выполненных тонно-километров или приведенных тонно-километров, приходящихся на 1 км эксплуатационной длины. В данном исследовании предлагается оценивать совместно с грузонапряженностью среднюю осевую нагрузку поездов, обращающихся на 1 км эксплуатационной длины железных дорог и выполняющих транспортную работу. Для этого предложен новый индикатор полезной работы в тяжеловесном движении – **транспортная сила**, как измеритель интенсивности тяжеловесного движения.

Рассмотрим его состав.

$$TC = (\Gamma \cdot K \cdot I_{\text{тд}}) / L_{\text{э}}, \quad (1)$$

где Γ – грузонапряженность для каждого из путей участка, млн ткм брутто/км в год; K – коэффициент, учитывающий долю тяжеловесных поездов в общем поездопотоке через сечение участка линии; $I_{\text{тд}}$ – индекс потенциала развития тяжеловесного движения для оценки эффективности организации как отдельного маршрута, так и связанных эффектов; $L_{\text{э}}$ – эксплуатационная длина линии, км.

Грузонапряженность рассчитывается по известной формуле:

$$\Gamma = 365 \cdot (Q_{\text{гр}} \cdot n_{\text{гр}} + Q_{\text{п}} \cdot n_{\text{п}} + Q_{\text{тд}} \cdot n_{\text{тд}}) \cdot \alpha / 1000, \text{ млн ткм брутто/км в год} \quad (2)$$

где 365 – количество дней в году; $Q_{\text{гр}}$ – масса брутто грузовых поездов, т; $n_{\text{гр}}$ – количество грузовых поездов, обращающихся на участке, поездов в сутки; $n_{\text{п}}$ – количество пассажирских поездов, поездов в сутки; $Q_{\text{тд}}$ – масса брутто грузовых тяжеловесных поездов, т; $n_{\text{тд}}$ – количество грузовых тяжеловесных поездов, обращающихся на участке, поездов в сутки; α – коэффициент неравномерности движения поездов [1-4].

Рассмотрим состав предлагаемого интегрального показателя – **Индекса потенциала развития тяжеловесного движения – $I_{\text{тд}}$** . Понимание величины $I_{\text{тд}}$ позволяет комплексно оценить эффективность организации как отдельного маршрута, так и связанные мультипликативные эффекты, что обеспечит научно обоснованное решение задачи наращивания пропускной способности железных дорог – в развитие, например, исследований С.В. Рачек [5] и А.С. Колышева А. С. [6].

Структура предлагаемого показателя дана на рис.1.

Рассмотрим каждый сектор.

Первый сектор – «Структура рынка» включает две составляющие, одна из которых (горизонтальная) влияет на величину логистических издержек перевозчика при организации тяжеловесного движения:

1) структура, размещение и вид грузовой и клиентской базы, тяготеющей к тяжеловесному движению; а другая (вертикальная)

определяется ключевыми показателями эффективности использования тягового бизнес-ресурса;

2) транзитный потенциал транспортных коридоров и логистической инфраструктуры, на основе мощностей которых реализуется тяжеловесное движение, включая оценку технико-экономической эффективности назначения маршрутов, ниток графика и иных технологических особенностей его организации.



Рис. 1. Структура Индекса потенциала развития тяжеловесного движения

Выразить составляющие первого сектора можно в таких известных показателях работы железнодорожного транспорта, как:

1) доходность перевозчика от перевозки 1 тонны груза в тяжеловесном движении; средняя дальность маршрута тяжеловесного движения;

2) пропускная способность линии; размер среднегодовой прибыли перевозчика при организации тяжеловесного движения по «твердой нитке» графика.

Второй сектор – «Готовность инфраструктуры», состоящий из двух компонентов:

1) готовность транспортной инфраструктуры (включая соответствие требованиям к организации тяжеловесного движения пути, контактной сети, особенностей станций и магистральных линий);

2) экономическая обоснованность проектов тяжеловесного движения в конкретных условиях для обеспечения товарообмена и связности территорий страны в аспекте мультимодальной эффективности и аккумуляции эффектов в валовом региональном продукте. Горизонтальный компонент напрямую влияет на величину эксплуатационных издержек перевозчика при организации тяжеловесного движения, а вертикальный – на ключевые показатели эффективности использования тягового бизнес-ресурса.

Выразить составляющие второго сектора можно в двух предлагаемых показателях:

1) $K_{\text{соотв}}$ – коэффициент соответствия – показывает долю существующей транспортной инфраструктуры, отвечающей требованиям к организации тяжеловесного движения, смешанного с грузовым и пассажирским движением.

$$K_{\text{соотв}} = \sum_{i=1}^i q_{\text{эд}} \cdot q_{\text{кс}} \cdot q_{\text{сп}} \quad (3)$$

где $q_{\text{эд}}$ – доля эксплуатационной длины железнодорожных линий, соответствующей для организации тяжеловесного движения,

$q_{\text{кс}}$ – доля контактной сети, соответствующей для организации тяжеловесного движения,

$q_{\text{сп}}$ – доля длины станционных путей, соответствующих для организации тяжеловесного движения,

i – участок железнодорожной линии.

2) $ВРП_{\text{тд}}$ – доля эффектов, реализованных при организации тяжеловесного движения в регионе, в валовом региональном продукте.

Объединение частичных показателей каждого субиндексов в интегральную оценку можно выполнить на основании их стан-

дартизированных значений (с учетом стимуляторов и дестимуляторов) по формуле многомерной средней:

$$I_j = \sum_{i=1}^i w_i x_{ij} \quad (4)$$

где I_j – значение субиндекса для вида деятельности предприятия сферы услуг j ; x_{ij} – стандартизированное значение показателя i для вида деятельности j ; w_i – вес показателя i в субиндексе [7-8].

Третий сектор – «Экономическое, логистическое и технологическое обеспечение» – представляет собой 1) прикладной методический и цифровой инструментарий для принятия наилучших управленческих решений (по горизонтали), что влияет на величину логистических издержек, и 2) уровень готовности указанного инструментария для стабильной и надежной организации тяжеловесного движения (по вертикали), что определяется наличием логистических мощностей, соответствующих потребности в тяжеловесном движении и в пропускной способности.

Выразить составляющие третьего сектора можно с помощью экономической оценки результатов, полученных с помощью методических и цифровых инструментов. Уровень готовности указанного инструментария к решениям задач организации тяжеловесного движения возможно определить путем экспертных оценок, анкетирования и внесения поправок по результатам апробации.

Четвертый сектор – «Инновационный потенциал» представлен составляющими:

1) «инновационность» используемого (тягового и нетягового) подвижного состава при организации тяжеловесного движения (по горизонтали), что определяет величину эксплуатационных затрат перевозчика и, следовательно, тариф на перевозку;

2) инновационная зрелость транспортно-логистических услуг для потребителей страны и региона (по вертикали), что напрямую определяется имеющимися инфраструктурными мощностями, на базе которых формируется добавленная ценность.

Выразить составляющие четвертого сектора можно следующим образом.

Для подвижного состава показатель инновационности предлагается оценивать с помощью подхода, предложенного Бороненко Ю.П. [9]:

Оценку инновационности подвижного состава предлагается проводить путем деления каждой характеристики вагона, претендующего на инновационность, на такую же среднюю характеристику вагонов аналогичного назначения, выпущенных промышленностью в последние 3 года и дальнейшего их суммирования для получения одного оценочного показателя. Суммирование возможно, т.к. все характеристики при делении приводятся к безразмерному виду и вводятся коэффициенты значимости (весовые коэффициенты). Количество характеристик для сравнения не ограничено. Полученную сумму предлагается считать показателем инновационности:

$$P_{\text{инн}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i P_{i \text{ нов}}}{P_{i \text{ стар}}} + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \frac{\gamma_j C_{j \text{ стар}}}{C_{j \text{ нов}}} \geq [P_{\text{инн}}] \quad (5)$$

где $P_{\text{инн}}$ – показатель инновационности подвижного состава;

$[P_{\text{инн}}]$ – показатель технического уровня продукции, выпущенной в последние 3 года, нормативное значение показателя, при повышении которого подвижной состав относится к инновационному (показатель зависит только от весовых коэффициентов и если их принять, то будет постоянной величиной - базой для сравнения);

$P_{\text{нов}}$ – значение улучшаемой характеристики нового подвижного состава путем ее увеличения;

$C_{\text{нов}}$ – значение улучшаемой характеристик нового подвижного состава путем ее уменьшения;

$P_{\text{стар}}, C_{\text{стар}}$ – соответственно среднее значение улучшаемой характеристики аналогов подвижного состава за последние 3 года путем уменьшения или снижения показателя;

γ_i, γ_j – весовые коэффициенты улучшаемых показателей;

N – количество показателей, улучшающих характеристики подвижного состава путем их увеличения;

K – количество показателей, улучшающих характеристики подвижного состава путем их уменьшения.

В качестве улучшаемой характеристики могут быть выбраны любые характеристики, характеризующие производительность, надежность, безопасность, энерго- и материалоемкость.

Весовые коэффициенты предлагается вводить в зависимости от того, когда эффект возникает. Если эффект возникает сразу, то весовой коэффициент равен 1. Если эффект будет наблюдаться через несколько лет, то методика его определения близка к определению коэффициента дисконтирования. Эффект, который будет получен в будущем, имеет меньший весовой коэффициент. Он уменьшается по мере удаления времени получения эффекта от начала эксплуатации подвижного состава.

Для услуги показатель инновационности предлагается рассчитывать следующим образом.

Принимая во внимание, что в общем случае инновационная услуга – это услуга, характеризующаяся определенной степенью новизны, новаторским подходом к ее осуществлению, инновационность предоставляемого сервиса при организации тяжеловесного движения предлагается осуществлять путем оценки эффективности инноваций как величину дохода или иного полезного эффекта от применения технологии, превышающую совокупность расходов на ее осуществление в части сокращения производственных расходов и себестоимости при предоставлении уникального клиентоориентированного сервиса.

Определять обобщенные индексы инновационного развития региона возможно по формуле

$$K_j = \sum_{i=1}^i p_i K_{ij} \quad (6)$$

где p_i – вес i -го индикатора, определяемый экспертами, K_{ij} – значение индикатора по j -му признаку [7-8].

Некоторые ключевые показатели эффективности применения тягового бизнес-ресурса можно перечислить (не ограничивая указанным) в табл. 1.

Таблица 1.

Ключевые показатели эффективности применения тягового бизнес-ресурса [5]

Группа показателя	Наименование показателя	Условное обозначение	Формула расчета
Основной интегральный показатель деятельности сервисных компаний, характеризующий надежность тягового подвижного состава	Коэффициент готовности к эксплуатации грузового локомотива	k_{lok}^g	$k_{lok}^g = \frac{t_n}{t_n + t_{nrb,ob} + t_{nrb,g} + t_{aiz}}$
Основной интегральный показатель деятельности локомотивных эксплуатационных депо, характеризующий качество использования тягового подвижного состава	Коэффициент полезного использования грузового локомотива	k_{lok}^{pi}	$k_{lok}^{pi} = \omega_{dv,lok} \times \frac{Q_b^f}{Q_b^{un}}$
Основной интегральный показатель эффективности тягового подвижного состава (локомотива) в тяжеловесном движении	Средне-суточная производительность тягового ресурса	$F_{rb,lok}$	$F_{rb,lok} = \frac{Q_b \times S_{rb,lok}}{1 + a_{w/vgl}}$

Таким образом, как можно судить по результатам проведенного исследования, довольно сложно оценить эффективность организации тяжеловесного движения без соответствующего методического инструментария на конкретном участке железнодорожного маршрута в определенный период времени. Для понимания логистики тяжеловесного движения в масштабе сети ОАО «РЖД» прежде всего надлежит иметь представление о ситуации, складывающейся на отдельном полигоне (в конкретном регионе), с учетом локальных технико-технологических особенностей и целого ряда взаимосвязанных параметров. В настоящем исследовании

довании предпринята попытка систематизировать компоненты тягового бизнес-ресурса и сфокусировать их в единую систему индикаторов.

Список литературы

1. Шенфельд К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. 2011. № 3. С. 64–67.
2. Скутина О. Л. Особенности эксплуатации железнодорожного пути на участках тяжеловесного движения поездов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 4 (68). С. 76–85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)
3. Беседин И. С., Мугинштейн Л. А., Захаров С. М. Развитие тяжеловесного движения на железных дорогах мира // Железные дороги мира. 2006. № 9. С. 39-48.
4. Захаров С. М. Развитие тяжеловесного движения в мире / С. М. Захаров, К. П. Шенфельд // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2013. № 4. С. 9-18.
5. Тяжеловесное движение: экономическая оценка тягового бизнес-ресурса: монография / С. В. Рачек, А. С. Колышев, Е. В. Кобышева. Екатеринбург: УрГУПС, 2020. 133 с.
6. Колышев А. С. Экономическая оценка работы тягового ресурса в условиях тяжеловесного движения: дис. канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2019. 182 с.
7. Экономическая безопасность регионов России: монография/ Под ред. В. К. Сенчагова. Н. Новгород: «Растр-НН», 2014. 299 с.
8. Эрлих, Н.В. Экономическая эффективность организации тяжеловесного движения на однопутных железнодорожных участках / Н.В. Эрлих, В.О.Русаков // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 2. С. 68–73.
9. Титова Т.С., Бороненко Ю.П., Покровская О.Д. Оценка инновационности новых грузовых вагонов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2022. № 3. С. 23-28.

References

1. Shenfeld K. P. About the quality indicators of the transportation process organization. *Railway Transport*, 2011, no. 3, pp. 64-67.
2. Skutina O. L. Features of railroad track operation on the sections of heavy-weight train traffic. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2020, no. 4 (68), pp. 76-85. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).76-85](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).76-85)
3. Besedin I. S., Muginstein L. A., Zakharov S. M. Development of heavy-weight traffic on the world railroads. *Railways of the World*, 2006, no. 9, pp. 39-48.
4. Zakharov, S. M. M. Development of heavy-weight traffic in the world / S. M. Zakharov, K. P. Shenfeld. *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*, 2013, no. 4, pp. 9-18.
5. *Heavy-weight traffic: economic evaluation of traction business resource*: monograph / S. V. Rachek, A. S. Kolyshev, E. V. Konysheva. Ekaterinburg: UrGUPS, 2020, 133 p.
6. Kolyshev A. S. *Economic evaluation of traction resource operation under heavy-weight traffic conditions*. St. Petersburg, 2019, 182 p.
7. *Economic security of Russian regions*: monograph / Edited by V. V. K. Senchagov. N. Novgorod: "Rastr-NN", 2014, 299 p.
8. Erlich N.V. Economic efficiency of heavy-weight traffic organization on single-track railway sections / N.V. Erlich, V.O. Rusakov. *Vestnik Transport Povolzhye*, 2015, no. 2, pp. 68-73.
9. Titova T.S., Boronenko Yu.P., Pokrovskaya O.D. Innovation assessment of the new freight cars. *Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economics*, 2022, no. 3, pp. 23-28.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Покровская Оксана Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа» *Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)*

*пр. Московский, 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская
Федерация
insight1986@inbox.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Oksana D. Pokrovskaya, Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor, Head of the Department of Operational Work Man-
agement, Professor of the Department of Logistics and Com-
mercial Work

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
9, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 190031, Russian Federation
insight1986@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9793-0666>*

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 08.12.2024

Принята 15.12.2024

Received 13.11.2024

Revised 08.12.2024

Accepted 15.12.2024

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

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЙ И ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ <i>О.В. Москвичев, А.А. Грузд</i>	7
КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА <i>О.В. Князькина, Р.М. Хамитов, О.П. Черникова, Ю.А. Златицкая</i>	29
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО ПОДХОДА <i>А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян, Ю.П. Преображенский</i>	46
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО И АКТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТОВ <i>А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян, Ю.П. Преображенский</i>	65
АЛГОРИТМ ВЫБОРА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ <i>Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, В.М. Плаксунова</i>	83
АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕР ПО РАЗВИТИЮ ВЕЛОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ <i>Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.С. Лавренец</i>	100

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТЕПЛОПОТЕРЬ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ ГОРОДА КАЗАНЬ ЗА ПЕРИОД 2020-2023 ГГ.) <i>А.А. Шакиров, А.И. Хабибрахманова</i>	113
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ <i>Р.Г. Король</i>	134
АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТА РОССИИ <i>О.Н. Миркина</i>	154
ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ <i>А.В. Горелик, Н.В. Романов, Т.С. Щедрина</i>	169
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ <i>О.Д. Покровская, О.В. Шугаев</i>	185
ТРАНСПОРТНАЯ СИЛА И ИНДЕКС ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ КАК НОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯГОВОГО БИЗНЕС-РЕСУРСА <i>О.Д. Покровская</i>	199
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	212

CONTENTS

ANALYSIS OF THEORETICAL STUDIES ON THE PROBLEM OF INTERACTION BETWEEN RAILWAY FREIGHT STATIONS AND NON-PUBLIC TRACKS <i>O.V. Moskvichev, A.A. Gruzd</i>	7
CYBER SECURITY IN TRANSPORTATION <i>O.V. Knyazkina, R.M. Khamitov, O.P. Chernikova, Yu.A. Zlatitskaya</i>	29
MODELING PROCESSES IN A CYBER-PHYSICAL SYSTEM USING A SIMULATION APPROACH <i>A.P. Preobrazhensky, T.V. Avetisyan, Yu.P. Preobrazhensky</i>	46
ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF A SWARM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON PASSIVE AND ACTIVE EXPERIMENTS <i>A.P. Preobrazhensky, T.V. Avetisyan, Yu.P. Preobrazhensky</i>	65
ALGORITHM FOR SELECTING EVENTS TO INCREASE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRAFFIC FLOW <i>T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, V.M. Plaksunova</i>	83
ALGORITHM FOR PLANNING MEASURES FOR THE DEVELOPMENT OF CYCLING INFRASTRUCTURE <i>T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.S. Lavrenets</i>	100
MACHINE LEARNING IN PREDICTING HEAT LOSS IN HEAT SUPPLY SYSTEMS (USING THE EXAMPLE OF DATA FROM THE CITY OF KAZAN FOR THE PERIOD 2020-2023) <i>A.A. Shakirov, A.I. Khabibrakhmanova</i>	113

MODELING OF TRANSPORT PROCESSES
IN THE FORMATION AND DEVELOPMENT
OF CROSS-BORDER INFRASTRUCTURE
R.G. Korol 134

ANALYSIS OF RUSSIAN TRANSPORT
PERFORMANCE INDICATORS
O.N. Mirkina 154

THE ORGANIZATION OF EFFECTIVE MAINTENANCE
OF RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS
DEVICES IN LOW-ACTIVITY SECTIONS
A.V. Gorelik, N.V. Romanov, T.S. Shhedrina 169

THE EXPERIENCE AND PROSPECTS
OF THE DEVELOPMENT OF THE HEAVYWEIGHT
MOVEMENT
O.D. Pokrovskaya, O.V. Shugaev 185

TRANSPORT FORCE AND THE INDEX
OF THE DEVELOPMENT POTENTIAL OF HEAVY TRAFFIC
AS NEW INDICATORS OF THE USE OF A TRACTION
BUSINESS RESOURCE
O.D. Pokrovskaya 199

RULES FOR AUTHORS 212

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 31.12.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 15,67.
Свободная цена. Заказ 144/024.