

ISSN 1815-9265

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
университета путей сообщения

№ 2 (74). 2025 16+



УЧРЕДИТЕЛЬ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Состав редколлегии

Главный редактор

Манаков Алексей Леонидович – д-р техн. наук, проф.

Заместитель главного редактора

Абрамов Андрей Дмитриевич – д-р техн. наук, проф.

Заместитель главного редактора

Карасев Сергей Владимирович – канд. техн. наук, доц.

Ответственный секретарь

Галай Марина Сергеевна – канд. техн. наук

Члены редколлегии:

Бессоненко Сергей Анатольевич – д-р техн. наук, доц., СГУПС, г. Новосибирск

Воробьев Валерий Степанович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Герасимов Сергей Иванович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Герасимов Виталий Владимирович – д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск

Головнич Александр Константинович – д-р техн. наук, доц., БелГУТ, г. Гомель, Белоруссия

Евсеев Дмитрий Геннадьевич – д-р техн. наук, проф., МИИТ, г. Москва

Ильиных Андрей Степанович – д-р техн. наук, доц., СГУПС, г. Новосибирск

Исаков Александр Леонидович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Караулов Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Комаров Константин Леонидович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Кондратьев Сергей Александрович – д-р техн. наук, ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Королев Константин Валерьевич – д-р техн. наук, доц., СГУПС, г. Новосибирск

Корягин Марк Евгеньевич – д-р техн. наук, доц., СГУПС, г. Новосибирск

Пронозин Яков Александрович – д-р техн. наук, проф., ТИУ, г. Тюмень

Хабаров Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Шахов Сергей Александрович – д-р техн. наук, доц., СГУПС, г. Новосибирск

Шварцфельд Вячеслав Семенович – д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Черный Константин Анатольевич – д-р техн. наук, доц., ПНИПУ, г. Пермь

Редактор перевода текста на английский язык

Степачкова Ирина Игоревна – старший преподаватель

Редактор Е. Е. Рыжкова

Корректор А. А. Игумнов – канд. техн. наук

Макет, верстка Ю. В. Борцовой

Дизайн обложки А. С. Петренко

Сайт журнала:

www.stu.ru (раздел «Научная деятельность»; журнал «Вестник СГУПС»)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-79268 от 02 ноября 2020 г.

FOUNDER

The Siberian Transport University

Editors and Editorial Board

Editor-in-Chief

A. L. Manakov, Doctor of Engineering, Professor

Deputy Editor

A. D. Abramov, Doctor of Engineering, Professor

Deputy Editor

S. V. Karasev, Candidate of Engineering, Associate Professor

Executive Secretary

M. S. Galay, Candidate of Engineering

Editors

S. A. Bessonenko, Doctor of Engineering, Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

V. S. Vorobyev, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

S. I. Gerasimov, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

V. V. Gerasimov, Doctor of Engineering, Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

A. K. Golovnich, Doctor of Engineering, Associate Professor, Belarusian State University of Transport, Belarus

D. G. Evseev, Doctor of Engineering, Professor, Moscow State University of Railway Engineering, Moscow

A. S. Ilinikh, Doctor of Engineering, Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

A. L. Isakov, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

A. M. Karaulov, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

K. L. Komarov, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

S. A. Kondratyev, Doctor of Engineering, IGD SB RAS, Novosibirsk

K. V. Korolev, Doctor of Engineering, Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

M. E. Koryagin, Doctor of Engineering, Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

Y. A. Pronozin, Doctor of Engineering, Professor, TIU, Tyumen

V. I. Khabarov, Doctor of Engineering, Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

S. A. Shakhov, Doctor of Engineering, Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk

V. S. Shvartsfeld, Doctor of Engineering, Professor, Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg

K. A. Chernyy, Doctor of Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm

English Text Reviewer

I. Stepachkova, Senior Lecturer

Text Reviewer E. E. Ryzhkova

Managing Editor A. A. Igumnov, Candidate of Engineering

Layout Designer Yu. V. Bortsova

Cover Designer A. S. Petrenko

Main contact details

Siberian Transport University

room 307, 191, Dusi Kovalchuk St.

630049, Novosibirsk, Russia

Phone: (383) 328-04-36

Web: <http://www.stu.ru> (Scientific Activity section)

E-mail: vestniksgups@sibgups.ru

The journal was registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media in 2020.

ISSN: 1815-9265

**Вестник
Сибирского государственного
университета путей сообщения**

Научно-теоретический
журнал

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям 2.9 «Транспорт» и 2.1 «Строительство и архитектура»

№ 2 (74) · АПРЕЛЬ – ИЮНЬ · 16+

Выходит один раз в три месяца. Основан в 1999 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Транспорт

Чонка А. В., Паращенко И. Л. Применение кадиоид II типа в плане железнодорожной трассы	5
Бурдяк П. С. Особенности конструкции контейнерных площадок, специализированных для погрузки контейнеров в полувагоны	16
Акельев А. С., Король Р. Г. Критерии оценки уровня развития терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта	24
Абрамов А. Д., Семенов М. А. Развитие автоматизированных систем управления ОАО «РЖД» с целью повышения эффективности работы путевых машин	32
Величко Д. В., Заморин В. В. Оценка годности железобетонных шпал Ш1 для повторного применения	41
Псеровская Е. Д., Попова Н. Б., Овчинников Р. А. Производственно-территориальные особенности добычи, транспортировки и потребления российских углей: обзор и анализ	47
Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Грузд А. А. Многокритериальный подход к оценке эффективности внедрения цифровых технологий в работу грузовых железнодорожных станций	55
Гордиенко А. А., Тимухина Е. Н. Методика определения интегрального показателя надежности способов размещения и крепления грузов	63
Денисова С. В., Севостьянов А. А. Анализ опыта эксплуатации участка с композитными шпалами с разработкой опытного технологического процесса замены шпал	72
Манаков А. Л., Коларж С. А., Саломатов Е. М. Оценка влияния организации пассажирских перевозок на качество транспортного обслуживания населения крупных городов	84
Хабаров В. И., Квашнин В. Е. Мультиагентные системы маршрутизации при организации городских перевозок	94

Строительство и архитектура

Ардышиев И. К. Численное моделирование упругих перемещений рельсовой плети при наличии фактора торможения поездов, ведомых современными локомотивами	103
--	-----

The Siberian Transport University Bulletin

A scientific journal

Included in the List of peer-reviewed scientific editions, in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences should be published, for scientific specialties 2.9 "Transport" and 2.1 "Construction and Architecture"

Nº 2 (74) · 2025 · April – June · 16+

Issued quarterly. Established in 1999

CONTENTS

Transport

A. V. Chonka, I. L. Parakhnenko. Using type II cadioids in railway track design	5
P. S. Burdyak. Design features of container platforms, specialized for loading containers into gondola cars	16
A. S. Akeliev, R. G. Korol. Criteria for assessing the development level of railway terminal and logistics facilities.....	24
A. D. Abramov, M. A. Semenov. Development of automated control systems of Russian Railways in order to improve the efficiency of track machines.....	32
D. V. Velichko, V. V. Zamorin. Assessing the suitability of reusing reinforced concrete sleepers Sh1	41
E. D. Pserovskaya, N. B. Popova, R. A. Ovchinnikov. Production and territorial features of production, transportation and consumption of Russian coal: review and analysis	47
O. V. Moskvichev, E. E. Moskvicheva, A. A. Gruzd. A multi-criteria approach to assessing the efficiency of digital technology implementation in the operation of freight railway stations.....	55
A. A. Gordienko, E. N. Timuhina. Methodology for determining the reliability integral indicator of cargo placement and fastening methods	63
S. V. Denisova, A. A. Sevostyanov. Analysing the experience of operating a section with composite sleepers and developing a pilot technological process for replacing sleepers.....	72
A. L. Manakov, S. A. Kolarzh, E. M. Salomatov. Impact assessment of passenger transportation organization on the quality of transport services for the population of large cities.....	84
V. I. Khabarov, V. E. Kvashnin. Multi-agent routing systems in urban transport management	94

Building and Architecture

I. K. Ardyshev. Numerical modeling of continuously welded rails elastic displacements in the presence of a braking factor for trains driven by modern locomotives.....	103
--	-----

ТРАНСПОРТ

Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 5–15.
The Siberian Transport University Bulletin. 2025. No. 2 (74). P. 5–15.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 625.113
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_5

Применение кадиоид II типа в плане железнодорожной трассы

Артем Викторович Чонка^{1✉}, Инна Леонидовна Паражненко²

^{1,2} Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

¹ RayL-er@outlook.com[✉]

² IParahnenko@usurt.ru

Аннотация. Необходимость повышения эффективности работы железных дорог подталкивает к наращиванию скоростей, что, в свою очередь, не только вызывает повышение нагрузок на путь и подвижной состав, но и может влиять на безопасность движения, если не приняты специальные меры. Долгие годы совершенствовались подвижные составы для адаптации к высоким скоростям, усиливалась инфраструктура для обеспечения высоких мощностей, но поступаты проектирования железнодорожной трассы оставались практически неизменными. Геометрия пути оказывает непосредственное влияние на динамику движения. Совершенствование формы криволинейных участков пути может способствовать снижению нагрузок на путь и подвижной состав, повысить плавность хода и безопасность движения, которые особенно важны при высоких скоростях.

В последние годы ведутся активные обсуждения и исследования по применению биклоидных кривых, которые свидетельствуют о преимуществах более плавных закруглений трассы. Однако биклоидное проектирование не позволяет избавиться от кусочно-линейного характера производной функции кривизны.

Данная работа посвящена рассмотрению потенциала применения кадиоид II типа – вида кривых с нелинейной гладкой функцией кривизны – при проектировании трассы высокоскоростных магистралей. Приведены описание данных кривых и их характеристики в сравнении со стандартной компоновкой, биклоидом и бикадиоидом. Подготовлены математические модели пути и состава, даны соответствующие сравнения. Описана методика проведения расчетов. По результатам имитационного моделирования динамики высокоскоростного состава в кривых различной геометрии подготовлены графические и табличные материалы, позволяющие провести сравнение некоторых аспектов нагрузки, возникающей при прохождении кривой. Сделаны выводы о потенциальных преимуществах применения кадиоид II типа.

Ключевые слова: переходная кривая, клоида, кадиоид, нелинейная кривизна, биклоида, бикадиоид

Для цитирования: Чонка А. В., Паражненко И. Л. Применение кадиоид II типа в плане железнодорожной трассы // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 5–15. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_5.

TRANSPORT

Original article

Using type II cadioids in railway track design

Artem V. Chonka^{1✉}, Inna L. Parakhnenko²

^{1,2} Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

¹ RayL-er@outlook.com[✉]

² IParahnenko@usurt.ru

Abstract. In order to increase the effectiveness of railroads, we, among other things, have to increase the average running speed of trains and create special high-speed railways. Higher speeds achieved without special measures by themselves cause significant rise in loads experienced by railways and rolling stock and put transportation safety at risk. For a long time, there have been advancements made in the construction of trains to accommodate higher speeds, in infrastructure – to accommodate higher power requirements of new trains, but the fundamentals of a railway design have remained unchanged. Geometry of a railroad in a large part defines the dynamics of a passing train, but the design concepts can be improved to provide improved safety and ride smoothness while decreasing the forces acting on a train and a track, which is especially beneficial for high-speed railways.

In recent years there have been active discussions and research in the field of biclothoid curves, which suggest the need to increase ride smoothness by means of designing smoother curves. Having said that, the biclothoidal

geometry itself isn't sufficient because it doesn't get rid of the piecewise-linear nature of clothoids curvature-wise, which causes problems in the first place.

This article considers a potential use of type II cadioids – curves with a smooth nonlinear curvature function – in high-speed railway design. Mathematical description of these curves and their characteristics is provided and compared to standard and biclothoidal designs. Results of simulations are used to compare the effects of different geometries on train dynamics. Plots and numerical data are provided. Conclusions about the potential advantages of type II cadioids are drawn.

Keywords: transition curve, clothoid, cadioid, curvature, biclothoid, bicadioid

For citation: Chonka A. V., Parakhnenko I. L. Using type II cadioids in railway track design. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):5–15. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_5.

Введение

Развитие высокоскоростного движения, мотивируемое Стратегией развития железных дорог [1], неминуемо сопровождается повышением нагрузок на путь и подвижной состав. Для повышения безопасности и комфортабельности движения на высокой скорости рационально прибегнуть к методам повышения плавности криволинейных участков трассы в сравнении со стандартными методами проектирования. Исследования ученых УрГУПС показывают, что применение более плавной, биклоидной, геометрии благотворно сказывается на динамике состава и состоянии пути [2–11]. В свете данных трудов возникает вопрос о том, как еще больше повысить плавность кривой.

Возможным способом формирования более плавной кривой является применение кадиоидной кривой II типа, разработанной А. А. Белятынским и А. М. Тарановым [12]. Данная кривая проектировалась из условия обеспечения гладкости функции кривизны – неразрывности ее производной. Кадиоида II типа представляет собой целое закругление с нелинейным изменением кривизны и, как следствие, непогашенного ускорения, ему пропорционального. Описывается кривая следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x = \frac{15}{8} R\tau \int_0^t \cos(\tau t^3(10 - 15t + 6t^2)) dt, \\ y = \frac{15}{8} R\tau \int_0^t \sin(\tau t^3(10 - 15t + 6t^2)) dt, \end{cases}$$

где $\tau = \frac{L}{R}$ – угол поворота кривой; $L = \frac{15}{8} R\tau$ – полная длина кривой; $t = \frac{s}{L}$ – доля длины кривой от начала до рассматриваемой точки; $s \in [0, L]$ – длина кривой от начала до рассматриваемой точки.

В данной статье представлен потенциальный положительный эффект применения кадиоид II типа в качестве закругления железнодорожной трассы. Преимущества заключаются в снижении усилий, действующих на со-

став и путь, и уменьшении непогашенного центробежного ускорения.

Материалы и методы исследования

Для первичной оценки влияния рассматриваемых кривых проведены численные эксперименты по моделированию динамики подвижного состава при движении на высокой скорости по кривым различной компоновки. Математические модели железнодорожных путей рассматриваемых форм построены по методике, описанной в работах [13, 14]. Моделирование динамики поезда проводилось при движении по четырем вариантам проектирования кривых:

- 1) стандартный – две клоидных переходных кривых и круговой сегмент;
- 2) биклоидный – две клоидных кривых, соединенных встык с общей касательной. Круговой сегмент отсутствует;
- 3) бикадиоидный – две кадиоидных кривых I типа [13, 12], соединенные встык с общей касательной без кругового сегмента;
- 4) кадиоида II типа – одна кадиоидная кривая, описывающая все закругление.

Варианты рассмотрены для радиусов 4 000, 4 500, 5 000, 5 500, 6 000, 7 000, 8 000, 9 000 м. Требования для разработки плана взяты из специальных технических условий строительства высокоскоростной магистрали [15].

Моделирование динамики состава выполнено в программном комплексе «Универсальный механизм» [16]. Принята верифицированная модель вагона пассажирского высокоскоростного поезда [17]. Скорость движения состава при моделировании – 200, 250, 300, 350 км/ч. Шаг представления результатов – 10 мс. Модель пути составлена посредством программирования с использованием уравнений клоид и кадиоид двух типов, приведенных в [12–14] с последующим формированием кусочно-линейных функций в формате, совместимом с программным комплексом. Дискретизация кривых произведена с шагом в 1 м.

Подготовка моделей и постобработка данных выполнены в программной среде GNU Octave. Расчетные случаи, имеющие ненормативное значение непогашенного ускорения в кривой и нулевое значение отвода возвышения, не рассчитывались. Матрица расчетных случаев приведена в табл. 1, в ней цветом заполнены ячейки расчетных случаев, для которых получены данные для всех четырех видов геометрии.

Таблица 1
Матрица расчетных случаев

Минимальный радиус кривизны, м	Скорость движения, км/ч			
	200	250	300	350
4 000				
4 500				
5 000				
5 500				
6 000				
7 000				
8 000				
9 000				

Результаты исследования

В первую очередь следует сравнить очертания принятых кривых. Наиболее наглядным будет сравнение при наименьшем радиусе из рассматриваемых – 4 000 м. Формы кривых приведены на рис. 1. Можно увидеть, что кадиоидные варианты пути близки по очертаниям, бикадиоида сопоставима по длине с биклотоидой, а кадиоида II типа несколько ко-

роче. Кроме того, варианты кривых повышенной плавности существенно длиннее стандартной: при $R = 4\ 000$ и повороте на 45° бикадиоида и биклотоида длиннее стандартной компоновки в 1,8 раза, а кадиоида II типа – в 1,7 раза. Стоит отметить, что кадиоидные варианты вписываются в угол ближе к вершине, чем биклотоида, в связи с чем могут иметь несколько меньшие проблемы со вписыванием в условия местности.

Графики теоретических характеристик кривых, полученные по методике, описанной в работах [13, 14], приведены на рис. 2, 3 и смещены для наглядности таким образом, чтобы середины кривых совпадали. Рисунок 2 подтверждает нелинейное развитие кривизны кадиоидных кривых и отражает плавность нарастания непогашенного ускорения, ей пропорционального. Рисунок 3, в свою очередь, иллюстрирует неразрывность скорости изменения непогашенного ускорения (рывка) в кадиоидных кривых, который пропорционален производной функции кривизны. В то же время ступенчатый характер графика рывка для стандартного и биклотоидного вариантов порождает колебания состава, вызванные резким началом возрастания центробежных нагрузок. Отвод возвышения наружного рельса также должен иметь нелинейный характер и быть пропорционален функции кривизны.

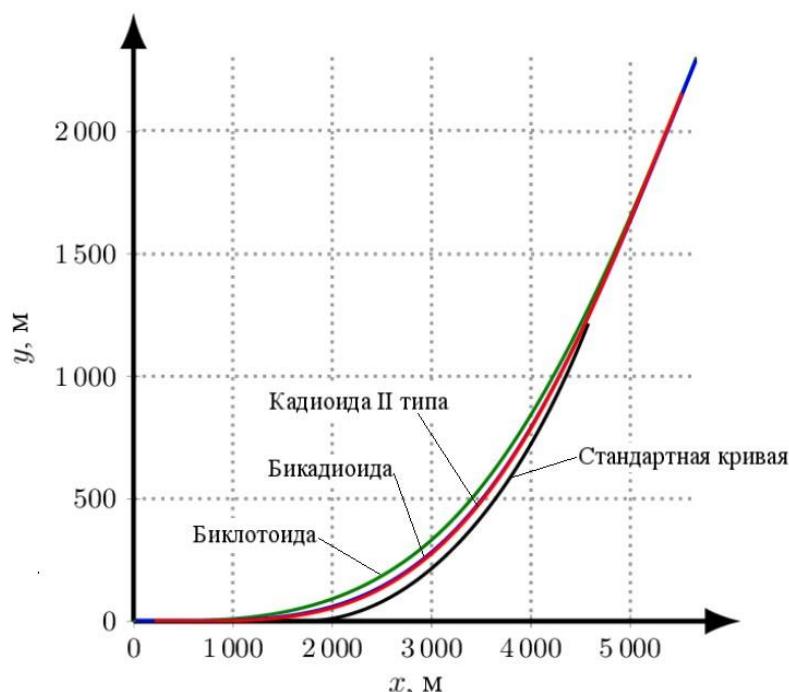


Рис. 1. Очертания кривых с радиусом 5 500 м

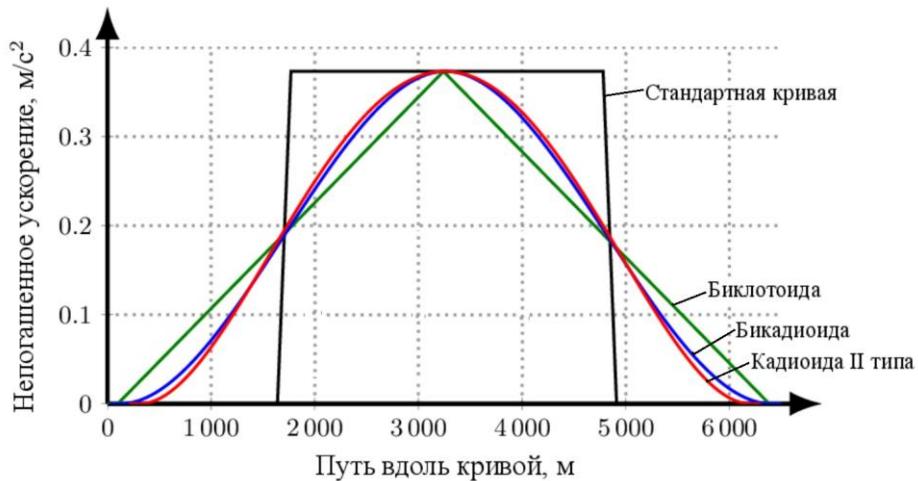


Рис. 2. Непогашенное ускорение в кривых для радиуса 4 000 м

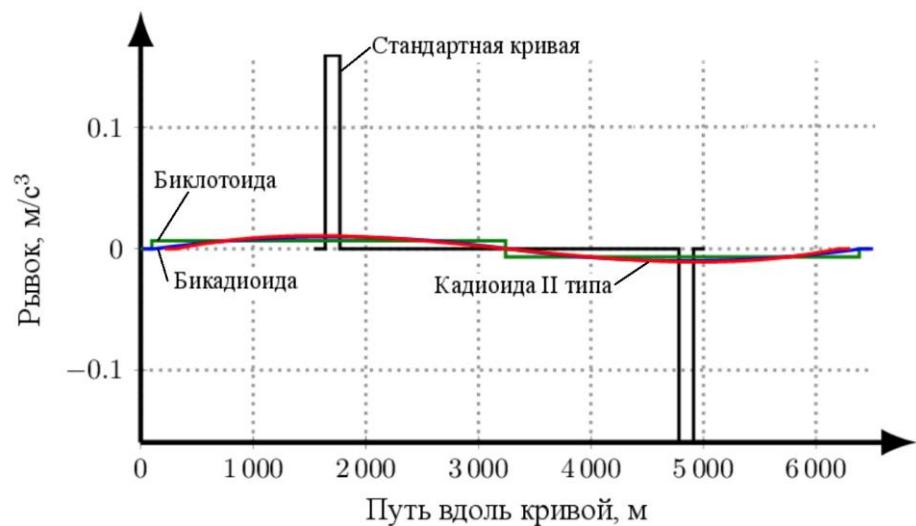


Рис. 3. Скорость изменения непогашенного ускорения (рывок) в кривых для радиуса 4 000 м

Далее приведены некоторые результаты симуляций прохождения подвижным составом различных кривых, иллюстрирующие основные аспекты динамики поезда. В первую очередь выполнено сравнение усилий, которые путь и подвижной состав испытывают в пятне контакта колеса и рельса при движении в различных кривых.

Графики продольных, поперечных и вертикальных усилий (рис. 4–6) подтверждают плавность кадиоидных кривых и нелинейность их характеристик. Кроме того, графики отчетливо демонстрируют пиковые нагрузки, возникающие при входе в клотоиду и выходе из нее, – переходы сопровождаются рывками усилий, что является поводом для дальнейшего анализа колебаний. Для частичной оценки нагрузки на

путь в табл. 2 приведены пиковые значения по перечных усилий. Данные демонстрируют малые различия между тремя плавными вариантами, а свой потенциал они раскрывают наилучшим образом при малых радиусах кривых.

Воздействие на кузов, на грузы и на пассажиров можно приближенно оценить по графикам непогашенного ускорения (рис. 7). Отчетливо видны возникающие колебания при прохождении стыков клотоид. В стандартной кривой, кроме того, пиковые значения превышают нормативные пределы. В табл. 3 приведены максимальные значения непогашенного ускорения для расчетных случаев. Полученные данные демонстрируют существенное преимущество кадиоидных и биклотоидного вариантов. Резкие скачки ускорения в клотоидных

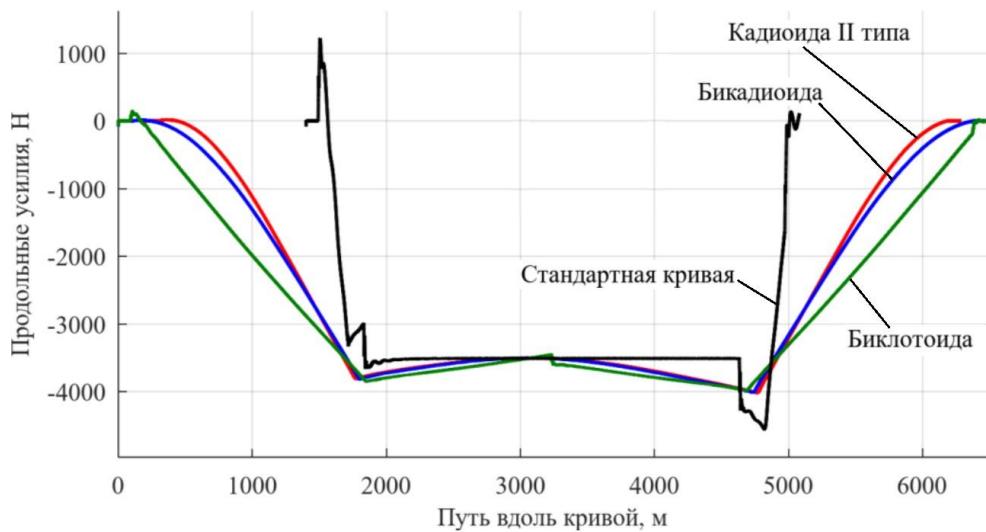


Рис. 4. Графики продольных усилий в пятне контакта при прохождении состава через кривую радиусом 4 000 м

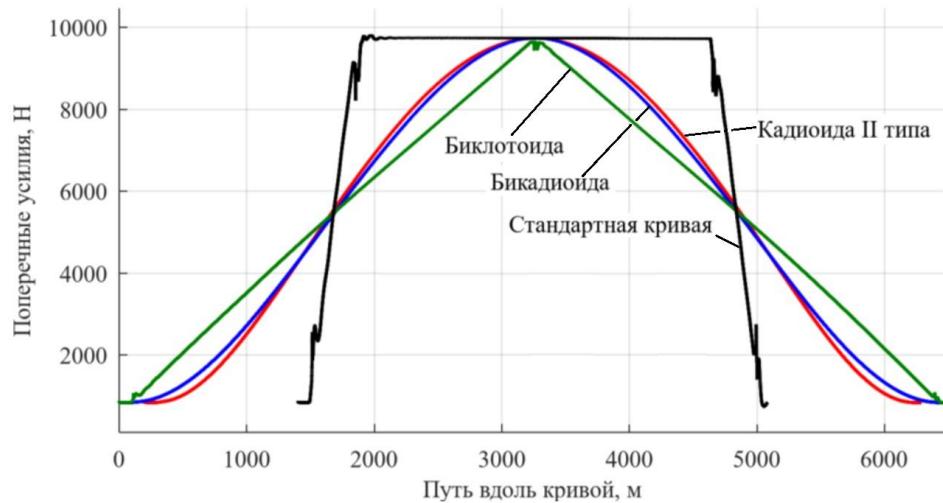


Рис. 5. Графики поперечных усилий в пятне контакта при прохождении состава через кривую радиусом 4 000 м

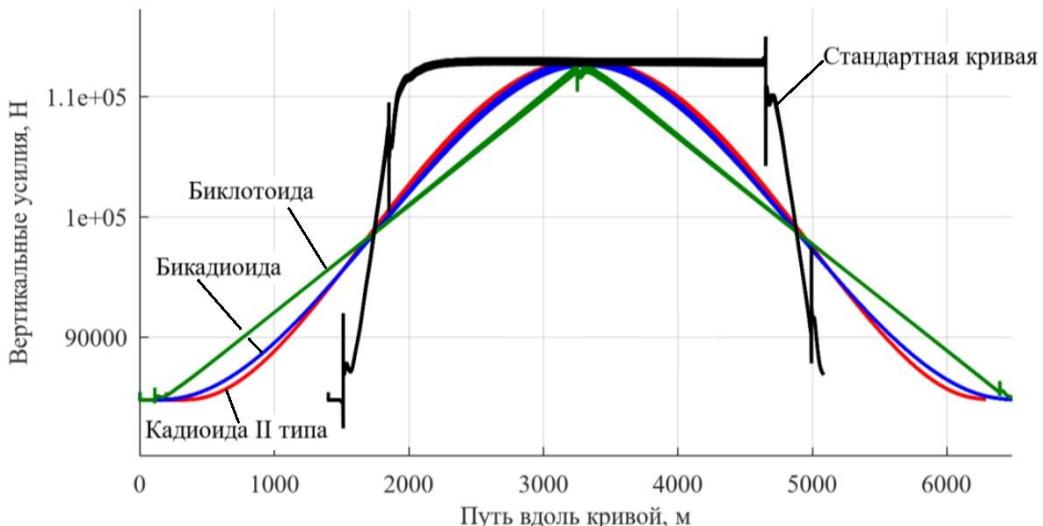


Рис. 6. Графики вертикальных усилий в пятне контакта при прохождении состава через кривую радиусом 4 000 м

Пиковые значения поперечных усилий в различных кривых

Таблица 2

Радиус кривой, м	Пиковое усилие, Н				Доля сокращения, %		
	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида	Стандартная кривая	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида
$v = 200 \text{ км/ч}$							
4 000	11 039,90	11 112,40	11 008,60	12 025,40	8,20	7,59	8,45
4 500	9 593,15	9 687,41	9 604,74	10 632,20	9,77	8,89	9,66
5 000	9 005,86	9 006,27	8 978,81	9 216,61	2,29	2,28	2,58
5 500	8 811,55	8 813,08	8 794,37	8 906,94	1,07	1,05	1,26
6 000	8 788,28	8 789,38	8 777,50	8 899,98	1,26	1,24	1,38
7 000	8 285,44	8 285,69	8 280,99	8 415,07	1,54	1,54	1,59
$v = 250 \text{ км/ч}$							
4 000	11 095,20	11 201,40	11 217,00	12 383,00	10,40	9,54	9,42
4 500	9 768,52	9 886,46	9 913,62	11 265,20	13,29	12,24	12,00
5 000	9 102,18	9 101,74	9 035,78	9 941,54	8,44	8,45	9,11
5 500	8 900,28	8 901,08	8 853,71	8 972,20	0,80	0,79	1,32
6 000	8 528,27	8 528,72	8 491,25	8 617,11	1,03	1,03	1,46
7 000	8 299,11	8 299,89	8 273,52	8 395,65	1,15	1,14	1,45
8 000	8 130,41	8 130,43	8 113,77	8 265,68	1,64	1,64	1,84
9 000	7 859,78	7 860,22	7 850,50	8 000,60	1,76	1,75	1,88
$v = 300 \text{ км/ч}$							
5 500	8 673,60	8 675,96	8 617,68	9 148,66	5,19	5,17	5,80
6 000	8 704,74	8 703,23	8 645,1	8 814,33	1,24	1,26	1,92
7 000	8 217,58	8 216,38	8 174,87	8 336,32	1,42	1,44	1,94
8 000	7 956,46	7 956,65	7 926,29	8 098,40	1,75	1,75	2,13
9 000	7 704,29	7 705,34	7 681,72	7 873,99	2,16	2,14	2,44
$v = 350 \text{ км/ч}$							
8 000	8 002,92	8 002,62	7 975,92	8 151,47	1,82	1,83	2,15
9 000	7 705,03	7 704,74	7 679,69	7 956,62	3,16	3,17	3,48

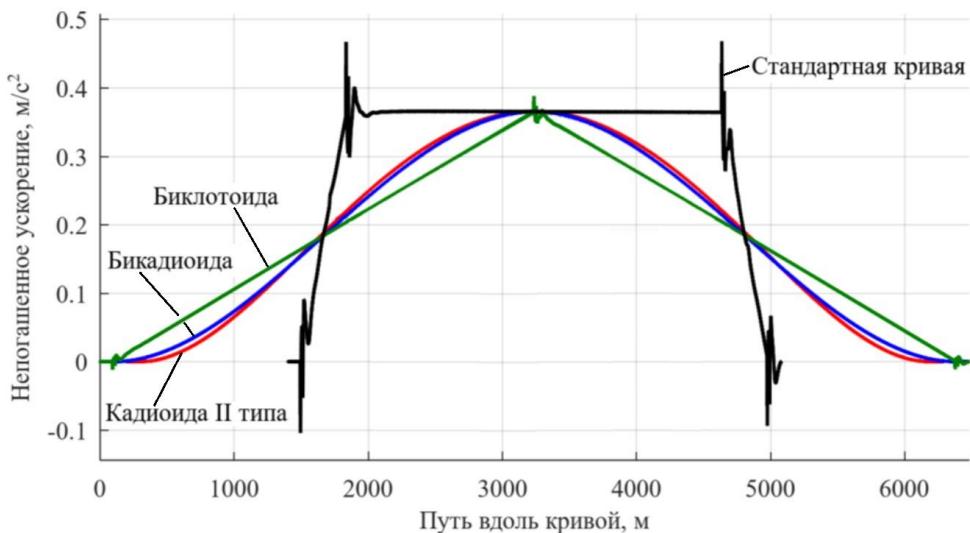


Рис. 7. Графики непогашенного ускорения при прохождении состава через кривую радиусом 4 000 м

кривых являются поводом для оценки колебательного процесса.

Для вычисления «шума» из полученных данных поперечного ускорения вычтено расчетное теоретическое значение (пример на рис. 2). Анализ колебательного процесса произведен с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (FFT) с последующим вычислением

спектральной плотности мощности (СПМ, PSD). Кроме того, на основе полученных спектральных данных выполнены расчеты показателей плавности хода по ОСТ 20.050.16–85 [17] (табл. 4). На рис. 8 приведен пример графика СПМ для $R = 4 000 \text{ м}$ при скорости 250 км/ч. Отчетливо видно, что наибольшая часть спектральной мощности колебаний в стандартной

Таблица 3

Пиковые значения непогашенного ускорения в различных кривых

Радиус кривой, м	Пиковое непогашенное ускорение, м/с ²				Доля сокращения, %		
	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида	Стандартная кривая	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида
<i>v</i> = 200 км/ч							
4 000	0,369089	0,369900	0,375575	0,460747	19,89	19,72	18,49
4 500	0,376351	0,377004	0,380283	0,468201	19,62	19,48	18,78
5 000	0,369761	0,369753	0,372542	0,457949	19,26	19,26	18,65
5 500	0,375713	0,375917	0,377746	0,460483	18,41	18,36	17,97
6 000	0,391002	0,390997	0,391482	0,464218	15,77	15,77	15,67
7 000	0,379361	0,379591	0,379548	0,439096	13,60	13,55	13,56
<i>v</i> = 250 км/ч							
4 000	0,366539	0,367185	0,388270	0,468244	21,72	21,58	17,08
4 500	0,388912	0,389509	0,403988	0,488833	20,44	20,32	17,36
5 000	0,375380	0,375242	0,386681	0,475382	21,04	21,07	18,66
5 500	0,381289	0,381135	0,388802	0,479537	20,49	20,52	18,92
6 000	0,370314	0,370435	0,377032	0,470062	21,22	21,19	19,79
7 000	0,379704	0,379671	0,383770	0,476194	20,26	20,27	19,41
8 000	0,386647	0,386498	0,388288	0,484665	20,22	20,25	19,89
9 000	0,381264	0,381250	0,382604	0,494147	22,84	22,85	22,57
<i>v</i> = 300 км/ч							
5 500	0,360668	0,360781	0,380907	0,467475	22,85	22,82	18,52
6 000	0,381077	0,380991	0,397820	0,488552	22,00	22,02	18,57
7 000	0,371964	0,372107	0,383072	0,479075	22,36	22,33	20,04
8 000	0,372515	0,372524	0,380143	0,482541	22,80	22,80	21,22
9 000	0,368991	0,369044	0,374164	0,477500	22,72	22,71	21,64
<i>v</i> = 350 км/ч							
8 000	0,374017	0,374001	0,390257	0,485754	23,00	23,01	19,66
9 000	0,367465	0,367393	0,378952	0,478761	23,25	23,26	20,85

Таблица 4

Показатель плавности хода в различных кривых

Радиус кривой, м	Показатель плавности хода							
	по поперечному ускорению				по вертикальному ускорению			
	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида	Стандартная кривая	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида	Стандартная кривая
<i>v</i> = 200 км/ч								
4 000	0,57	0,56	0,56	1,23	0,22	0,22	0,33	0,90
4 500	0,53	0,52	0,51	1,18	0,20	0,20	0,29	0,86
5 000	0,50	0,49	0,49	1,15	0,22	0,22	0,26	0,83
5 500	0,48	0,47	0,46	1,22	0,21	0,21	0,24	0,85
6 000	0,45	0,44	0,43	1,08	0,19	0,19	0,20	0,71
7 000	0,41	0,41	0,40	0,98	0,18	0,19	0,17	0,56
<i>v</i> = 250 км/ч								
4 000	0,70	0,68	0,70	1,22	0,32	0,32	0,44	0,88
4 500	0,65	0,64	0,65	1,20	0,28	0,28	0,41	0,87
5 000	0,61	0,60	0,61	1,19	0,27	0,27	0,38	0,86
5 500	0,58	0,57	0,57	1,22	0,25	0,25	0,34	0,89
6 000	0,55	0,54	0,54	1,16	0,23	0,23	0,31	0,84
7 000	0,50	0,49	0,49	1,10	0,21	0,20	0,26	0,80
8 000	0,47	0,46	0,45	1,16	0,19	0,19	0,23	0,81
9 000	0,44	0,43	0,42	1,08	0,18	0,18	0,20	0,74
<i>v</i> = 300 км/ч								
5 500	0,68	0,67	0,68	1,19	0,34	0,34	0,43	0,85
6 000	0,65	0,64	0,65	1,21	0,32	0,31	0,41	0,87
7 000	0,59	0,58	0,58	1,18	0,28	0,27	0,35	0,85
8 000	0,55	0,54	0,53	1,17	0,25	0,25	0,31	0,83
9 000	0,51	0,50	0,50	1,14	0,23	0,22	0,28	0,82
<i>v</i> = 350 км/ч								
8 000	0,63	0,62	0,63	1,21	0,37	0,36	0,41	0,84
9 000	0,59	0,57	0,58	1,17	0,34	0,33	0,37	0,81

кривой приходится на низкие частоты (диапазон 0–10 Гц), наиболее значимые для плавности хода по ОСТ (частотный фильтр имеет пик на 5 Гц) и наиболее ощущимые пассажирами (частоты около 1 Гц вызывают у некоторых симптомы морской болезни [18]). Для оценки общего уровня поперечного виброускорения, испытываемого составом, из СПМ вычислены среднеквадратичные значения (RMS), которые приве-

дены в табл. 5. Результаты указывают на потенциальное повышение комфортабельности и снижение вибрационной нагрузки при переходе к более плавным видам геометрии.

Данные, приведенные в табл. 2–5 и на рис. 4–8, позволяют установить, что использование кадиоид II типа может быть более предпочтительным в сравнении с бикадиоидными и бикадиоидными кривыми.

Таблица 5

Среднеквадратичное значение виброускорения в различных кривых

Радиус кривой, м	Среднеквадратичное виброускорение, м/с ²				Доля сокращения, %		
	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида	Стандартная кривая	Кадиоида II типа	Бикадиоида	Биклотоида
<i>v</i> = 200 км/ч							
4 000	1,52E-03	1,50E-03	1,22E-03	6,05E-03	74,92	75,22	79,91
4 500	1,08E-03	1,08E-03	8,75E-04	4,48E-03	75,82	75,94	80,47
5 000	8,43E-04	8,65E-04	7,00E-04	3,45E-03	75,57	74,92	79,72
5 500	6,85E-04	6,57E-04	5,35E-04	2,76E-03	75,19	76,19	80,62
6 000	5,05E-04	5,01E-04	3,98E-04	2,08E-03	75,65	75,86	80,83
7 000	3,34E-04	3,29E-04	2,57E-04	1,55E-03	78,40	78,72	83,35
<i>v</i> = 250 км/ч							
4 000	3,47E-03	3,47E-03	2,91E-03	9,20E-03	62,23	62,29	68,39
4 500	2,55E-03	2,65E-03	2,18E-03	9,22E-03	72,32	71,28	76,34
5 000	2,04E-03	2,12E-03	1,74E-03	7,04E-03	71,09	69,94	75,32
5 500	1,62E-03	1,69E-03	1,38E-03	5,95E-03	72,70	71,59	76,80
6 000	1,36E-03	1,42E-03	1,15E-03	4,91E-03	72,22	71,03	76,50
7 000	9,28E-04	9,66E-04	7,79E-04	2,81E-03	66,96	65,59	72,26
8 000	6,81E-04	6,81E-04	5,50E-04	1,97E-03	65,44	65,44	72,08
9 000	4,79E-04	4,58E-04	3,72E-04	1,40E-03	65,89	67,36	73,51
<i>v</i> = 300 км/ч							
5 500	3,85E-03	3,81E-03	3,16E-03	7,40E-03	47,98	48,55	57,27
6 000	2,94E-03	3,04E-03	2,50E-03	7,52E-03	60,92	59,54	66,73
7 000	2,07E-03	2,16E-03	1,77E-03	7,21E-03	71,23	70,09	75,45
8 000	1,61E-03	1,55E-03	1,26E-03	4,24E-03	61,94	63,50	70,20
9 000	1,23E-03	1,23E-03	1,00E-03	3,22E-03	61,83	61,64	68,90
<i>v</i> = 350 км/ч							
8 000	3,15E-03	3,06E-03	2,52E-03	7,51E-03	57,98	59,20	66,44
9 000	2,44E-03	2,35E-03	1,93E-03	6,39E-03	61,77	63,17	69,74

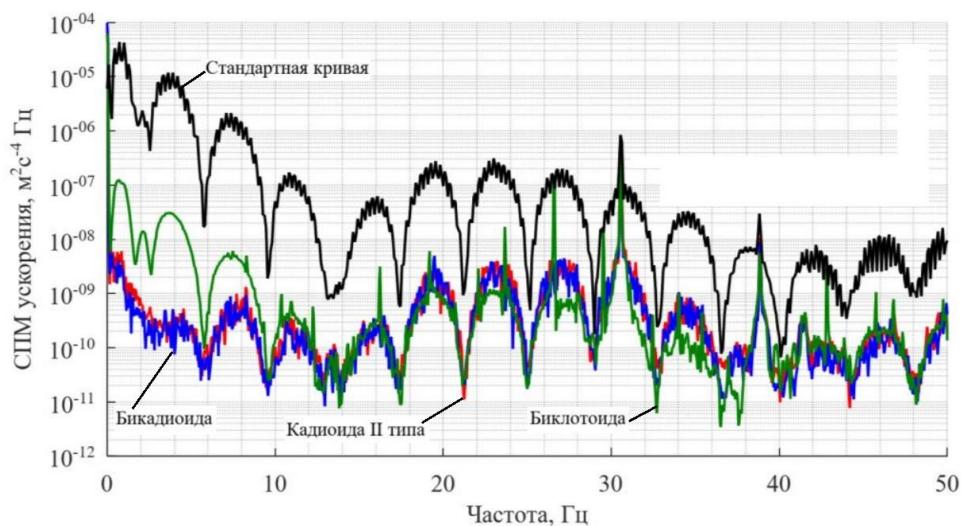


Рис. 8. Спектральная плотность мощности колебаний непогашенного ускорения при прохождении состава через кривую радиусом 4 000 м

Выводы

Представленные результаты исследований позволяют установить, что кадиоиды II типа имеют ряд потенциальных преимуществ:

1. Простое описание (одна система уравнений описывает все закругление) – более простая программная имплементация в САПР и управляющие системы путевой техники.
2. Замедленное нелинейное нарастание кривизны, отображенное в результатах, – повышенная плавность движения и снижение нагрузок на путь и состав, потенциал применения на ВСМ.
3. Меньшая длина в сравнении с биклотоидой.
4. Сниженные средние значения непогашенного ускорения – потенциал уменьшения предельного радиуса кривизны при соответствующем обосновании, базирующимся на кратковременности воздействия.
5. Увеличенное время на реакцию систем наклона кузова.
6. Сниженные пиковые усилия в контакте колеса и рельса.
7. Сниженные вибрационные нагрузки.

К недостаткам данного вида кривых можно отнести:

1. Большую длину в сравнении со стандартной кривой – возможны ограничения в применении, связанные с условиями местности.
2. Необходимость разработки мероприятий по устройству и содержанию кривых нелинейной кривизны и нелинейного отвода возвышения.
3. Необходимость решения вопроса о совмещении кадиоидных кривых в плане с переломами продольного профиля. На данный момент подобное совмещение не допускается.

Приведенные результаты являются лишь частью исследований и не содержат всестороннего сравнения рассмотренных видов кривых, однако позволяют сформировать представление о потенциальных преимуществах и компромиссах применения кадиоид II типа в качестве закруглений трассы железнодорожного пути и являются основанием для продолжения работы в данном направлении.

Список источников

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года : утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. // Министерство транспорта Российской Федерации : [официальный сайт]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010> (дата обращения: 02.11.2024).
2. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г. Облик высокоскоростной железнодорожной магистрали // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2017. № 2 (34). С. 46–55.
3. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г. Энергетика криволинейных участков железнодорожного пути // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2014. № 2 (22). С. 47–52.
4. Аккерман Г. Л., Исламов А. Р. Влияние сопряжения элементов продольного профиля на силы в межвагонном соединении тяжеловесных поездов // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 2. С. 25–27.
5. Аккерман Г. Л., Кошелев Д. А. Оценка возможности применения биклотоидного проектирования смежных кривых для движения высокоскоростных и тяжеловесных поездов методом имитационного моделирования // Железнодорожный транспорт. 2012. № 5. С. 3–9.
6. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г., Каргапольцев Д. В. Инновации в геометрии трассы // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 4 (21). С. 40–43.
7. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г., Кравченко О. А. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железной дороги // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 10. С. 20–30.
8. Аккерман Г. Л., Кошелев Д. А. Биклотоидное проектирование S-образных и С-образных смежных кривых для движения тяжеловесных поездов // Транспорт Урала. 2014. № 1 (40). С. 18–21.
9. Аккерман Г. Л., Аккерман С. Г., Кравченко О. А. Метод снижения затрат на содержание криволинейных участков пути // Железнодорожный транспорт. 2011. № 5. С. 41–42.
10. Прокопьева О. А., Журавская М. А. К вопросу создания энергосберегающих элементов транспортно-логистической инфраструктуры на примере биклотоидного проектирования // Инновационный транспорт. 2017. № 1. С. 3–7.
11. Кравченко О. А. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железных дорог : специальность 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кравченко Ольга Андреевна. Екатеринбург, 2012. 147 с.
12. Белятынский А. А., Таранов А. М. Проектирование кривых при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Киев : Выща школа, 1988. 301 с.

13. Чонка А. В. Расчет параметров бикадиоидных кривых // Железнодорожный транспорт и технологии // Сборник трудов международной конференции. Екатеринбург, 2024. Вып. 1 (256). С. 155–159.
14. Чонка А. В. Расчет параметров кадиоидных кривых // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление // Сборник трудов международной конференции. Екатеринбург, 2023. Вып. 7 (255). С. 93–98.
15. Специальные технические условия. Проектирование участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург со скоростями движения до 400 км/ч : № 14574-ЛС/03. Москва : Минстрой РФ, 2017. 93 с.
16. Universal mechanism : [сайт]. URL: www.universalmechanism.com/ (дата обращения: 10.11.2024).
17. Морозова О. С. Параметры криволинейных участков трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей для условий совмещенного движения : специальность 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Морозова Ольга Сергеевна. Санкт-Петербург, 2020. 202 с.
18. OCT 24.050.16–85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. Москва, 1985. 16 с.
19. Persson R. Tilting trains: Benefits and motion sickness // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. Journal of Rail and Rapid Transit. 2010. Vol. 224, iss. 6. P. 513–522.

References

1. Strategy for the Development of Railway Transport until 2030: No. 877-р. Ministry of Transport of the Russian Federation. 2008. 171 p. (In Russ.).
2. Akkerman G. L., Akkerman S. G. The appearance of a high-speed railway. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*. 2017;(34):46–55. (In Russ.).
3. Akkerman G. L., Akkerman S. G. Power engineering of curved sections of a railway track. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*. 2014;(22):47–52. (In Russ.).
4. Akkerman G. L., Islamov A. R. Connections of long-section elements by force in an inter-car connection of heavy-haul trains. *Track and Track Facilities*. 2013;(2):25–27. (In Russ.).
5. Akkerman G. L., Koshelev D. A. Evaluation Possibilities of Using Biclochoid Design of Corresponding Curves for High-Speed and Heavy-Haul Trains Using Simulation Modeling. *Railway Transport*. 2012;(5):3–9. (In Russ.).
6. Akkerman G. L., Akkerman S. G., Kargapolsev D. V. Innovations in Track Measurement. *Transport of the Asia-Pacific Region*. 2019;(21):40–43. (In Russ.).
7. Akkerman G. L., Akkerman S. G., Kravchenko O. A. Biclochoid Design of Curved Sections of Railways. *Track and Track Facilities*. 2010;(10):20–30. (In Russ.).
8. Akkerman G. L., Koshelev D. A. Biclochoid design of S-shaped and C-shaped corresponding curves for the movement of heavy trains. *Transport of the Urals*. 2014;(40):18–21. (In Russ.).
9. Akkerman G. L., Akkerman S. G., Kravchenko O. A. Method for reducing the costs of maintaining curved track sections. *Railway Transport*. 2011;(5):41–42. (In Russ.).
10. Prokopyeva O. A., Zhuravskaya M. A. On the issue of creating energy-saving elements of transport and logistics infrastructure based on biclochoid design. *Innovative Transport*. 2017;(1):3–7. (In Russ.).
11. Kravchenko O. A. Biclochoid design of curved sections of railways. Dissertation for the Degree of Candidate of Engineering. Kravchenko Olga Andreevna. Ekaterinburg; 2012. 147 p. (In Russ.).
12. Belyatynsky A. A., Taranov A. M. Design of curves in the construction and reconstruction of highways. Kiev: Vyshcha shkola; 1988. (In Russ.).
13. Chonka A. V. Calculation of parameters of biclochoid curves. *Railway Transport and Technology. Proceedings of the international conference*. Ekaterinburg; 2024. Iss. 1 (256). P. 155–159. (In Russ.).
14. Chonka A. V. Calculation of parameters of cadioid curves. *Transport: Logistics, Construction, Operation, Management. Proceedings of the international conference*. Ekaterinburg; 2023. Iss. 7 (255). P. 93–98. (In Russ.).
15. Special technical conditions. Design of the Moscow – Kazan section of the high-speed railway Moscow – Kazan – Yekaterinburg with speeds of up to 400 km/h: No. 14574-LS/03. Moscow. Ministry of Construction of the Russian Federation; 2017. 93 p. (In Russ.).
16. Universal Mechanism: [site]. (In Russ.). URL: www.universalmechanism.com/.
17. Morozova O. S. Parameters of curved sections of high-speed railway lines for combined traffic conditions. Dissertation for the Degree of Candidate of Engineering. Morozova Olga Sergeevna. St. Petersburg; 2020. 202 p. (In Russ.).

18. OST 24.050.16–85. Passenger cars. Methodology for determining the smoothness of the ride. 1985. 16 p. (In Russ.).
19. Persson R. Tilting trains: Benefits and motion sickness. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* 2010;224(6):513–522.

Информация об авторах

А. В. Чонка – аспирант Уральского государственного университета путей сообщения.

И. Л. Парахненко – кандидат технических наук, заведующая кафедрой «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. V. Chonka – Postgraduate, Ural State University of Railway Transport.

I. L. Parakhnenko – Candidate of Engineering, the Head of the Track and Railway Construction Department, Ural State University of Railway Transport.

Статья поступила в редакцию 30.11.2024; одобрена после рецензирования 11.02.2025; принята к публикации 21.03.2025.

The article was submitted 30.11.2024; approved after reviewing 11.02.2025; accepted for publication 21.03.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 656.225
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_16

Особенности конструкции контейнерных площадок, специализированных для погрузки контейнеров в полувагоны

Павел Станиславович Бурдяк

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия, BurdyakPS@mail.ru

Аннотация. Современное состояние дел в транспортном обслуживании трансграничных и морских перевозок значительно осложнено рядом факторов, влияющих на территорию России и сопредельную с ней. В первую очередь это разворот потоков грузов на восток страны, где транспортные магистрали исторически были представлены менее разветвленной сетью железных дорог большой протяженности, со сложными элементами и конструкциями. Увеличившаяся нагрузка на магистраль в восточном направлении практически исчерпала пропускные способности в части подсыла порожних фитинговых платформ для вывоза универсальных транспортных контейнеров с прибрежных территорий. Одним из мероприятий по стабилизации потоков и поиску резервных решений в части освоения новых объемов перевозок стало внедрение ОАО «РЖД» технологии перевозки контейнеров в полувагонах на сложных с точки зрения эксплуатационной работы участках Дальний Восток – Западная Сибирь и появление новой технологии перегрузки контейнеров из полувагонов на фитинговые платформы для дальнейшего следования по менее нагруженным направлениям. Такая технология названа трансшипментом. Массовая погрузка контейнеров в полувагоны на Дальнем Востоке вскрыла ряд проблем и трудностей, связанных с новыми операциями, технологией перевозки и дополнительным оборудованием, необходимым для подготовки состава в рейс. Большинство мест погрузки оказались не готовы принять весь объем поступления контейнеров с моря, потребовалось развитие существующих и новых мест погрузки, специализированных для этой работы. В статье предложены основные условия компоновки мест погрузки контейнеров в полувагоны с учетом существующего опыта работы железных дорог, тыловых терминалов, портов. Разработаны схемы конструкции контейнерных площадок, их устройство, уточнены основные размеры и предложены рекомендации по рациональному расположению элементов с учетом компактности размещения и способности приема контейнеров с автотранспорта с интенсивностью выгрузки из судна в порту.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, контейнерный терминал, порожние полувагоны, контейнерные площадки, трансшипмент

Для цитирования: Бурдяк П. С. Особенности конструкции контейнерных площадок, специализированных для погрузки контейнеров в полувагоны // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 16–23. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_16.

TRANSPORT

Original article

Design features of container platforms, specialized for loading containers into gondola cars

Pavel S. Burdyak

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, BurdyakPS@mail.ru

Abstract. The current state of affairs in cross-border and maritime transport services is significantly complicated by a number of factors affecting the territory of Russia and adjacent to it. First of all, this is a reversal of cargo flows to the East of the country, where transport highways have historically been represented by a less extensive railway network, greater length, complexity of its elements and structures. The increased load on the highway in the direction of the East has practically exhausted the capacity in terms of filling empty fitting platforms for the export of universal shipping containers from coastal territories. One of the measures to stabilize flows and search for backup solutions in the development of new traffic volumes was the introduction of Russian Railways technologies for transporting containers in gondola cars on the East–West Siberia sections, which are difficult from the point of view of operational work, and the advent of a new technology for transshipment of containers into fitting plates for further travel in areas experiencing less load. This technology is called transshipping. The massive loading of containers into gondola cars in the Far East revealed a number of problems and difficulties related to new operations, transportation technology and additional equipment necessary to prepare the train for the flight. Most of the loading sites were not ready to accept the entire volume of container shipments from the sea, and the

development of existing and new loading sites specialized for this work was required. The article provides the main points on the layout of such loading sites, taking into account the existing experience of railways, rear terminals, ports. The diagrams of the construction sites and their arrangement are given, the main dimensions are determined and a rational arrangement of the elements is proposed, taking into account the compactness of placement and the ability to receive containers from vehicles with intensive unloading from the ship in the port.

Keywords: container transportation, container terminal, empty gondola cars, container platforms, transshipment

For citation: Burdyak P. S. Design features of container platforms, specialized for loading containers into gondola cars. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):16–23. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_16.

Введение

На уровне государства поставлена задача увеличить интенсивность вывоза универсальных контейнеров с Дальнего Востока [1–3]. Идея сократить порожний пробег как фитинговых платформ в направлении портов, так и полувагонов в обратном направлении за счет перевозки контейнеров в полувагонах имеет положительный эффект для сети железных дорог, а именно [4]:

- повышение доли сдвоенных операций в регионе слияния контейнеропотока и потока порожних полувагонов;
- снижение доли порожнего пробега полувагонов и фитинговых платформ;
- снижение загрузки инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Достижение положительного эффекта связано с решением задачи по увязке потоков контейнеров, поступающих с моря, и порожних полувагонов после выгрузки в портах. Для этих целей в портовых регионах предпринимается следующее:

- развитие портовой инфраструктуры;
- развитие портовых станций, районных парков, мест перегрузки контейнеров с одного вида транспорта на другой;
- технологические мероприятия по увеличению количества соединенных контейнерных поездов;
- организация новых и развитие существующих тыловых терминалов (сухих портов);
- организация терминалов, специализированных для перегрузки контейнеров из автотранспорта в полувагоны.

Два последних мероприятия, помимо известных технических и технологических аспектов работы с контейнерами и полувагонами, должны учитывать еще и дополнительные операции по закреплению контейнера в полувагоне [5].

Интенсивность обслуживания вагонов грузовыми механизмами на местах погрузки в

условиях новой технологии в целом снижается ввиду увеличения времени выполнения операций, связанных с размещением и креплением контейнеров в полувагонах [6]. В таких условиях не представляется возможным совместно организовать места подготовки полувагонов к погрузке в них контейнеров на территории действующих портовых терминалов, не нарушая существующую работу предприятий.

Задача усложняется еще и тем, что подготовку полувагонов под погрузку контейнеров нельзя сделать заранее, перед погрузкой, так как контейнер помещается в полувагон и уже после его позиционирования внутри фиксируется крепежными материалами.

Материалы и методы исследования

Организация процесса погрузки контейнеров в полувагоны зависит от множества факторов:

- количества портов, находящихся в оперативной доступности и осуществляющих передачу контейнеров на терминалы перегрузки;
- готовности портов к приему судов и интенсивности приема контейнеров с судна;
- доли контейнеров, поступающих в вагонах и автотранспортом на терминал;
- скорости обработки автотранспорта в порту и на терминале перегрузки;
- пропускных способностей автодорог на подходах к терминалу перегрузки;
- организации работы по подготовке полувагонов к перевозке контейнеров;
- технологии работы и оснащения грузовыми механизмами на контейнерной площадке;
- учета размеров контейнеров и их массы для обеспечения безопасного размещения в полувагоне.

Анализ работы ряда портов Дальнего Востока показал, что скорейшее освобождение инфраструктуры порта от выгруженных полувагонов является естественной тенденцией, так как это позволяет увеличить мощности выгрузки на склад или на причал. Зачастую

порты небольших размеров специализированы только для одного вида груза. Совмещение операций по приему контейнеров с моря и погрузке в освободившиеся полувагоны после выгрузки угля выполняется на терминалах вблизи крупных портов.

Основным способом вывода контейнеров с территории порта является автотранспорт [7]. С учетом условий и факторов, которые влияют на работу порта, и оснащения перегрузочными мощностями с циклом выгрузки одного контейнера около 2 мин очевидно, что скорость приема груза на автотранспорт должна равняться интенсивности выгрузки судна (судов). Интенсивность поступления автотранспорта на терминал перегрузки контейнеров должна также соответствовать интенсивности выгрузки судна в порту.

В таких условиях необходимы емкости контейнерной площадки, сопоставимые с емкостью судов. Как правило, такая работа относится к интенсивной фазе, после которой следует перерыв сгущенного поступления контейнеров на терминал, поэтому работа по приему контейнеров ведется без подборки по назначениям, отправителям, получателям при формировании штабелей контейнеров.

Для организации такой работы необходимы соответствующие емкости промежуточного хранения контейнеров, «удобные» для приема груза с автотранспорта. Под удобством следует понимать близость размещения мест складирования и минимальные затраты времени на передвижение погрузо-разгрузочной техники.

Такие территории в морском или в сухом порту называются тыловыми складами или площадками (зонами), расположенными между входом и выходом из порта [8]. Размещение тыловых зон обосновано при значительном потоке контейнеров, автотранспорта и вагонов. Для крупных терминалов желательно разделение потоков и технологий. Однако отсутствие территории для размещения крупных объектов транспорта в глубине порта является причиной интеграции тыловых зон и мест погрузки-выгрузки. В основном такая интеграция характерна только для небольших терминалов, где это полностью обосновано, однако крупные объекты, ввиду отсутствия необходимых площадок для размещения устройств, также компонуются с объединением устройств.

Высокоинтенсивным способом съема контейнеров с автотранспорта является применение ричстакеров. Использование козловых контейнерных кранов и попытки разместить места погрузки-выгрузки на полную длину состава не имеют преимуществ перед ричстакерной технологией и делением состава на части, а именно:

- контейнерные площадки при ричстакерной технологии можно располагать вдоль кривых участков путей, увеличивая емкость фронта;

- условия укладки крановых путей для козловых контейнерных кранов требуют дополнительных междупутных расстояний, что, в свою очередь, увеличивает общую ширину объекта [9];

- эффективная работа козловых кранов рекомендована на участках путей длиной 150–300 м, в зависимости от моделей кранов и их технического оснащения (в основном электротехнического). В таком случае на грузовых местах требуется размещение нескольких кранов, при этом технология работы усложняется за счет необходимости организации мест разграничения работы кранов;

- изготовление и скорость ввода в эксплуатацию козловых контейнерных кранов более продолжительна по сравнению с процессом приобретения и началом работы ричстакерами;

- усложняется работа по обслуживанию вагонов и осмотру контейнеров работниками терминала перед погрузкой контейнеров и в ее процессе. Работа козловых контейнерных кранов останавливается в пределах зоны работы крана (половина или треть пути при размещении двух или трех кранов);

- при неисправности крана в пределах мест погрузки невозможно обеспечить временную работу ричстакеров в зоне неисправного крана ввиду особенностей хранения контейнеров под пролетом крана и наличия кранового пути;

- при необходимости ричстакерная технология позволяет оперативно вводить и выводить дополнительные единицы техники на местах погрузки-выгрузки.

В статье поставлена задача установления размеров контейнерной площадки для погрузки контейнеров в полувагоны при использовании высокопроизводительной ричстакерной технологии, а также определения схемы взаимного расположения площадок с учетом их мощности и ширины. Решение поставленной задачи основано на анализе работы морских портов, их технологии и обобщении нормативной базы в обла-

сти проектирования и размещения контейнерных площадок и терминалов.

Результаты исследования

В условиях интенсивного приема автотранспорта с контейнерами на терминал и организации своевременного подвода полуваагонов для их погрузки следует использовать компактные схемы площадок. При этом устройства контейнерной площадки должны соответствовать планируемым для терминала функциям по преобразованию контейнеропотоков в логистических цепях, которые будут проходить через него. В состав контейнерной площадки следует включать [10, 11]:

- открытую складскую площадку для контейнеров;
- железнодорожные и автомобильные подъездные и внутренние пути;
- стоянку для автомобилей;
- зоны для подготовки вагонов перед погрузкой и пр.

На рис. 1 представлена схема расположения элементов контейнерной площадки для перегрузки контейнеров из автотранспорта в полуваагоны без организации склада и продолжительного хранения на контейнерной площадке.

Для схем, подобных приведенной на рис. 1, и организации работы по прямому варианту на терминалах или станциях примыкания необходимы буферы – парки с вагонами, ожидающими подачи на места погрузки-выгрузки, стоянки

для автотранспорта, тягачей и полуприцепов. Контейнерная площадка без склада промежуточного хранения должна использоваться как мера интенсивного съема контейнеров с автотранспорта и погрузки на железнодорожные фитинговые платформы. Погрузка в полуваагоны тоже возможна (с расположением контейнеров вдоль железнодорожного пути). Однако это более продолжительная технология и она не может быть рекомендована как основная, так как ее предназначение – гашение всплеска поступления контейнеров автотранспортом и снижение загрузки основных контейнерных площадок с организацией хранения контейнеров.

На рис. 1 представлены два варианта размещения контейнерных площадок под перегрузку контейнеров. Верхняя, с одним железнодорожным путем, может служить для незначительных объемов перегрузки либо использоваться как крайняя в группе площадок перегрузки. Две нижние площадки – полноценный комплекс, способный переработать более одного состава в сутки.

В табл. 1 приведены основные размеры компоновочных решений при обслуживании контейнерной площадки с одним и двумя железнодорожными путями.

Небольшая ширина площадок при работе по прямому варианту определена отсутствием зон временного хранения контейнеров. Ширина площадки может различаться при использовании разных моделей ричстакеров.

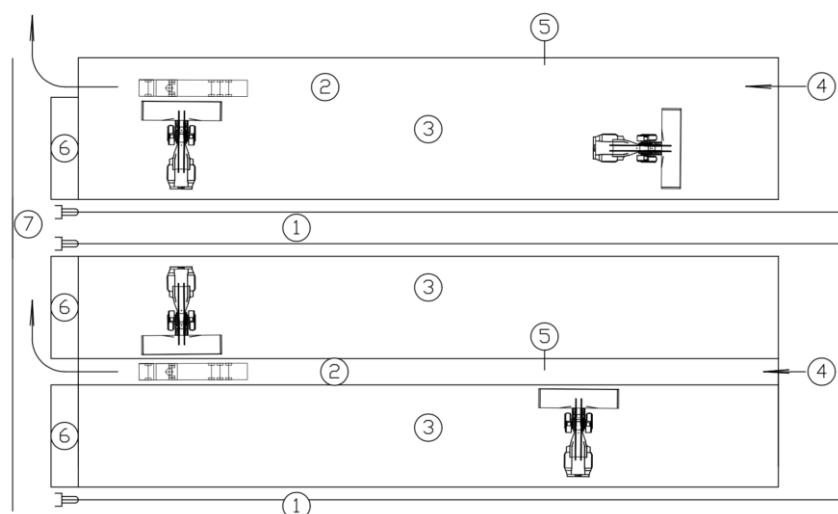


Рис. 1. Схема расположения элементов контейнерной площадки без организации склада и продолжительного хранения:

1 – ж.-д. пути; 2 – автопроезд; 3 – площадка для работы ричстакера; 4 – въезд автотранспорта на контейнерную площадку; 5 – проход для работников контейнерной площадки; 6 – склад крепежных материалов; 7 – двухполосная автодорога

Таблица 1

Ширина контейнерной площадки без организации склада и продолжительного хранения, м

Элемент площадки	Один ж.-д. путь	Два ж.-д. пути
1. Проход для работников	2	2
2. Автомобильный проезд	4	4
3. Площадка для работы ричстакера	15	30*
<i>Итого</i>	21	36

* Для работы двух ричстакеров.

Однако эти изменения незначительны, поэтому ширину площадки для обработки вагонов с одного пути можно принять равной 20 м, а с двух путей – 40 м.

Особенности крепления контейнеров разных размеров различаются [5, 6]. Это связано с размещением одного 40-футового контейнера или двух 20-футовых контейнеров в одном полувагоне. В таких условиях требуется различное количество крепежного материала для монтажа конструкций внутри полувагона, персонала и времени на закрепление контейнеров. В связи с этим следует специализировать площадки размещения 20- и 40-футовых контейнеров. Такое решение позволит более эффективно использовать погрузо-разгрузочную технику, емкость площадки и обслуживать потоки автотранспорта, поступающего на терминал.

Ввиду того что доли контейнеров разных размеров находятся, как правило, в соотношениях 30/70 или 40/60 %, возникает сложность с размещением на одной территории площадок для хранения разных размеров контейнеров и дальнейшим их использованием при оперативном пере-

распределении работы между ними. На рис. 2 представлен вариант использования площадок, специализированных по размеру контейнеров, оборудованных различными грузовыми механизмами.

На рис. 2 представлен вариант схемы обслуживания одной площадки козловыми контейнерными кранами, второй – ричстакерами. При этом не имеет значения, где будут располагаться те или иные типоразмеры контейнеров.

Более эффективное размещение контейнеров разных размеров и более удобная специализация контейнеров внутри площадки по грузоотправителям, получателям и пр. представлены на рис. 3. Данная схема компоновки площадки позволяет принимать без перерывов поток автомобилей с интенсивностью выгрузки контейнеров из судна. Здесь реализована специализация зон хранения, возможности перегрузки на железнодорожный транспорт. Ширина площадки увеличена ввиду необходимости размещения зоны хранения контейнеров в количестве большем, чем расчетное судно, поступающее в обслуживаемый

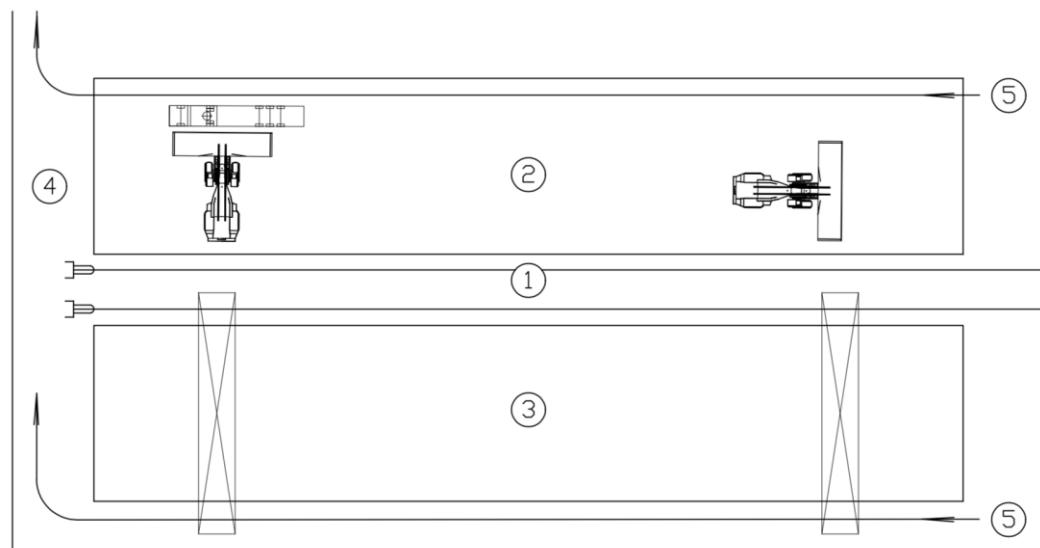


Рис. 2. Компоновка контейнерных площадок с разделением работы для разных типоразмеров контейнеров:
 1 – ж.-д. пути; 2 – площадка для работы ричстакера; 3 – площадка для работы козловых кранов;
 4 – двухполосная автодорога; 5 – въезд автотранспорта на контейнерную площадку

порт, характеризующееся в первую очередь грузоподъемностью, которая зависит от осадки судна и глубины причальной стенки в порту.

В табл. 2 приведен расчет ширины площадки для размещения устройств терминала. Согласно таблице при наличии промежуточных зон хранения контейнеров и обработке с одного пути ширина площадки увеличится и составит около 30 м, при обслуживании с двух путей – около 60 м. Увеличение ширины площадки вли-

яет на условия подключения железнодорожных путей, вписывания круговых кривых, ограничивает количество площадок для размещения на выделенном участке земли.

На рис. 4, а представлен вариант подключения контейнерных площадок, который характерен для размещения площадок разной ширины при условии расположения более широких площадок ближе к путям примыкания (выставочным, отправочным, ходовым и пр.).

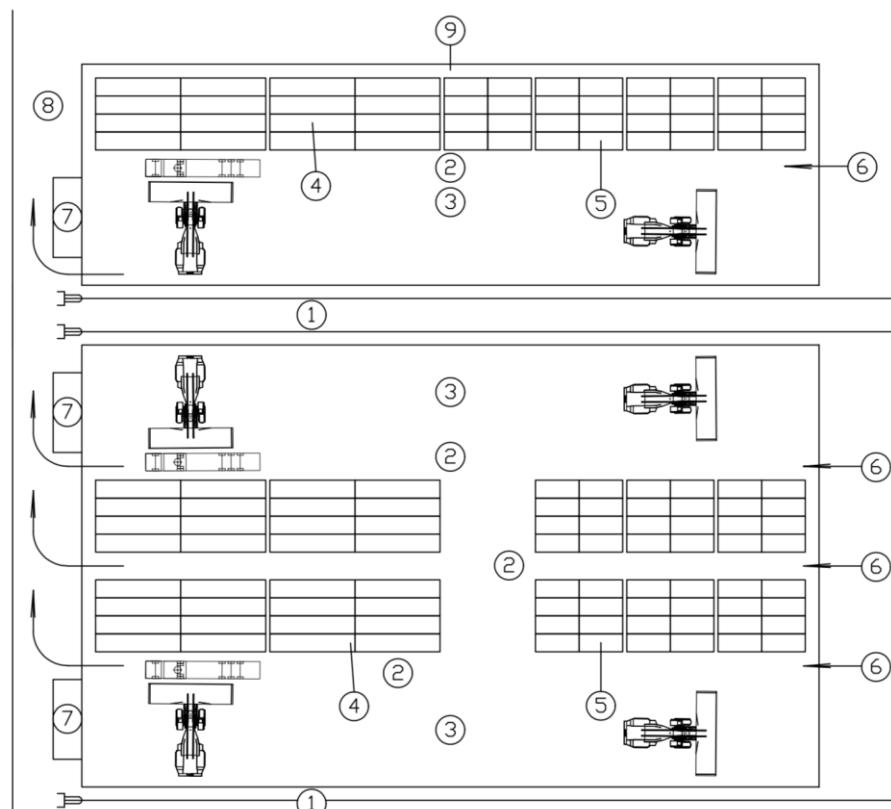


Рис. 3. Схема расположения элементов контейнерной площадки со складом хранения контейнеров:

1 – ж.-д. пути; 2 – автопроезд; 3 – площадка для работы ричстакера;

4 – площадка для хранения 40-футовых контейнеров; 5 – площадка для хранения 20-футовых контейнеров; 6 – въезд автотранспорта на контейнерную площадку; 7 – склад крепежных материалов; 8 – двухполосная автодорога; 9 – проход для работников контейнерной площадки

Ширина контейнерной площадки со складом хранения контейнеров, м

Элемент площадки	Ширина
<i>Один ж.-д. путь</i>	
1. Автомобильный проезд	4
2. Площадка для работы ричстакера	15
3. Четыре ряда контейнеров (с учетом необходимых зазоров 0,1–0,15 м)	10,4
4. Пешеходный проход	2
<i>Итого</i>	31,4
<i>Два ж.-д. пути</i>	
1. Автомобильный проезд, 2 шт.	8
2. Площадка для работы ричстакера, 2 шт.	30
3. Восемь рядов контейнеров (с учетом необходимых зазоров 0,1–0,15 м)	20,8
4. Автопроезд между складами контейнеров для подвоза крепежного материала	4
<i>Итого</i>	62,8

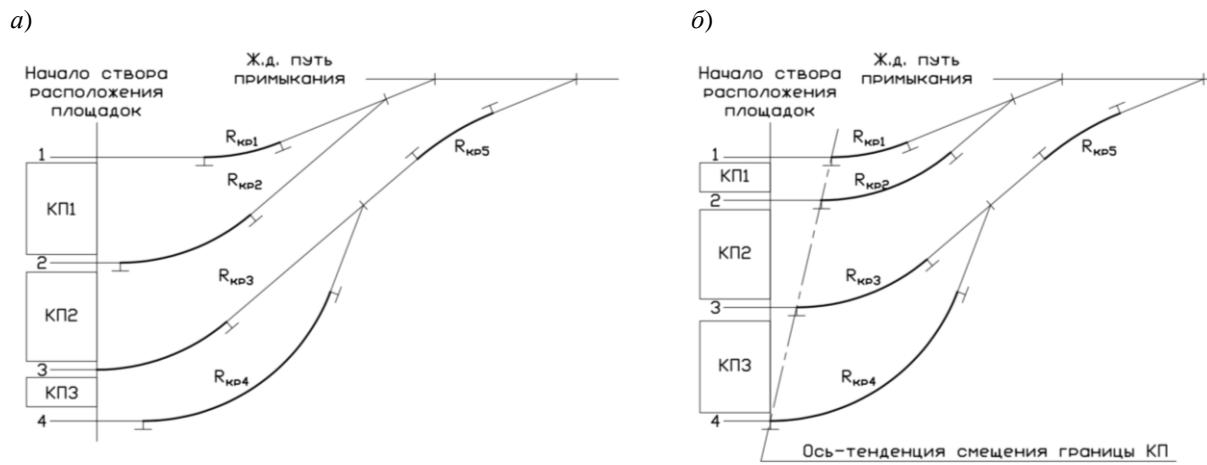


Рис. 4. Схема подключения железнодорожных путей к контейнерным площадкам перегрузки:
а – расположение узкой площадки на удалении; б – расположение узкой площадки ближе к основным путям

Расположение контейнерных площадок, представленных на рис. 4, б, и наличие круговых кривых с разным углом поворота позволяет установить принципиальную ось-тенденцию, показывающую смещение прямых участков мест погрузки-выгрузки, и сократить длину нерационального использования площадки, выделенной под ее проектирование.

Ось-тенденция позволяет сформулировать следующие рекомендации к компоновке контейнерных площадок внутри терминалов перегрузки контейнеров:

- места погрузки-выгрузки следует размещать ближе к группам основных путей;
- площадки для компенсации неравномерности, сгущенного подвода автотранспорта с организацией прямого варианта перегрузки следует располагать за основными площадками для удобства укладки железнодорожных путей.

Выводы

Увеличение интенсивности приема и переработки контейнеропотока на терминалах перегрузки требует инфраструктурного и технологического обеспечения контейнерных площадок. Рациональное использование выделенных участков земли для проектирования и размещения площадок должно рассматриваться

исходя из наиболее эффективной компоновки площадки.

На стадии предпроектных проработок и технико-экономического обоснования в первую очередь следует принимать технологию работы с ричстакерной техникой, наиболее мобильной и быстро вводимой в работу. Типовую ширину контейнерной площадки следует принимать следующей: для основных площадок – 30 и 60 м, для вспомогательных или маломощных – 20 или 40 м.

Компоновка и сочетание площадок, в том числе для работы с разными типоразмерами, должны быть подчинены скорости приема и обработки специализированными грузовыми механизмами.

В статье введено понятие «ось-тенденция», которое позволяет визуально оценить наличие нерационально используемых участков земли, а также определить расположение площадок при разработке генерального плана предприятия, в том числе с учетом этапности проектирования. Подчинение конструкции ввода железнодорожных путей рациональному расположению площадок также позволяет уменьшить протяженность маршрутов обслуживания площадок на 60–120 м при маневровой работе и, в свою очередь, сократить время выполнения операций, увеличить перерабатывающую способность мест перегрузки.

Список источников

1. Устойчивое развитие. Развитие транспортных коридоров пристимулирует рост экономики // Гудок : [сайт]. URL: <https://clk.ru/3FkMgn> (дата обращения: 13.01.2025).
2. РЖД предложили обезличивать парк полувагонов и платформ для вывоза контейнеров с Дальнего Востока // Эстив : [сайт]. URL: <https://bit.ly/42U80Yp> (дата обращения: 13.01.2025).

3. Перевозка контейнеров в полувагонах станет вызовом для стартапов // Гудок : [сайт]. URL: <https://clck.ru/3ADb4A> (дата обращения: 22.04.2024).

4. Воротынцева В. И. Факторы, влияющие на увеличение перерабатывающей способности железнодорожной станции Ванино в условиях взаимодействия с морским портом // Труды 80-й Студенческой научно-практической конференции РГУПС. Секция «Эксплуатация железных дорог», Воронеж, 21–23 апреля 2021 года. Часть 2. Воронеж : Филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, 2021. С. 30–32.

5. Корнеев М. В., Бурдяк П. С. Формирование требований к креплению контейнеров в полувагонах для развития транспортного рынка Сибири и Дальнего Востока // Вопросы новой экономики. 2024. № 2 (70). С. 40–48. DOI 10.52170/1994-0556_2024_70_40.

6. Корнеев М. В., Бурдяк П. С. Анализ существующих и предлагаемых способов размещения и крепления крупнотоннажных контейнеров в универсальных железнодорожных полувагонах // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2 (69). С. 71–79. DOI 10.52170/1815-9265_2024_69_71.

7. Бурдяк П. С. Схема размещения и параметры контейнерной площадки тылового терминала для приема автотранспорта // Транспорт и логистика : Технологии устойчивого развития : материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 февраля 2024 года. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2024. С. 47–50.

8. Система «морской порт – «сухой» порт» / Д. С. Муравьев, А. Н. Рахмангулов, Н. А. Осинцев [и др.]. Москва : Инфра-М, 2022. 176 с. DOI 10.12737/1816639. ISBN: 978-5-16-017155-5.

9. СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм. Москва : Стандартинформ, 2018. 59 с.

10. СП 262.1325800.2016. Контейнерные площадки и терминальные устройства на предприятиях промышленности и транспорта. Москва : Стандартинформ, 2017. 27 с.

11. СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Москва : Стандартинформ, 2012. 281 с.

References

1. Sustainable development. Development of transport corridors will stimulate economic growth. *Gudok: [site]*. (In Russ.). URL: <https://clck.ru/3FkMgn>.
2. Russian Railways proposed to depersonalize the fleet of gondola cars and platforms for shipping containers from the Far East. *Estiv: [site]*. (In Russ.). URL: <https://bit.ly/42U80Yp>.
3. Container transportation Gondola cars will be a challenge for startups. (In Russ.). *Gudok: [site]*. URL: <https://clck.ru/3ADb4A>.
4. Vorotyntseva V. I. Factors influencing the increase in the processing capacity of the Vanino railway station in conditions of interaction with the seaport. *Proceedings of the 80th Student Scientific and Practical Conference of the Russian State Pedagogical University. Section 'Operation of Railways'*, Voronezh, 21–23.04.2021. Part 2. Voronezh. Branch of Rostov State Transport University in Voronezh; 2021. P. 30–32. (In Russ.).
5. Korneev M. V., Burdyak P. S. Formation of requirements for securing containers in gondola cars for the development of the transport market of Siberia and the Far East. *Issues of the New Economy*. 2024;(70):40–48. (In Russ.). DOI 10.52170/1994-0556_2024_70_40.
6. Korneev M. V., Burdyak P. S. Analysis of existing and proposed ways of placing and securing large-capacity containers in universal railway gondolas. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(69):71–79. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2024_69_71.
7. Burdyak P. S. Layout and parameters of the container site of the rear terminal for receiving vehicles. *Transport and Logistics: Technologies of Sustainable Development. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, February 01–02, 2024*. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University; 2024. P. 47–50. (In Russ.).
8. Muravyov D. S., Rakhmangulov A. N., Osintsev N. A. [et al.]. The Seaport – Dry Port system. Moscow: Infra-M; 2022. 176 p. (In Russ.). DOI 10.12737/1816639. ISBN: 978-5-16-017155-5.
9. SP 119.13330.2017. Railways of 1520 mm gauge. Moscow: Standartinform; 2018. 59 p. (In Russ.).
10. SP 262.1325800.2016. Container platforms and terminal facilities at industrial and transport enterprises. Moscow: Standartinform; 2017. 27 p. (In Russ.).
11. SP 37.13330.2012. Industrial transport. Moscow: Standartinform; 2012. 281 p. (In Russ.).

Информация об авторе

П. С. Бурдяк – кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the author

P. S. Burdyak – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Railway Stations and Junctions Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 30.01.2025; одобрена после рецензирования 07.03.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted 30.01.2025; approved after reviewing 07.03.2025; accepted for publication 19.03.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.212.7

doi 10.52170/1815-9265_2025_74_24

Критерии оценки уровня развития терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта

Андрей Сергеевич Акельев¹✉, Роман Григорьевич Король²

^{1,2} Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

¹ andrei.akelev@mail.ru✉

² kingkhv27@mail.ru

Аннотация. Определение оптимальных параметров уровня развития терминально-логистических объектов в условиях перестройки логистических цепей и развития новых направлений движения грузопотоков становится важной задачей при создании эффективной терминально-логистической системы региона. Предметом исследования являются критерии оценки уровня развития терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта, объектом – терминально-логистическая инфраструктура общего пользования. В качестве критериев оценки уровня развития терминально-логистических объектов в работе используются: перечень предоставляемых услуг; путевое развитие; оснащенность подъемно-транспортными машинами; параграфы, по которым открыт грузовой двор; емкость мест хранения грузов. Анализ функционирования сети терминально-логистических объектов показал зависимость уровня развития терминально-логистического объекта от показателей его работы: с повышением уровня развития терминально-логистического объекта среднеарифметические значения его показателей по представленным критериям оценки возрастают. Сегодня четкой границы разделения между уровнями развития терминально-логистических объектов по критериям не обозначено.

Авторами предложены критерии, отражающие возможность реализации потенциала терминально-логистических объектов: перерабатывающая способность, фактический объем грузопереработки за предыдущий период и грузопоток на станции, к которой примыкает терминально-логистический объект. После оценки степени реализации потенциала терминально-логистического объекта определяется условие функционирования терминально-логистического объекта: оптимальное; нехватка перерабатывающей способности; недостаточность существующего грузопотока. Производится оценка целесообразности оптимизации параметров инфраструктуры терминально-логистического объекта на основе экономических показателей.

В структуру терминально-логистических объектов, параметры функционирования которых не обеспечивают существующие потребности в обслуживании грузопотоков, предлагается включить терминал-демпфер, представляющий собой инфраструктуру для временной организации работы с грузопотоком, перенаправленным с имеющейся терминально-логистической инфраструктурой.

Ключевые слова: терминально-логистическая инфраструктура, терминально-логистический объект, элемент инфраструктуры, инфраструктура общего пользования, грузовые дворы, терминал-демпфер, классификация, уровень развития терминально-логистического объекта

Для цитирования: Акельев А. С., Король Р. Г. Критерии оценки уровня развития терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 24–31. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_24.

TRANSPORT

Original article

Criteria for assessing the development level of railway terminal and logistics facilities

Andrey S. Akeliev¹✉, Roman G. Korol²

^{1,2} Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

¹ andrei.akelev@mail.ru✉

² kingkhv27@mail.ru

Abstract. Determining the optimal parameters of the development level of terminal logistics facilities in the context of the logistics chains restructuring and the development of cargo traffic new directions is becoming an important task for building an effective terminal logistics system in the region. The subject of the study is the criteria for assessing the development level of railway terminal and logistics facilities, the object of the study is the terminal and logistics infrastructure of public use. The following criteria are used as criteria for assessing the development

level of terminal logistics facilities: – list of services provided; – track development; – equipment with lifting and transport vehicles; – paragraphs on which the cargo yard is open; – capacity of cargo storage facilities. The analysis of the current network of terminal logistics facilities has shown the dependence level of the terminal logistics facility and its performance indicators, which can be formulated as follows: with an increase in the level of the terminal logistics facility, the arithmetic mean values of the indicators according to the criteria increase. There is no clear line of separation between the development level of terminal and logistics facilities according to any of the criteria.

The authors propose criteria reflecting the possibility of realizing the potential of terminal logistics facilities. These include: processing capacity, the actual volume of processed cargo for the previous period, and cargo flow at the station adjacent to the terminal logistics facility. After evaluating the potential realization of the terminal logistics facility, the result of which is the determination of the operating conditions of the terminal logistics facility: optimal; lack of processing capacity. Due to the insufficiency of the existing cargo flow, the feasibility of optimizing the infrastructure of the terminal and logistics facility is calculated based on the economic indicators acquired and spent on optimization.

In the structure of terminal logistics facilities, the operating parameters of which in a number of conditions do not meet the needs, and it is difficult to change them, it is proposed to include a terminal damper, which is an infrastructure for temporarily organizing work on it with cargo traffic transferred from the existing terminal logistics infrastructure.

Keywords: terminal and logistics infrastructure, terminal and logistics facility, infrastructure element, public infrastructure, freight yards, terminal damper, classification, level of terminal and logistics facility

For citation: Akeliev A. S., Korol R. G. Criteria for assessing the development level of railway terminal and logistics facilities. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):24–31. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_24.

Введение

Со стремительно перестраивающимся транспортно-логистическим рынком востребованность объектов терминально-логистической инфраструктуры, обеспечивающих доступность железнодорожного транспорта для грузовладельцев, меняется [1–2]. Терминально-логистические объекты (ТЛО) могут получить дополнительный объем грузовой работы или утратить имеющиеся грузопотоки [3]. Аналогично трансформировалась сеть ТЛО центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом (ЦМ) ОАО «РЖД» [4].

В 2024 г., согласно прейскуранту, услуги ОАО «РЖД» предоставляются на 524 ТЛО ЦМ, относящихся к местам общего пользования для осуществления грузовых операций и разделенных на шесть видов: терминально-логистический центр (ТЛЦ) – 16 объектов; грузовой терминал (ГТ) – 115; грузовая площадка (ГП) – 261; железнодорожный пункт пропуска (ЖДПП) – 4; промывочный пункт (ПП) – 13; малодеятельная грузовая площадка (МГП) – 128 [5–7].

Материалы и методы исследования

Для развития терминально-логистической инфраструктуры, в том числе для выполнения Стратегии развития железнодорожного транспорта РФ на период до 2030 г. в части обеспечения единства транспортной системы и «бесшовности» транспортно-логистических процессов, необходимо учитывать параметры оптимального развития ТЛО в текущих условиях их функционирования. В настоящее время различ-

ные подходы к классификации терминально-логистической инфраструктуры представлены в работах О. Д. Покровской, О. Н. Числова, Т. А. Прокофьевой, В. И. Сергеева, В. В. Дыбской, Л. Б. Миротина, А. С. Балалаева, С. Ю. Елисеева и др. При этом критериальный подход к классификации терминально-логистических объектов по уровню развития требует уточнения. В данной работе использовались теоретические методы исследования, включая классификацию, сравнение, анализ и синтез.

Существующую структуру видов ТЛО можно представить в виде уровней развития инфраструктуры от ГП, характерным уровнем оснащения которой является минимальное количество грузовых фронтов, емкости зон хранения и количества ПТМ, до ТЛЦ с развитой инфраструктурой, широким перечнем предоставляемых услуг и номенклатур принимаемых к работе грузов и высокими показателями перерабатывающей способности. Зависимость уровня развития терминально-логистического объекта от показателей его работы по критериям оценки представлена на рис. 1.

Из приведенных на рис. 1 данных можно сделать вывод: с повышением уровня развития терминально-логистического объекта среднеарифметические значения его показателей по представленным критериям оценки возрастают.

Описанные критерии оценки уровня развития терминально-логистической инфраструктуры ЦМ отражают технические характеристики и оснащенность ТЛО. Авторами предложены критерии, учитывающие возможность

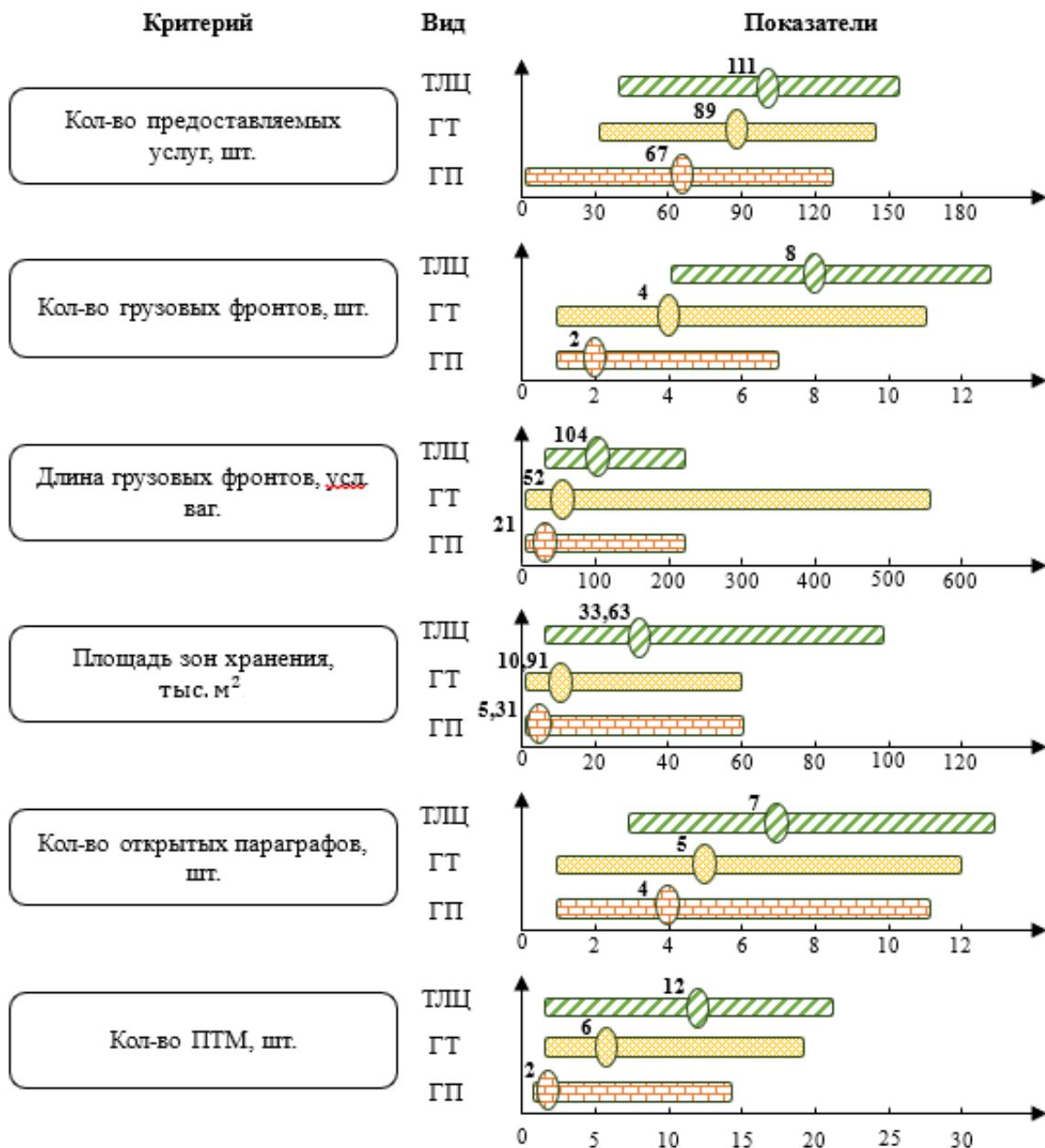


Рис. 1. Показатели критериев по видам ТЛО

реализации потенциала ТЛО. К таким можно отнести: расчетную перерабатывающую способность, фактическую переработку грузопотока за прошлые периоды и грузопоток на станции, к которой примыкает ТЛО. Критерии, учитывающие возможность реализации потенциала ТЛО, рассмотрены на примере Дальневосточной железной дороги (ДВЖД) [8, 9]. В состав ДВЖД входит Дальневосточная дирекция по управлению терминално-складским комплексом (ДДУТСК), которая включает 36 ТЛО: ТЛЦ – 3; ГТ – 4; ГП – 12; МГП – 15; ЖДПП и ПП – по 1 объекту. На рис. 2 представлена зависимость суточной расчетной перерабатываю-

щей способности и годового объема переработки грузов по видам ТЛО ДДУТСК.

Следствием лучшей оснащенности и технического развития терминално-логистических объектов более высокого уровня является растущий показатель перерабатывающей способности, о чем свидетельствуют усредненные показатели перерабатывающей способности различных видов ТЛО.

Наличие в регионе ТЛО с высокими показателями перерабатывающей способности должно быть обеспечено соответствующими объемами грузопотока, которые могут распределяться по ТЛО различной принадлежности: инфраструк-

туры общего (МОП) и необщего пользования (ПНП) [10, 11]. На рис. 3 представлен фрагмент анализа объема грузовой работы по станциям, к которым примыкают ТЛО ДДУТСК.

Из рис. 3 видно, что в регионах с большим объемом грузовой работы (Хабаровске, Уссурийске и др.), в зависимости от доли грузовой работы, приходящейся на пути необщего пользования, размещаются объекты ТЛЦ или ГТ. В районах с меньшими объемами грузопотока и малой номенклатурой перевозимых грузов функционирует ГП. При снижении грузовой базы до значений, определяющих нецелесообразность функционирования ТЛО на постоянной основе, организуется работа по принципу

МГП, который заключается в осуществлении погрузочно-разгрузочных работ выездными бригадами по заявкам клиентов с исключением функционирования инфраструктуры на постоянной основе [12].

Систему, в которой существует соответствие параметров функционирования ТЛО и объемов приходящей на них грузовой работы, можно назвать сбалансированной. Условия вывода системы из равновесия заключаются в недостаточности перерабатывающей способности терминально-логистической инфраструктуры (параметров функционирования ТЛО) или объемов поступающих и перерабатываемых грузопотоков [13, 14].

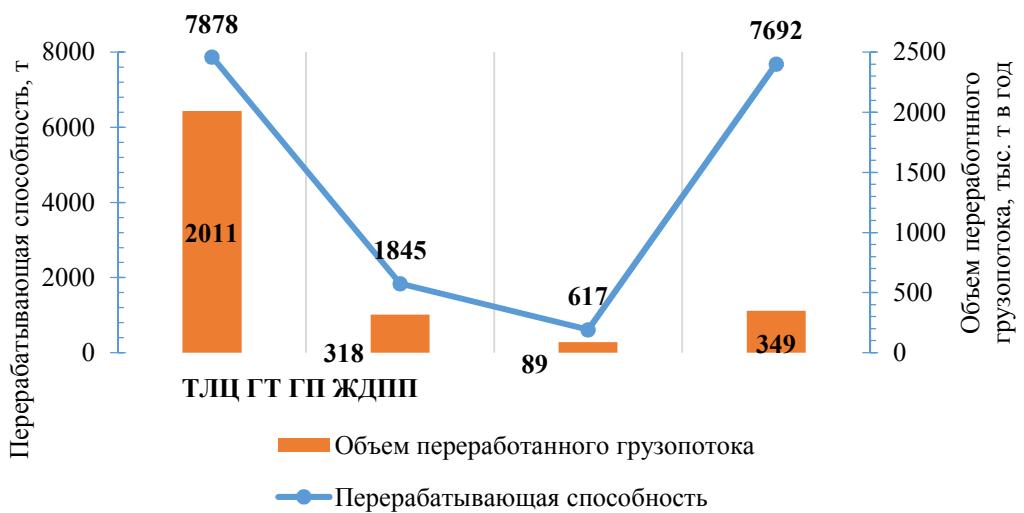


Рис. 2. Расчетная перерабатывающая способность и годовой объем переработки грузов по видам ТЛО

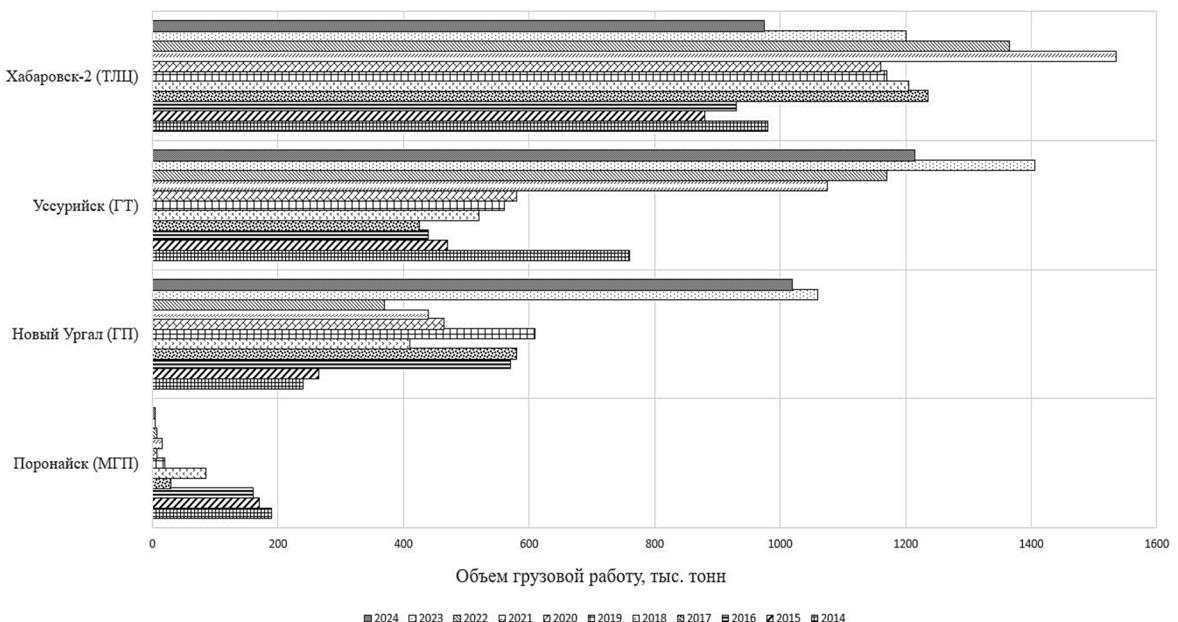


Рис. 3. Фрагмент анализа объема грузовой работы по станциям, к которым примыкает ТЛО ДДУТСК

Примечание. 2024 г. – данные за 11 месяцев.

Нехватка перерабатывающей способности ТЛО может возникнуть при следующих условиях:

- увеличение грузопотока с выгрузкой на МОП;
- увеличение погрузки на МОП;
- перенаправление грузопотока, ранее обрабатываемого на терминальной инфраструктуре ПНП (временные ограничения перерабатывающей способности, ликвидация ПНП и др.);
- снижение перерабатывающей способности МОП (обслуживание и ремонт объектов инфраструктуры, аварии, ЧС и др.).

Недостаточность существующего грузопотока для функционирования ТЛО с текущими параметрами может возникнуть по следующим причинам:

- снижение грузопотока с выгрузкой на МОП;
- уменьшение погрузки на МОП;
- перенаправление грузопотока, ранее обрабатываемого на терминально-логистической инфраструктуре МОП (условия конкуренции с ПНП).

Результаты исследования

При нехватке перерабатывающей способности выполняется оценка целесообразности инвестиций в модернизацию объектов терминально-логистической инфраструктуры:

$$OЭЦ_{НПС} = \frac{УB_{гр} + УB_{пер} + C_{lag}}{C_M}, \quad (1)$$

$$OЭЦ_{НПС} > 1, \quad (2)$$

где $OЭЦ_{НПС}$ – оценка экономической целесообразности при условии нехватки перерабатывающей способности; $УB_{гр}$, $УB_{пер}$ – упущеная выгода по осуществлению грузовых и транспортных операций, р.; C_{lag} – стоимость потерь из-за сверхнормативногоостояния транспортных средств (например, штрафы за нарушение сроков доставки, издержки за пользование подвижным составом и др.), р.; C_M – стоимость модернизации инфраструктуры, р.

$$C_M \in [C_{ГФ}^i; C_{ПТМ}^i; C_{ЗХ}^i],$$

где $C_{ГФ}^i$, $C_{ПТМ}^i$, $C_{ЗХ}^i$ – стоимость модернизации грузового фронта, ПТМ и зон хранения, р.

Оценка целесообразности оптимизации параметров функционирования ТЛО при снижающихся объемах грузопотока может быть рассчитана следующим образом:

$$OЭЦ_{НСГ} = \frac{N_{ЭИ}^{своб} (P_{ЭИ}^3 + РЦ_{ЭИ} + \Delta_{ЭИ})}{УB_{гр} + УB_{пер} + C_{lag}}, \quad (3)$$

$$OЭЦ_{НСГ} > 1, \quad (4)$$

где $OЭЦ_{НСГ}$ – оценка экономической целесообразности при условии превышения перерабатывающей способности над существующими объемами грузопотока; $N_{ЭИ}^{своб}$ – количество свободных элементов инфраструктуры терминально-логистического объекта (ЭИТЛО) после концентрации грузовой работы, ед.; $P_{ЭИ}^3$ – эксплуатационные расходы на содержание ЭИТЛО, р.; $РЦ_{ЭИ}$ – рыночная стоимость ЭИТЛО, р.; $\Delta_{ЭИ}$ – доход от сдачи ЭИТЛО в аренду или передачи на другой терминальный объект ($РЦ_{ЭИ}$ и $\Delta_{ЭИ}$ являются взаимоисключающими переменными для одного ЭИТЛО, но не исключают распределение нескольких ЭИТЛО по вариантам оптимизации затрат, например: инфраструктура зоны хранения и грузового фронта сдается в аренду, а ПТМ передано на другой терминалный объект ЦМ), р.

В результате расчетов (2) и (4) можно определить целесообразность мероприятий по оптимизации параметров функционирования ТЛО. Следствием их изменения является повышение или понижение уровня развития терминально-логистического объекта в зависимости от условий, которые привели к этим изменениям.

В настоящее время быстро изменяющийся рынок транспортных услуг делает необходимой трансформацию ТЛО в темпе, опережающем сроки реализации проектов по строительству, модернизации, оптимизации или ликвидации терминально-логистической инфраструктуры.

Авторами предлагается ввести в перечень видов ТЛО ЦМ *терминал-демпфер* (ТД), представляющий собой места общего или необщего пользования, на которых возможна организация грузовой работы и которые имеют для этого необходимые сооружения, технические устройства, подъемно-транспортные машины и сотрудников для проведения операций с грузами, а при отсутствии их предоставляет региональная дирекция по управлению терминально-складским комплексом [15]. Временный характер организации грузовой работы на ТД аналогичен МГП и ограничивается периодом, когда имеющейся перерабатывающей способности рассматриваемого региона недостаточно для обработки требуемых объемов грузопотока или когда инфраструктура ЦМ является един-

Трансформация инфраструктуры при изменении грузопотока

Отсутствие ТД	Наличие ТД
<i>При растущих объемах грузопотока</i>	
Расширение инфраструктуры: ввод новых грузовых фронтов, зон хранения, ПТМ. Строительство терминала-сателлита. Модернизация имеющихся мощностей до уровня требуемой перерабатывающей способности	Создание сети ТД, сбор и оснащение мобильных бригад. Перенаправление грузопотока в период пиковой загрузки инфраструктуры. Вывод за пределы ТЛО определенных видов услуг или видов грузов на ТД
<i>При снижающихся объемах грузопотока</i>	
Консервация некоторых грузовых фронтов с потерей оставшегося грузопотока. Сдача в аренду зон хранения и ПТМ. Отказ от предоставления некоторых видов услуг. Перевод терминала в категорию малодеятельных. Ликвидация инфраструктуры	Передача единичных подач на ТД без задействования грузовых фронтов, находящихся на консервации. Предоставление потребителю дополнительных мест для выполнения грузовой работы по технологии мобильных бригад

ственной, обеспечивающей доступность железнодорожного транспорта для организации перевозок. В таблице представлено влияние ТД на трансформацию инфраструктуры при существенном изменении объемов грузопотока.

К условиям, усиливающим положительный эффект от задействования ТД, могут относится следующие обстоятельства:

- невозможность расширения территории ТЛО;
- длительный срок ввода новых ТЛО;
- значительные вложения в строительство новых ТЛО;
- риски инвестиций в быстро меняющийся рынок транспортно-логистических услуг;
- неустойчивость и сильные колебания объемов грузопотока;
- потребность в подвижном составе и, как следствие, стремление к сокращению простоя в ожидании грузовых операций;
- необходимость повышения доступности железнодорожного транспорта путем предоставления альтернативных мест грузовой работы;
- потребность в сокращении общего срока доставки вследствие уменьшения времени на грузовые операции;
- увеличение конкурентоспособности из-за повышения доли перевозок по принципу до-

ставки «точно в срок», с задействованием альтернативных мест выгрузки в непредвиденных случаях.

Выводы

Оценка параметров функционирования терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта по приведенным в работе критериям позволяет определить достаточность уровня развития инфраструктуры и перерабатывающей способности в текущих условиях.

Условия, в которых функционирует ТЛО, влияют на способы оптимизации элементов инфраструктуры терминально-логистического объекта, которые должны соответствовать критерию целесообразности реализуемых мероприятий, отражающему преобладание положительного экономического эффекта над затратами по осуществлению данных мероприятий.

Включение ТД в перечень доступных объектов для осуществления грузовой работы ЦМ позволит в изменяющейся экономической и внешнеполитической обстановке производить реструктуризацию имеющейся терминальной инфраструктуры, а в некоторых случаях – отказаться от нее в пользу повышения эффективности использования путевой и терминально-складской инфраструктуры общего и необщего пользования за счет ее специализации для выполнения грузовой работы по технологии мобильных бригад.

Список источников

1. Покровская О. Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 1. С. 80–94. DOI 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94. EDN YINMKX.
2. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Васильев Д. В. Совершенствование технологии терминальной обработки контейнерных поездов на основе оптимизации порядка выполнения перегрузочных операций // Транспорт Урала. 2022. № 3 (74). С. 10–15. DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-10-15.

3. Покровская О. Д., Коровяковский Е. К. Логистика терминалов: перспективное на правление логистики // Известия ПГУПС. 2015. № 3 (44). С. 155–164.
4. Акельев А. С. Оптимизация распределения грузопотоков на полигоне ДВЖД в условиях переориентации грузов на «восточное» направление // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2023. Т. 1. С. 82–87. EDN PJTXSF.
5. Терминально-складские услуги центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом. Грузовые терминалы // ОАО «РЖД» : [сайт]. URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/9774/page/103290?id=11334#main-header> (дата обращения: 11.01.2024).
6. Акельев А. С., Король Р. Г. Оптимизация параметров функционирования терминально-логистической инфраструктуры железнодорожной транспортной системы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. № 3 (95). С. 79–89. DOI 10.46973/0201-727X_2024_3_79. EDN PXKQUX.
7. Терминально-складские услуги центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом. ЦМ-Прайскурант // ОАО «РЖД» : [сайт]. URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/9774/page/103290?id=18434#main-header> (дата обращения: 11.01.2024).
8. Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.] // Известия ПГУПС. 2022. Т. 19, № 4. С. 800–811. DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-800-811.
9. Король Р. Г., Подолинная С. Д. Моделирование перерабатывающей способности терминально-логистических объектов железнодорожного пограничного перехода Нижнеленинское (РФ) – Тунцзян (КНР) // Вестник УрГУПС. 2023. № 1 (57). С. 52–63. DOI 10.20291/2079-0392-2023-1-52-63.
10. Бардаль А. Б. Развитие транспортного комплекса Дальневосточного макрорегиона до 2035 года // Вестник транспорта. 2024. № 7. С. 4–13. EDN UMNPLH.
11. Транспортно-логистические системы в условиях системных изменений в экономике / Э. А. Мамаев, А. Н. Гуда, В. А. Финоченко, К. А. Годованый // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2 (86). С. 145–154. DOI 10.46973/0201-727X_2022_2_145. EDN KVKKYG.
12. Акельев А. С. Функционирование механизированной дистанции погрузочно-разгрузочных работ и коммерческих операций на полигоне Дальневосточной железной дороги в условиях изменяющегося грузопотока // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 1. С. 136–141. EDN TLEMHT.
13. Пугачев И. Н., Король Р. Г., Нестерова Н. С. Развитие транспортно-логистического комплекса Дальневосточного региона России // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2022. № 4 (33). С. 25–34. EDN FANMES.
14. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Системный анализ математических моделей размещения транспортно-логистических объектов различного уровня // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2022. Т. 81, № 3. С. 267–276. DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276. EDN BPXEOL.
15. Акельев А. С., Король Р. Г. Совершенствование технологии транспортной работы на железнодорожных терминально-логистических объектах // Вестник УрГУПС. 2024. № 4 (64). С. 87–95. DOI 10.20291/2079-0392-2024-4-87-95. EDN JNQZZZ.

References

1. Pokrovskaya O. D. Logistics transport systems of Russia under new sanctions. *Bulletin of Scientific Research Result*. 2022;(1):80–94. (In Russ.).
2. Moskvichev O. V., Moskvicheva E. E., Vasilyev D. V. Improvement of technology for terminal processing of container trains on the basis of optimization of execution order for transhipment operations. *Transport of the Urals*. 2022;(3):10–15. (In Russ.).
3. Pokrovskaya O. D., Korovyakovskiy E. K. Terminal logistics: promising direction for logistics. *Proceedings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*. 2015;(3):155–164. (In Russ.).
4. Akeliev A. S. Optimization of the Distribution of Cargo Flows at the Far Eastern Railway Landfill in the Conditions of Reorientation of Cargo to the ‘Eastern’ Direction. *Scientific, Technical and Economic Cooperation of the Asia-Pacific Countries in the XXI Century*. 2023;(1):82–87. (In Russ.).
5. Terminal and warehouse services of the central directorate for the management of the terminal and warehouse complex. Cargo terminals. *The official website of Russian Railways*. (In Russ.). URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/9774/page/103290?id=11334#main-header>
6. Akeliev A. S., Korol R. G. Optimisation of the terminal-logistic infrastructure functioning parameters of the railway transport system. *Rostov State Transport University Bulletin*. 2024;(3):79–89. (In Russ.).

7. Terminal and warehouse services of the central Directorate for the management of the terminal and warehouse complex. TsM-Preyskurant. *The official website of Russian Railways*. (In Russ.). URL: <https://cargo.rzd.ru/ru/9774/page/103290?id=18434#main-header>.
8. Chislov O. N., Bogachev V. A., Trapenov V. V. [et al.]. Configuring terminal-warehouse infrastructure of transport hub basing on the development of method of economic geographical differentiation of cargo flows. *Proceedings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*. 2022;(4):800–811. (In Russ.).
9. Korol R. G., Podolinnaya S. D. Modeling of processing capacity of terminal and logistics facilities of the Nizhneileninskoye (RF) – Tongjiang (PRC) railway border crossing. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2023;(1):52–63. (In Russ.).
10. Bardal A. B. Development of the transport complex of the Far Eastern macroregion until 2035. *Bulletin of Transport*. 2024;(7):4–13. (In Russ.).
11. Mamaev E. A., Guda A. N., Finochenko V. A., Godovany K. A. Transport and logistics systems in the context of systemic changes in the economy. *Rostov State Transport University Bulletin*. 2022;(2):145–154. (In Russ.).
12. Akeliev A. S. Operation of the MF at the Far Eastern railway landfill in conditions of changing cargo traffic. *Scientific, Technical and Economic Cooperation of the APR Countries in the XXI Century*. 2024;(1):136–141. (In Russ.).
13. Pugachev I. N., Korol R. G., Nesterova N. S. Development of transport and logistics complex of the Far Eastern regions of Russia. *Transport of the Asia-Pacific Region*. 2022;(4):25–34. (In Russ.).
14. Moskvichev, O. V., Moskvicheva E. E. System analysis of mathematical models of placement of transport and logistics facilities of different levels. *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport*. 2022;(3):267–276. (In Russ.).
15. Akeliev A. S., Korol R. G. Improvement of transport technologies at railway terminal facilities. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2024;(4):87–95. (In Russ.).

Информация об авторах

А. С. Акельев – аспирант, старший преподаватель кафедры «Технология транспортных процессов и логистика» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.

Р. Г. Король – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортных процессов и логистика» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. S. Akeliev – Postgraduate, Senior Lecturer of the Technology of Transport Processes and Logistics Department, Far Eastern State Transport University.

R. G. Korol – Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Technology of Transport Processes and Logistics Department, Far Eastern State Transport University.

Статья поступила в редакцию 14.02.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted 14.02.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 19.03.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 65.011.56
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_32

Развитие автоматизированных систем управления ОАО «РЖД» с целью повышения эффективности работы путевых машин

Андрей Дмитриевич Абрамов¹, Михаил Андреевич Семенов^{2✉}

^{1,2} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ abramov@stu.ru

² MikeSemenov13111996@yandex.ru✉

Аннотация. Одной из приоритетных задач по импортозамещению для ОАО «РЖД» является автоматизация деятельности по управлению производственными активами в инфраструктурном комплексе и объектами железнодорожной инфраструктуры, которая в настоящее время реализуется в Единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой (ЕК АСУИ), функционирующей на платформе, разработанной зарубежной компанией Project Software & Development.

В статье подробно рассматривается структура ЕК АСУИ, взаимодействие ее модулей и подсистем, а также проблемы и упущения в работе путевых машин, связанные с взаимодействием подсистем Автоматизированной системы управления производственными активами Центральной дирекции инфраструктуры (АСУ ПА ЦДИ). Программные комплексы АСУ ПА ЦДИ и Автоматизированной системы контроля над работой специального подвижного состава (АС КРСПС) производят только сбор и анализ данных с путевых машин о количестве выполненных работ, но задание на их выполнение бригадам путевых машин по-прежнему выдается руководителем работ, из-за чего могут происходить ошибки в технологии выполняемых работ. Далее эти ошибки могут увеличиваться при занесении машинистами данных в программное обеспечение машин. Для повышения качества выполняемых путевыми машинами работ необходимо устранить человеческий фактор из этого процесса. Разработка и внедрение новой структуры программных комплексов с двухсторонней связью АСУ ПА ЦДИ и АС КРСПС при получении информации позволит не допустить отклонений от необходимых параметров машин в процессе работы и повысить качество выполняемых работ.

Ключевые слова: средства контроля, инструменты формирования, объект автоматизации, дополнительный блок управления, человеческий фактор, ЕК АСУИ, АСУ ПА ЦДИ, АС КРСПС

Для цитирования: Абрамов А. Д., Семенов М. А. Развитие автоматизированных систем управления ОАО «РЖД» с целью повышения эффективности работы путевых машин // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 32–40. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_32.

TRANSPORT

Original article

Development of automated control systems of Russian Railways in order to improve the efficiency of track machines

Andrey D. Abramov¹, Mikhail A. Semenov^{2✉}

^{1,2} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ abramov@stu.ru

² MikeSemenov13111996@yandex.ru✉

Abstract. One of the priority tasks for Russian Railways in import substitution is the automation of activities for managing production assets in the infrastructure complex and railway infrastructure facilities, which is currently being implemented in the Unified Corporate Automated Infrastructure Management System (EC ACIMS), operating on a platform developed by the foreign company Project Software & Development.

The article examines in detail the structure of the EC ACIMS, the interaction of its modules and subsystems, as well as problems and omissions associated with the interaction of the ACS PA CDI systems in the operation of track machines. The ACS PA CDI and AS KRSPS software packages only collect and analyze data from track machines on the number of completed works, but the task for the performance of work by the teams of track machines is still issued by the work manager, due to which errors may occur in the technologies of the work performed, then these errors can increase when the drivers enter data into the work of the machines. To improve the quality of the work performed by track machines, it is necessary to eliminate the human factor from the process of entering data into the work of the machines. For this purpose, it is proposed to develop an additional control unit and integrate it into the KRSPS AS system. The development and implementation of a new structure of software

packages with two-way communication between the ACS PA CDI and the AS KRSPS when receiving information will prevent deviations from the required parameters of machines during the operation, which will improve the quality of the work performed.

Keywords: control means, formation tools, automation object, additional control unit, human factor, EK ASUI, ACS PA CDI, AS KRSPS

For citation: Abramov A. D., Semenov M. A. Development of automated control systems of Russian Railways in order to improve the efficiency of track machines. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):32–40. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_32.

Введение

Стратегические вызовы, с которыми столкнулась экономика России, напрямую связаны с производственной деятельностью ключевых компаний страны. В этих условиях ускоряются процессы оптимизации затрат и концентрации ресурсов на ключевых задачах развития. В числе таких задач – импортозамещение, как в технике и технологиях, так и в программном обеспечении процессов принятия управленческих решений.

Для ОАО «РЖД» приоритетной является автоматизация деятельности по управлению производственными активами в инфраструктурном комплексе и объектами железнодорожной инфраструктуры [1], которая в настоящее время реализуется в Единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой (ЕК АСУИ), функционирующей на платформе, разработанной зарубежной компанией Project Software & Development. Для решения данной проблемы необходимо разработать отечественный программный продукт, обеспечивающий эффективную систему средств контроля, оценки труда и периодической отчетности, с возможностью оперативного автоматизированного принятия управленческих решений. Вследствие этого необходимо выполнить следующие исследования: проанализировать имеющуюся систему автоматизированного контроля и управления в ОАО «РЖД», выявить недостатки взаимодействия и определить потоки входящей и исходящей информации.

Также предполагается рассмотреть более подробно структурные подразделения автоматизированных систем управления инфраструктурой, уровень автоматизации бизнес-процессов, недостатки и требования к применению новых принципов управления производственными активами.

Основные положения

ЕК АСУИ – это инструмент информационной поддержки бизнес-процессов содержания объектов эксплуатационной инфраструктуры

ОАО «РЖД» в режиме реального времени и оперативного решения управленческих задач. Главные задачи управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры – это обеспечить работоспособность сооружений, устройств, механизмов и оборудования для безопасного движения подвижного состава с обоснованными, экономически целесообразными скоростями движения и осевыми нагрузками, позволяющими реализовать оптимальный уровень эксплуатационных затрат на их содержание, а также незамедлительное реагирование и координацию работ по устранению нештатных ситуаций на объектах эксплуатационной инфраструктуры [2].

Внедрение ЕК АСУИ в структурных подразделениях Центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ) началось в 2012 г., а с 2017 г. – в Центральной дирекции по ремонту пути [3]. В настоящее время идет активная работа по рендинкингу существующего функционала с внедрением новых автоматизированных и автоматических функций в Автоматизированную систему управления производственными активами Центральной дирекции по ремонту пути (АСУ ПА ЦДРП).

ЕК АСУИ представляет собой комплекс следующих систем (рис. 1) [4]:

- Единая система мониторинга и диагностирования объектов инфраструктуры – ЕСМД;
- Типовая система управления инцидентами – ТСИ;
- Типовая система управления текущим содержанием объектов эксплуатационной инфраструктуры – ТС-2;
- Типовая система управления осмотрами – ТСО;
- Система оценки и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры – СОПС;
- Единая технологическая база объектов инфраструктуры – ЕТБ;
- Автоматизированная система управления местными технико-нормировочными картами – АСУ ТНКм;

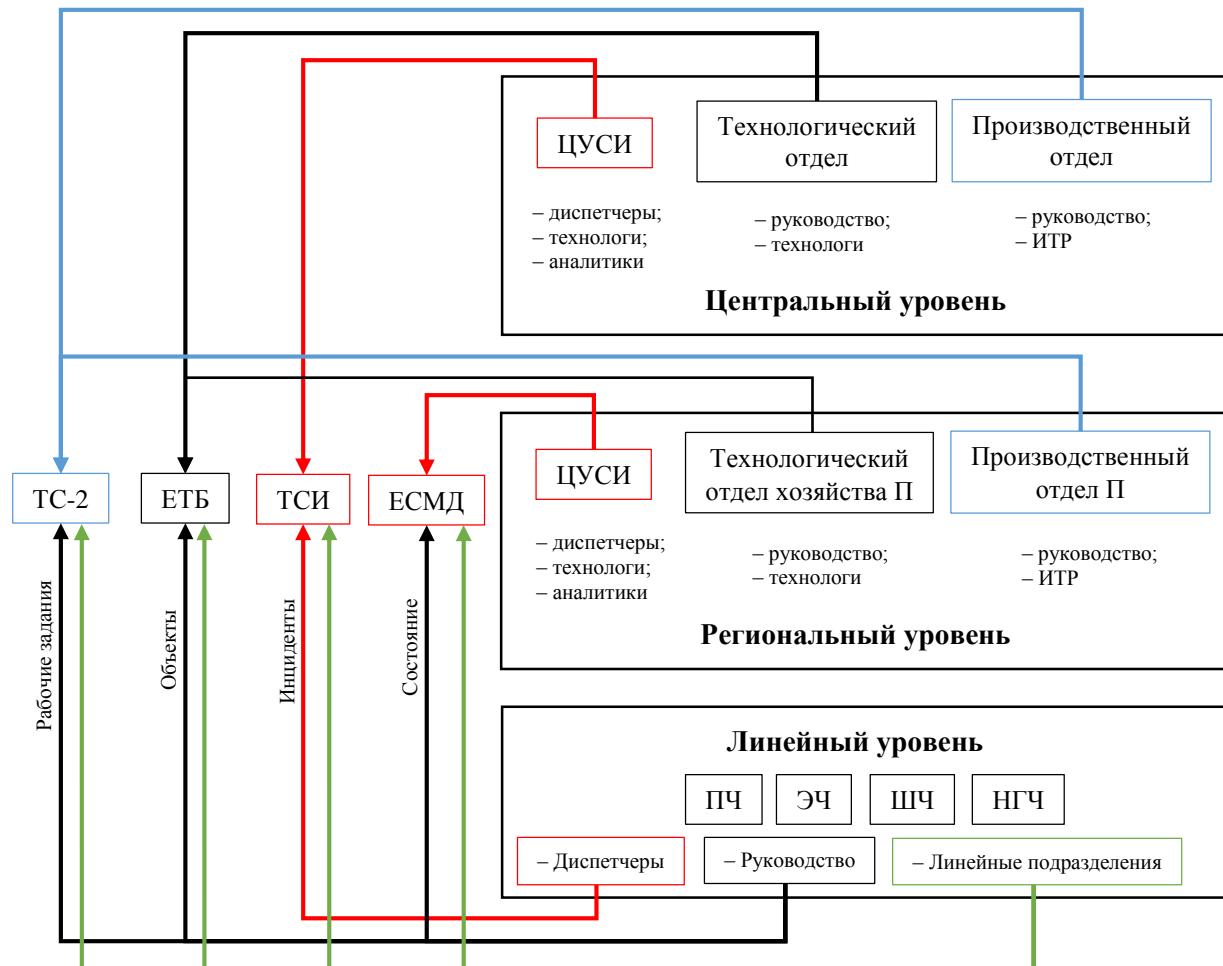


Рис. 1. Структура ЕК АСУИ

– подсистема формирования показателей нормативно-целевого бюджета – НЦБ;

– «Рельсовая книга»;

– ведение комиссионных месячных осмотров – КМО;

– «Мобильное рабочее место» – МРМ и др.

На сегодняшний день ЕК АСУИ применяется во всех структурных подразделениях дирекций инфраструктуры и путевых машинных станций. В системе работает более 27 тыс. пользователей и хранится информация по 20 млн объектов инфраструктуры.

ЕК АСУИ функционирует на платформе импортного программного обеспечения. Текущий уровень автоматизации бизнес-процессов в данной системе является недостаточным, так как не позволяет исключить влияние человеческого фактора на эффективность выполнения работ, из-за чего имеется ряд проблем:

1. Отправка данных (задания) на работу путевых машин производится не программным обеспечением, а непосредственно руководителем работ.

2. Внесение данных о выполненных работах осуществляется работником.

3. Какую технику отправлять на определенный тип работ, решает руководитель, так как регламентами и программой это не определяется.

4. Качество выполненных работ и выставляемая оценка после окончания окна устанавливаются по усмотрению руководителя работ.

5. Программа не определяет экономическую целесообразность применения разных видов машин для одних и тех же работ.

6. Программное обеспечение не учитывает сроки транспортировки машин и затраты на транспортировку.

7. ЕК АСУИ игнорирует выпуск машин без надобности.

8. В системе в автоматическом режиме отсутствуют данные о заправке и остатках топлива машин.

Таким образом, помимо перехода на отечественное программное обеспечение, требуется дополнительная автоматизация основных и вспомогательных бизнес-процессов, а также

приведение технологии управления объектами железнодорожной инфраструктуры к типовой.

С 2018 г. в ОАО «РЖД» поэтапно реализуется план мероприятий, направленных на преимущественное использование отечественного программного обеспечения. Ввиду необходимости мероприятий по импортозамещению проводится реинжиниринг существующего функционала с внедрением новых автоматизированных и автоматических функций, сокращающих влияние человеческого фактора при управлении инфраструктурой ОАО «РЖД». Вместе с этим необходимо принимать во внимание требование об использовании новых принципов управления производственными активами, в том числе ресурсно-сервисной модели, инструментов оптимизационно-имитационного моделирования работ по содержанию объектов инфраструктуры хозяйства пути, инструментов, обеспечивающих автоматическое планирование и адресное назначение работ, инструментов автоматического интеллектуального контроля выполнения работ и инструментов автоматического формирования учетных форм.

Инструменты оптимизационно-имитационного моделирования работ по содержанию объектов инфраструктуры хозяйства пути учитывают ресурсно-сервисную модель инфраструктуры; вариантность технологий и методов моделирования для поиска оптимальных, с учетом различных критериев, планов на разный период времени с определением потребности в ресурсах; динамику изменений данных по объектам и ресурсам.

Инструменты, обеспечивающие автоматическое планирование и адресное назначение работ, должны учитывать наличие и потребности в ресурсах, иерархизацию работ с учетом технического состояния объектов и влияния на качество предоставляемой услуги.

Инструменты автоматического интеллектуального контроля определяют выполнение работ с учетом требований к технологии их производства и обеспеченности необходимыми ресурсами.

Инструменты автоматического формирования оперативной, периодической отчетности и других учетных форм исключают возможность корректировки вручную.

Стратегия цифровизации ОАО «РЖД» подразумевает создание восьми цифровых

платформ для управления ключевыми сферами деятельности холдинга, например: «Мультимодальные пассажирские перевозки» или «Тяговый подвижной состав». Система АСУ ПА ЦДРП относится к цифровой платформе «Оператор линейной инфраструктуры», предназначеннной для управления жизненным циклом всей железнодорожной инфраструктуры [5].

АСУ ПА ЦДРП предназначена для создания цифровой модели путевой кампании: в ней аккумулируются все сведения о подготовке, производстве и результатах ремонта. Благодаря автоматизации технологических процессов минимизируется влияние человеческого фактора, а также появляется возможность отслеживать процесс ремонта в режиме «здесь и сейчас», а не постфактум и, соответственно, принимать оперативные меры [6].

В системе отображаются бизнес-процессы ремонта, а также подготовки к нему. Например, данные о наличии материалов (в каком объеме поступил щебень, скрепления верхнего строения пути, рельсошпальная решетка и т. д.); о том, готова ли тяжелая путевая техника и специальный подвижной состав приписки путевых машинных станций (ПМС); сведения об оснащенности производственных баз и многое другое.

Сейчас с АСУ ПА ЦДРП интегрированы:

- ЕС ПУЛ – отображает статус и наработку специального подвижного состава;
- АСУ ПА ЦДИМ – график работы путевых машин;
- ЕК АСУИ – формирование проекта титула ремонта пути, его утверждение и передача титульных участков;
- ЕК АСУТР – организационно-штатная структура – рабочий контингент;
- АС АПВО – планирование, согласование и выполнение «окон»;
- АС КРСПС – режимы и период работы специального подвижного состава;
- ЕК АСУФР – склады, материалы и их списание;
- АСУ СПС – допуск к работе бригад и единиц СПС.

Благодаря внедрению перечисленных систем реализована функциональность системы: количественная и пономерная привязка локомотивов к фронтам работ и конкретным «окнам», планирование транспортировки и подвода хо-

зяйственных поездов с баз путевых машинных станций на «окно» и после «окна» обратно на базу, передислокация путевой техники, расчет оптимальной продолжительности и количества «окон», расчет потребности в дополнительных «окнах» и ресурсов для выполнения работ в связи с отменами, срывами, отказами от «окон» и невыполнением плановой выработки в предоставленные «окна» и т. д.

В итоге АСУ ПА ЦДРП сама выстраивает поминутно-пооперационные графики, а также рассчитывает график выполнения ремонта на всю летнюю путевую кампанию. Система фиксирует время и место работы персонала ПМС и рассчитывает, чтобы один перегон не «наложился» по времени работы на другой, а у работников было время для передислокации. Таким образом, за несколько месяцев до начала сезона работники получают электронный директивный план-график, который до этого создавался вручную [7].

Для автоматизации процесса управления производственными активами в части машин и механизмов в рамках внедрения АСУ ПА ЦДРП была реализована система АСУ ПА ЦДИМ [8].

Основными задачами данной системы являются:

- ввод данных по СПС, линейному оборудованию СПС, средствам малой механизации (СММ) и их основным узлам и агрегатам, а также по оснащенности структурных подразделений ДПМ станками, инструментом и материалами;
- расчет необходимого объема ресурсов (запчастей, материалов, трудовых и других ресурсов) для обеспечения путевых работ с использованием СПС и СММ, а также программы ремонта СПС, линейного оборудования и СММ;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) СПС и СММ, линейного оборудования;
- контроль расходов на этапах жизненного цикла СПС и СММ;
- информационное взаимодействие с компонентами, модулями и подсистемами существующих автоматизированных систем ОАО «РЖД».

Результаты анализа

В настоящее время разрабатывается Автоматизированная система управления производственными активами Центральной дирек-

ции инфраструктуры (АСУ ПА ЦДИ), которая предназначена для обеспечения сотрудников ЦДИ инструментами планирования и оценки эффективности деятельности ЦДИ, автоматического контроля выполнения работ с соблюдением требований к технологии их производства и обеспеченности всеми необходимыми ресурсами, автоматического формирования оперативной и периодической отчетности.

Развитие АСУ ПА ЦДИ подразумевает расширение функциональности, а именно: повышение эффективности производственной деятельности подразделений инфраструктуры; сокращение непроизводительных затрат и накладного времени при текущем содержании и ремонте инфраструктуры; снижение трудоемкости планирования и контроля выполнения работ на объектах инфраструктуры; формирование отчетов и учетных форм.

В настоящее время проводится работа по полной оцифровке данных о качестве выполняемых работ в ОАО «РЖД». Ранее этот процесс осуществлялся при помощи ЕК АСУИ, но из-за невозможности дальнейшего расширения ее функционала и внедрения дополнительных систем началась разработка АСУ ПА ЦДРП. Максимальное объединение систем и обработку получаемых от них данных должна обеспечить АСУ ПА ЦДИ.

Также параллельно производится оцифровка не только механизмов взаимодействия для анализа качества выполняемых работ, но и данных работы непосредственно путевых машин, задействованных напрямую в обеспечении качества выполняемых в ОАО «РЖД» работ. Для этого применяется Автоматизированная система контроля над работой специального подвижного состава (АС КРСПС).

АС КРСПС предназначена для контроля и регистрации технологических характеристик СПС с возможностью передачи информации в Автоматизированную систему управления процессами эксплуатации и обслуживания специального подвижного состава с использованием системы ГЛОНАСС/GPS и каналов GSM/GPRS [9].

АС КРСПС встроена во внутренние системы диагностики путевых машин, за счет этого она получает и обрабатывает данные о времени и месте работы, скорости движения, пробеге, оборотах двигателя, расходе топлива, давлении масла, напряжении и силе тока в

бортовой сети, а также об объемах и качестве выполненных работ. Информация поступает в систему с бортовых датчиков и подсистем, входящих в состав оборудования машин, а также с подключаемых специализированных датчиков [10]. В Сибирском государственном университете путей сообщения ранее велась работа по дооснащению системы АС КРСПС специальными датчиками: ультразвуковых измерений объема убранного снега [11], защиты оборудования снегоуборочных машин [12], частоты оборотов вала подбивочного блока машины DUOMATIC 09-32 [13], частоты блока динамической стабилизации пути машин ДСП и определения плотности балластной призмы [14].

Для важнейших контролируемых параметров заданы диапазоны допустимых значений. Если имеет место отклонение от заданных значений, то автоматически происходит заполнение параметров маршрутных листов и передача их в Автоматизированную систему управления эксплуатацией специального подвижного состава.

Ранее на базе ПЧМ Новосибирск Западно-Сибирской железной дороги проводились исследования по использованию данных, полученных при помощи АС КРСПС, для принятия оперативных управленческих решений с целью повышения эффективности работы снегоуборочных машин типа СМ и ПСС. В результате анализа данных доказано, что воз-

можно исключить приписки в наработке снегоуборочных машин. Это, в свою очередь, увеличивает сроки между ТО, экономит средства на проведение ТО и топливо от порожних рейсов, увеличивает время работы машин, исключает нецелесообразное использование техники [15]. Кроме того, возможности АС КРСПС по расширению функционала таковы, что позволяют интегрироваться с любыми современными бортовыми системами СПС: приборами безопасности, системами управления и внутренней диагностики узлов и агрегатов, контроля расхода топлива, громкоговорящего оповещения, пожаротушения. Для этого достаточно обновить программное обеспечение системы.

В настоящее время взаимодействие работников ОАО «РЖД» происходит посредством программных комплексов (рис. 2), при взаимодействии которых наблюдается несогласованность действий. Так, система АС КРСПС производит сбор статистических данных о состоянии путевой машины, но передача данных в автоматическом режиме не происходит, они фиксируются человеком только при запросе, что не позволяет оперативно контролировать работу и состояние машины через общий программный комплекс.

После полноценного внедрения системы управления АСУ ПА ЦДИ структура взаимодействия должна измениться (рис. 3). Так, система АС КРСПС будет передавать собранную

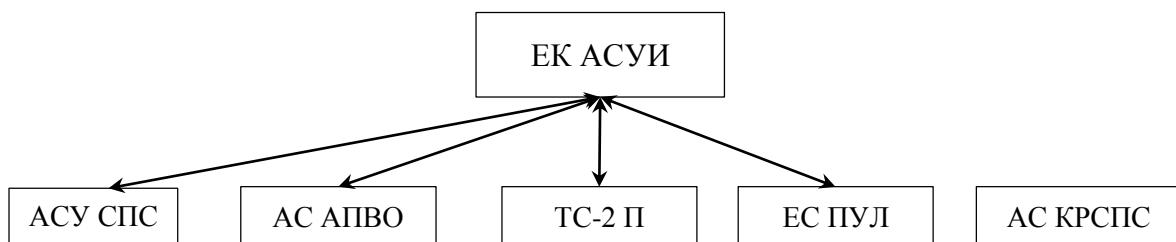


Рис. 2. Структура взаимодействия программных комплексов в настоящее время

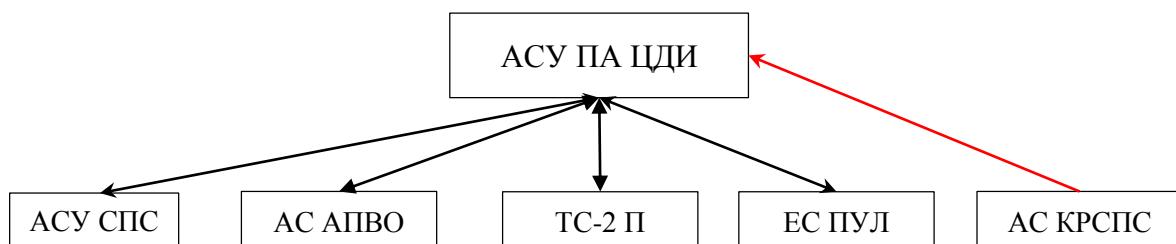


Рис. 3. Структура взаимодействия программных комплексов после внедрения АСУ ПА ЦДИ

информацию о работе машины в автоматическом режиме, а это позволит оперативно контролировать работу машин. Также будет устранена проблема передачи информации от руководителя работ (ПЧ, ПМС) к исполнителям (машинистам путевых машин – ПЧМ) и автоматизирован контроль над заданными параметрами работы путевых машин при выполнении работ.

Для устранения человеческого фактора в выдаче, передаче, занесении данных в программное обеспечение машин и оценке выполненных работ необходимо также обеспечить и прямую связь передачи данных с АСУ ПА ЦДИ в АС КРСПС, т. е. задания будут в автоматическом режиме загружаться в блоки управления машиной, а дополнительные датчики, установленные на рабочие органы машины, позволят оценить соответствие заданных и полученных параметров.

Выводы

В настоящее время в ОАО «РЖД» проводятся работы по внедрению систем контроля качества выполнения работ на всех уровнях. Программные комплексы АСУ ПА ЦДИ и АС КРСПС производят только сбор и анализ данных с путевых машин о количестве выполненных работ, но задание на выполнение работ бригадам путевых машин по-прежнему выдается руководителем работ, из-за чего могут происходить ошибки в технологии выполняемых работ. Далее эти ошибки могут увеличиваться при занесении машинистами данных в программное обеспечение машин. Сегодня при выполнении работ по ремонту железнодорожного пути ОАО «РЖД» сталкивается с проблемой увеличения стоимости работ в связи с внедрением более производительной техники, которая имеет значительную стоимость: каждый выезд машины увеличивает стоимость выполняемых работ. Также из-за несоблюдения технологии выпол-

нения работ бригадами машин или некорректно предоставленного им задания современные путевые машины могут оказаться в незапланированном ремонте, что приведет к срыву графика работ и удорожанию выполняемых работ. Для повышения качества и эффективности выполняемых путевыми машинами работ необходимо устранить человеческий фактор из процессов планирования, учета и внесения данных в программное обеспечение машин.

Ранее проведенные исследования выявили проблемы взаимодействия между различными службами, заключающиеся в отсутствии взаимной заинтересованности в эффективном использовании техники, исключающем ее холостые простоя в «горячем состоянии», а также нерациональное применение машин при отсутствии объема работ, необходимого для их нормативной загрузки. Эти обстоятельства усугубляются недостаточностью нормативных актов, обеспечивающих точный порядок действий каждой службы по взаимодействию со смежными структурами при выполнении работ, особенно путевыми машинами, что также влияет на эффективность и оперативность работ.

Для устранения указанных проблем предлагается расширить функции системы АС КРСПС за счет внедрения технических и технологических решений, исключающих человеческий фактор из процессов планирования. Данные решения позволяют получать данные для работы машины с АСУ ПА ЦДИ и производить их контроль в режиме реального времени без участия человека. Разработка и внедрение новой структуры программных комплексов с двухсторонним взаимодействием АСУ ПА ЦДИ и АС КРСПС при получении информации позволит не допустить отклонения от необходимых параметров воздействия машин на железнодорожный путь в процессе работы путевой машины и повысит качество выполняемых работ.

Список источников

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года : (Белая книга) : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018. URL: http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/belya_kniga.pdf (дата обращения: 27.01.2025).
2. Целищев В. А., Морощова К. С. Интерактивное методическое пособие для изучения инженерно-техническим составом специализированного программного обеспечения ЕК АСУИ // Молодая наука Сибири. 2021. № 1 (11). URL: <https://mnv.irkups.ru/interaktivnoe-metodicheskoe-posobie-dlya-izucheniya-inzhenerno-tehnicheskim-sostavom> (дата обращения: 27.01.2025).
3. ЕК АСУИ РЖД : что это. URL: <https://chistoug.ru/articles/ekasui-rzhd-chto-eto.html> (дата обращения: 27.01.2025).

4. АСУ путевое хозяйство. URL: https://91d70997c40a.sn.mynetname.net/pluginfile.php/10916/mod_resource/content/1/ACU%20путевого%20хозяйства.pdf (дата обращения: 27.01.2025).
5. Шамраева Т. А., Сидраков А. А. Автоматизация процессов бюджетирования в структуре производственной деятельности ЦДРП ОАО «РЖД» // Аспирантские чтения. 2021. № 4. С. 299–303.
6. Тукмакова О. В., Пикалов А. С. Разработка автоматизированной системы управления производственными активами // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 1. С. 4–6.
7. Ремонт пути в онлайн-режиме // Гудок. 2022. № 75 (16). URL: <https://gudok.ru/zdr/169/?ID=1602087> (дата обращения: 27.01.2025).
8. Развитие автоматизированной системы управления производственными активами Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД». Очередь 2019-1 (АСУ ПА ЦДРП Очередь 2019-1). Разработка функционала управления производственными активами в части машин и механизмов : Руководство пользователя 45185209.18900.103.И3.01. Москва, 2020. 135 с.
9. Автоматизированная система контроля за работой специального подвижного состава. URL: <https://sps.gis.ru.net/> (дата обращения: 27.01.2025).
10. Ададуров А. С. Автоматизированная система контроля за работой специального подвижного состава // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». 2016. № 6. С. 29–35.
11. Абрамов А. Д., Семенов М. А., Кочетков А. С. Оптимизация рабочего процесса снегоуборочной техники на основе автоматизированного мониторинга // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 4. С. 37–40.
12. Абрамов А. Д., Кочергин В. И., Семенов М. А. Дооснащение снегоуборочных машин устройствами автоматизированного мониторинга // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 1. С. 32–33.
13. Манаков А. Л., Коларж С. А. Разработка аппаратной части системы мониторинга технического состояния путевой машины DUOMATIC 09-32 // Транспорт Урала. 2017. № 1 (52). С. 57–60.
14. The Stabilization Control of the Railroad Track / A. Manakov, A. Abramov, A. Ilinykh [et al.] // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 61 (3). P. 681–690.
15. Абрамов А. Д., Семенов М. А. Совершенствование рабочего процесса уборки снега от внедрения мероприятий по оптимизации структуры затрат // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2 (54). С. 117–127.

References

1. Strategy for scientific and technological development of the Russian Railways holding company for the period up to 2025 and for the future up to 2030 (White Paper). Approved by order of Russian Railways No. 769/r dated 17.04.2018. (In Russ.). URL: http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/belya_kniga.pdf.
2. Tselischev V. A., Moroshchova K. S. Interactive methodological manual for studying specialized software of the EC ASUI by engineering and technical staff. *Young Science of Siberia: electronic scientific journal*. 2021;(11). (In Russ.). URL: <https://mnv.irgups.ru/interaktivnoe-metodicheskoe-posobie-dlya-izucheniya-inzhenerno-tehnicheskim-sostavom>.
3. EK ASUI RZhD what is it. (In Russ.). URL: <https://chistoug.ru/articles/ekasui-rzhd-chto-eto.html>.
4. ASU track facilities. (In Russ.). URL: https://91d70997c40a.sn.mynetname.net/pluginfile.php/10916/mod_resource/content/1/ACU%20путевого%20хозяйства.pdf.
5. Shamraeva T. A., Sidrakov A. A. Automation of budgeting processes in the structure of production activities of the Central Directorate for Track Repairs of Russian Railways. *Postgraduate Readings*. 2021;(4):299–303. (In Russ.).
6. Tukmakova O. V., Pikalov A. S. Development of an automated system for managing production assets. *Track and Track Facilities*. 2021;(1):4–6. (In Russ.).
7. Track repair in online mode. *Gudok*. 2022;75(16). (In Russ.). URL: <https://gudok.ru/zdr/169/?ID=1602087>.
8. User manual 45185209.18900.103.I3.01. Development of an automated system for managing production assets of the Central Directorate for Track Repairs – a branch of Russian Railways. Queue 2019-1 (ASU PA CDRP Queue 2019-1) Development of functionality for managing production assets in terms of machines and mechanisms. Moscow; 2020. 135 p. (In Russ.).
9. Automated system for monitoring the operation of special rolling stock. (In Russ.). URL: <https://sps.gis.ru.net/>.
10. Adadurov A. S. Automated system for monitoring the operation of special rolling stock. *Bulletin of the OUS of Russian Railways*. 2016;(6):29–35. (In Russ.).
11. Abramov A. D., Semenov M. A., Kochetkov A. S. Optimization of the work process of snow removal equipment based on automated monitoring. *Track and Track Facilities*. 2021;(4):37–40. (In Russ.).
12. Abramov A. D., Kochergin V. I., Semenov M. A. Retrofitting snow removal machines with automated monitoring devices. *Track and Track Facilities*. 2024;(1):32–33. (In Russ.).
13. Manakov A. L., Kolarzh S. A. Development of the hardware part of the DUOMATIC 09-32 track machine technical condition monitoring system. *Transport of the Urals*. 2017;(52):57–60. (In Russ.).

14. Manakov A., Abramov A., Ilinykh A. [et al.]. The Stabilization Control of the Railroad Track. *Transportation Research Procedia*. 2022;61(3):681–690.
15. Abramov A. D., Semenov M. A. Improving the snow removal workflow from the implementation of measures to optimize the cost structure. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2022;(54):117–127. (In Russ.).

Информация об авторах

А. Д. Абрамов – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения.

М. А. Семенов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. D. Abramov – Doctor of Engineering, Professor of the Technology of Transport Engineering and Operation of Machines Department, Siberian Transport University.

M. A. Semenov – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Lifting, Transport, Track, Construction and Road Machinery Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 14.03.2025; принята к публикации 21.03.2025.

The article was submitted 06.02.2025; approved after reviewing 14.03.2025; accepted for publication 21.03.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 625.173
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_41

Оценка годности железобетонных шпал Ш1 для повторного применения

Дмитрий Валерьевич Величко^{1✉}, Валерий Валерьевич Заморин²

^{1,2} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ vdv.nsk@mail.ru[✉]

² valzam@inbox.ru

Аннотация. В статье представлена оценка остаточного ресурса железобетонных шпал с истекшим первым сроком службы, для проведения которой были выбраны участки особогрузонапряженных направлений Западно-Сибирской железной дороги за период 2014–2023 гг. с наработкой тоннажа более 1 000 млн т на момент проведения капитального ремонта.

Проведена оценка годности железобетонных шпал, демонтированных с участков Транссибирской (43 участка: I путь – 31 шт.; II путь – 12 шт.) и Среднесибирской магистралей (32 участка: I путь – 28 шт.; II путь – 4 шт.) ЗСДИ для повторного применения. Для этих участков были рассмотрены ведомости переборки старогодной путевой решетки с железобетонными шпалами Ш1 для промежуточных рельсовых скреплений типа КБ65, проводимой на базе ряда путевых машинных станций ЗСДРП.

Получены зависимости изменения доли годности железобетонных шпал Ш1 с отечественной схемой армирования (44 × 3 мм) от продолжительности их первого срока службы (1 000 – 1 600 млн т) в особогрузонапряженных условиях.

Определена средняя доля годности железобетонных шпал: по Транссибирской магистрали средний процент годности железобетонных шпал составил для I пути – 67,4 %, для II пути – 59,5 % при средней наработке тоннажа около 1 250 млн т; по Среднесибирской магистрали – для I пути – 59,3 % и для II пути 79 % при средней наработке тоннажа около 1 280 млн т.

Рассчитана средняя интенсивность снижения годности железобетонных шпал: по Транссибирской магистрали для I пути – 4–7 % на 100 млн т в интервале 1 100–1 400 млн т; по Среднесибирской магистрали для I пути – 4–5 % на 100 млн т в интервале 1 300–1 600 млн т.

Ключевые слова: железнодорожный путь, железобетонные шпалы, оценка дефектности, остаточный ресурс, пропущенный тоннаж, срок службы

Для цитирования: Величко Д. В., Заморин В. В. Оценка годности железобетонных шпал Ш1 для повторного применения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 41–46. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_41.

TRANSPORT

Original article

Assessing the suitability of reusing reinforced concrete sleepers Sh1

Dmitriy V. Velichko^{1✉}, Valeriy V. Zamorin²

^{1,2} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ vdv.nsk@mail.ru[✉]

² valzam@inbox.ru

Abstract. The article presents an assessment of the residual life of reinforced concrete sleepers that have served their first term of service; sections from particularly busy routes of the West Siberian Railway for the period 2014–2023 with a tonnage of more than 1,000 million tons at the time of major repairs were selected.

The assessing the suitability of reinforced concrete sleepers dismantled from sections of the Trans-Siberian (43 sections: track I – 31 pcs.; track II – 12 pcs.) and Central Siberian Railways (32 sections: track I – 28 pcs.; track II – 4 pcs.) ZSDI for reuse was made. For these sections, the overhaul statements of the old track grid with reinforced concrete sleepers Sh1 for intermediate rail fastenings of the KB65 type, carried out on the basis of a number of track machine stations of the ZSDRP, were considered.

Dependences of the change in the serviceability share of reinforced concrete sleepers Sh1 with a domestic reinforcement scheme (44 × 3 mm) on the duration of their first service life (1 000–1 600 million tons) in especially heavy-duty conditions have been obtained.

The average serviceability share of reinforced concrete sleepers along the Trans-Siberian Railway was determined; the average serviceability percentage of reinforced concrete sleepers was 67.4 % for track I and 59.5 % for track II, with an average tonnage of about 1 250 million tons; on the Central Siberian Railway – for track I – 59.3 % and for track II – 79 % with an average tonnage production of about 1 280 million tons.

The average intensity of the reduction in the serviceability of reinforced concrete sleepers was calculated: on the Trans-Siberian Railway for track I – 4–7 % / 100 million tons, in the range of 1 100–1 400 million tons, on the Central Siberian Railway for track I – 4–5 % / 100 million tons, in the range of 1 300–1 600 million tons.

Keywords: railway track, reinforced concrete sleepers, defect assessment, residual resource, missed tonnage, service life

For citation: Velichko D. V., Zamorin V. V. Assessing the suitability of reusing reinforced concrete sleepers Sh1. *The Siberian Transport University Bulletin.* 2025;(74):41–46. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_41.

Введение

Существующие отечественные железобетонные шпалы достаточно надежны (расчеты на срок службы 50 лет), чтобы обеспечивать надежность железнодорожного пути в целом в период первого срока своей службы, т. е. в период между смежными капитальными ремонтами пути [1–6].

Наиболее распространенной конструкцией шпалы является Ш1 – 50 % от общего количества железобетонных шпал РЖД. По оценке состояния старогодных железобетонных шпал, демонтированных на ЗСДИ, с учетом малого объема одиночной замены железобетонных шпал Ш1 при текущем содержании пути, общая доля дефектности в среднем находится в пределах 1–3 % и не превышает 5–6 % после пропуска 1 млрд т бр.

В настоящее время нормативными документами ОАО «РЖД» [3–7] регламентируется использование на малодеятельных линиях и на станциях (3–5-й пути) снятой старогодной рельсошпальной решетки после необходимой ее переборки и ремонта на базах путевых машинных станций (ПМС). Перед повторным использованием старогодных железобетонных шпал возникает необходимость определения их остаточного ресурса.

В соответствии с Инструкцией по применению старогодных материалов верхнего строения пути [7] критериями годности к повторному применению старогодных железобетонных шпал, независимо от их марки и сорта, являются: отсутствие продольных или поперечных трещин в бетоне шпалы и бруса; отсутствие околов бетона на кромках подрельсовых площадок и на прочих кромках шпалы и бруса установленной глубины и ширины; отсутствие дефектов в отверстиях для закладных болтов, приводящих к его прокручиванию; величина вогнутости подрельсовой площадки; отсутствие разрушения и деформации дюбеля или головки анкера.

В связи с этим остаточный ресурс железобетонных шпал невозможно достоверно определить в полевых условиях при текущем содержании, это осуществимо только по результатам всестороннего обследования шпал (на базах ПМС) снятой после капитального ремонта рельсошпальной решетки.

Материалы и методы исследования

Для оценки состояния железобетонных шпал пути, первый срок службы которых истек, были выбраны участки особогрузонапряженных направлений Западно-Сибирской железной дороги за период 2014–2023 гг. с наработкой тоннажа более 1 000 млн т на момент проведения капитального ремонта.

Были проанализированы 43 участка (I путь – 31 шт.; II путь – 12 шт.) Транссибирской и 32 участка (I путь – 28 шт.; II путь – 4 шт.) Среднесибирской магистралей. Для этих участков рассмотрены ведомости переборки старогодной путевой решетки, проводимой на базе ряда ПМС ЗСДРП.

К учету принимались данные по переборке старогодной рельсошпальной решетки с железобетонными шпалами Ш1 для промежуточных рельсовых скреплений типа КБ65. Получены данные об остаточном ресурсе наиболее долговечного элемента верхнего строения пути – железобетонных шпал.

Результаты исследования

По результатам анализа параметров переборки рельсошпальной решетки, демонтированной с 75 участков, для двух магистралей Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры получены показатели годности железобетонных шпал (таблица).

Графики общего распределения данных о годности железобетонных шпал после переборки путевой решетки приведены на рис. 1.

Ведомость годности шпал пути после переборки снятой путевой решетки

Номер участка	Перегон	Номер пути	Тоннаж, млн т	Шпалы, %	
				годные	негодные
<i>Транссибирская магистраль</i>					
1	Ко – Ка	1	1 280	66,0	34,0
2	Те – б/п	1	1 213	68,0	32,0
...
31	Ки – Ба	1	1 221	77,0	23,0
<i>Среднее по 1-му пути</i>				67,4	32,6
1	Об – Чи	2	1 092	48,0	52,0
2	Уб – б/п	2	1 280	50,0	50,0
...
12	Ча – Ка	2	1 275	69,0	31,0
<i>Среднее по 2-му пути</i>				59,5	40,5
<i>Среднесибирская магистраль</i>					
1	Кр – Ха	1	1 510	62,3	37,7
2	Св – Ка	1	1 430	59,8	40,2
...
28	Ря – Ла	1	1 265	67,3	32,7
<i>Среднее по 1-му пути</i>				59,3	40,7
1	Ст – Фа	2	1 280	57,2	42,8
2	Ка – Та	2	1 280	86,3	13,7
...
4	Па – Св	2	1 250	82,8	17,2
<i>Среднее по 2-му пути</i>				79,0	21,0

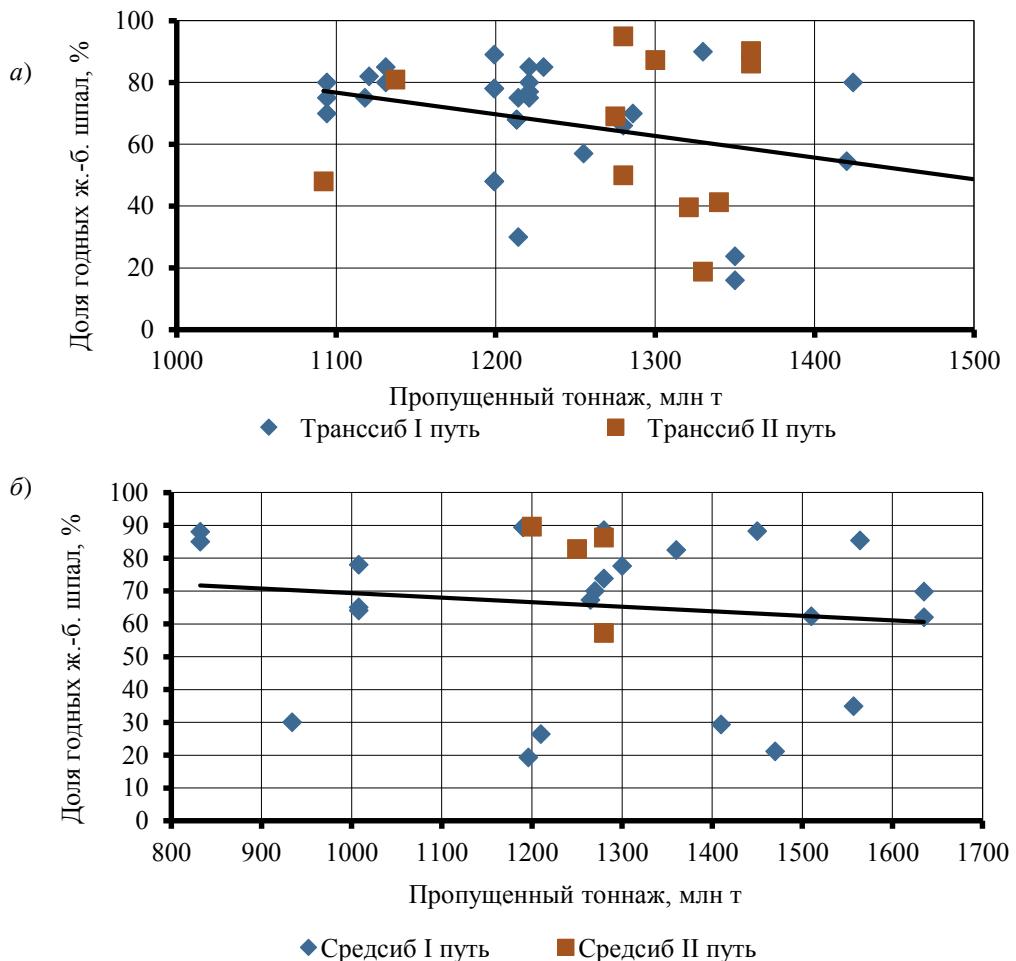


Рис. 1. Графики годности железобетонных шпал после переборки путевой решетки:
а – Транссибирская магистраль; б – Среднесибирская магистраль

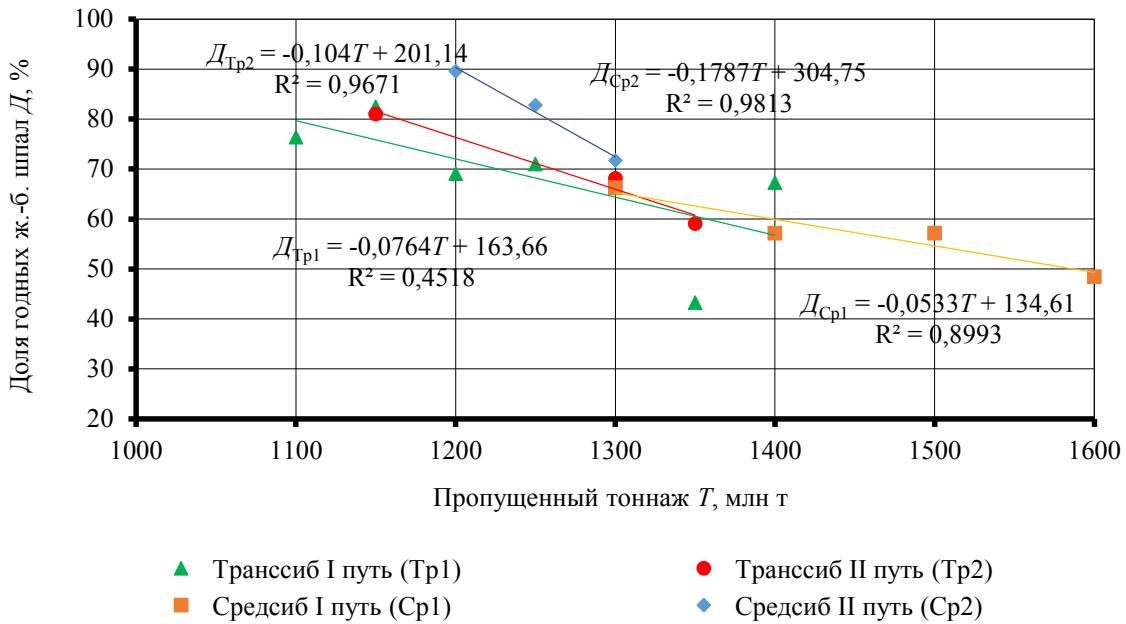


Рис. 2. Сводные графики оценки годности железобетонных шпал

Средний процент годности шпал по Транссибирской магистрали – 60–67 % при средней наработке тоннажа около 1 250 млн т; по Среднесибирской магистрали – 59–79 % при средней наработке тоннажа около 1 280 млн т.

На Транссибирской магистрали средний процент годности железобетонных шпал Ш1 составил для I главного пути – 67,4 % (16–90 %) и для II пути – 59,5 % (11–89 %); на Среднесибирской магистрали – для I пути – 59,3 % (19–95 %) и для II пути – 79 % (57–90 %). Высокий показатель годности шпал по II пути Среднесибирской магистрали связан со спецификой преобладания движения порожних грузовых поездов.

Сводные графики зависимости доли годности железобетонных шпал после переборки путевой решетки от срока службы для наиболее часто встречающихся интервалов пропущенного тоннажа приведены на рис. 2.

По данным рис. 2, средняя интенсивность снижения годности железобетонных шпал по Транссибирской магистрали: для I пути – 4–7 % на 100 млн т в интервале 1 100–1 400 млн т; по Среднесибирской магистрали: для I пути – 4–5 % на 100 млн т в интервале 1 300–1 600 млн т.

Современные железобетонные шпалы Ш1 сохраняют свою функциональность и устойчивость в течение длительного периода службы, что подтверждается высоким процентом их годности после многолетней эксплуатации в особо грузонапряженных условиях ЗСДИ.

При дальнейшем перспективном увеличении нормативного уровня первого срока службы пути важно подбирать усиленные конструкции и элементы железнодорожного пути, в том числе железобетонные шпалы (качество материалов, армирование), учитывая особенности роста эксплуатационных параметров. Для увеличения продолжительности службы железобетонных шпал следует не только применять усиленное армирование для сложных эксплуатационных условий, но и учитывать необходимый уровень остаточного ресурса старогодных железобетонных шпал для их укладки на пути 3–5-го классов [8–10].

Выводы

1. Рассмотрены показатели переборки путевой решетки после капитальных ремонтов пути, составлены графики годности железобетонных шпал по Транссибирской (43 участка) и Среднесибирской магистралям (32 участка). Получены зависимости изменения доли годности железобетонных шпал от продолжительности их первого срока службы. На обоих направлениях наблюдается высокая доля годности железобетонных шпал Ш1 для повторной укладки на пути 3–5-го классов.

2. Средняя доля годности железобетонных шпал по Транссибирской магистрали – 60–67 % при средней наработке тоннажа путевой решетки в 1 250 млн т, по Среднесибирской маги-

стали – 59–79 % при средней наработке тоннажа путевой решетки в 1 280 млн т.

По Транссибирской магистрали средний процент годности железобетонных шпал составил для I пути – 67,4 % и для II пути – 59,5 %; по Среднесибирской магистрали – для I пути – 59,3 % и для II пути – 79 %.

Средняя интенсивность снижения годности железобетонных шпал по Транссибирской магистрали: для I пути – 4–7 % на 100 млн т в интервале 1 100–1 400 млн т; по Среднесибирской магистрали для I пути – 4–5 % на 100 млн т в интервале 1 300–1 600 млн т.

3. Железобетонные шпалы Ш1 с отечественной схемой армирования (44 × 3 мм) подтверждают свою долговечность в течение длитель-

ного периода эксплуатации (1–1,6 млрд т) в современных особогрузонапряженных условиях эксплуатации.

Для дальнейшего увеличения продолжительности службы железнодорожного пути (1,5–2,5 млрд т), в том числе и железобетонных шпал различных типов, подтипов и вариантов армирования, требуется не только обоснованное применение усиленной конструкции шпал для сложных перспективных эксплуатационных условий (тяжеловесное движение поездов, осевые нагрузки более 270 кН/ось), но и учет необходимого уровня остаточного ресурса старогодных железобетонных шпал для их укладки в пути 3–5-го классов.

Список источников

1. Золотарский А. Ф., Евдокимов Б. А., Исаев Н. М. Железобетонные шпалы для рельсового пути. Москва : Транспорт, 1980. 270 с.
2. ГОСТ 33320–2015. Шпалы железобетонные для железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Москва : Стандартинформ, 2016. 31 с.
3. Инструкция по ведению шпального хозяйства с железобетонными шпалами : утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 22.08.2022 № 2183/р. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: www.consultant.ru (дата обращения: 20.02.2025).
4. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути : утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2888/р от 17.12.2021. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: www.consultant.ru (дата обращения: 20.02.2025).
5. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 : редакция от 21.01.2015. Москва, 2015. 225 с.
6. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288/р. Москва : ОАО «РЖД», 2016. 286 с.
7. Инструкция по применению старогодных материалов верхнего строения пути : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 23.11.2016 № 2370р. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: www.consultant.ru (дата обращения: 04.03.2025).
8. Величко Д. В., Пикалов А. С. Система рационального использования железобетонных шпал // Транспорт Урала. 2010. № 3. С. 93–97.
9. Горбунов Н. Н., Величко Д. В. Адаптация производства железобетонных шпал современным требованиям // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 3. С. 71–74.
10. Экономичное армирование железобетонной шпалы / С. А. Косенко, Д. В. Величко, С. В. Богданович [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2. С. 67–76.

References

1. Zolotarsky A. F., Evdokimov B. A., Isaev N. M. Reinforced concrete sleepers for rail tracks. Moscow: Transport; 1980. 270 p. (In Russ.).
2. GOST 33320–2015. Reinforced concrete sleepers for railways of 1520 mm gauge. General technical conditions. Moscow: Standartinform; 2016. 31 p. (In Russ.).
3. Instructions for the management of a sleeper farm with reinforced concrete sleepers. Approved by the Government of the Russian Federation. By Order of Russian Railways dated 22.08.2022 No. 2183/p. (In Russ.). URL: www.consultant.ru
4. Rules for the appointment of railway track repairs. Approved by Resolution of Russian Railways No. 2888/r dated 17.12.2021. (In Russ.).
5. Technical conditions for the reconstruction (modernization) and repair of the railway track. Approved by the Order of Russian Railways No. 75r dated 18.01.2013, revised on 21.01.2015. Moscow; 2015. 225 p. (In Russ.).

6. Instructions for the current maintenance of the railway track . Approved by Russian Railways dated 14.11.2016, No. 2288/R. Moscow: Russian Railways; 2016. 286 p. (In Russ.).
7. Instructions for the use of old-fashioned materials for the upper structure of the track. Approved by the Russian Railways dated 23.11.2016 No. 2370p. (In Russ.). URL: www.consultant.ru.
8. Velichko D. V., Pikalov A. S. The system of rational use of reinforced concrete sleepers. *Transport of the Urals*. 2010;(3):93–97. (In Russ.).
9. Gorbunov N. N., Velichko D. V. Adaptation of the reinforced concrete sleepers production to modern requirements. *Scientific Problems of Transport in Siberia and the Far East*. 2014;(3):71–74. (In Russ.).
10. Kosenko S. A., Velichko D. V., Bogdanovich S. V. [et al.]. Economical reinforcement of reinforced concrete sleepers. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2022;(2):67–76. (In Russ.).

Информация об авторах

Д. В. Величко – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Сибирского государственного университета путей сообщения.

В. В. Заморин – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

D. V. Velichko – Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Track and Track Facility Department, Siberian Transport University.

V. V. Zamorin – Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Surveying, Design and Construction of Railways and Highways Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 25.03.2025; принята к публикации 27.03.2025.

The article was submitted 28.02.2025; approved after reviewing 25.03.2025; accepted for publication 27.03.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 625.097

doi 10.52170/1815-9265_2025_74_47

Производственно-территориальные особенности добычи, транспортировки и потребления российских углей: обзор и анализ

Елена Дмитриевна Псеровская^{1✉}, Наталья Борисовна Попова², Роман Андреевич Овчинников³

^{1,2,3} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ eldp-55@yandex.ru

² pnb1512@yandex.ru

³ roma.r1999@mail.ru

Аннотация. Статья представляет собой анализ имеющихся в открытых источниках статистических и экспертных сведений по добыче и транспортировке экспортных российских углей.

Цель настоящего исследования – установить, как в настоящее время изменилась структура грузопотоков углей и расстояние их перевозки, что позволит обосновать актуальность разработки и применения мероприятий по борьбе с выдуванием мелкодисперсных углей.

Материалы статьи получены путем статистического анализа информации по предмету исследования, а дальнейшее применение синтеза и индукции позволило систематизировать данные по характеристикам марочного и гранулометрического состава грузопотоков углей мелких фракций, экспортруемых в восточном направлении.

Результаты исследования могут быть использованы для обоснования применения соответствующих профилактических мероприятий по предотвращению потерь углей мелких фракций от выдувания с учетом специфики их физико-механических свойств и условий транспортировки конкретного грузоотправителя.

Ключевые слова: угледобывающее производство, мелкодисперсные сыпучие грузы, железнодорожные перевозки, внутренние перевозки, экспорт угля, инфраструктура транспортировки, угольные бассейны

Для цитирования: Псеровская Е. Д., Попова Н. Б., Овчинников Р. А. Производственно-территориальные особенности добычи, транспортировки и потребления российских углей: обзор и анализ // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 47–54. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_47.

TRANSPORT

Original article

Production and territorial features of production, transportation and consumption of Russian coal: review and analysis

Елена Д. Псеровская^{1✉}, Наталья Б. Попова², Роман А. Овчинников³

^{1,2,3} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ eldp-55@yandex.ru

² pnb1512@yandex.ru

³ roma.r1999@mail.ru

Abstract. The article provides analysis of statistical, literary, journalistic and other information on the extraction and transportation of Russian export coals.

The purpose of this study is to find out how the structure of coal cargo flows and the distance of their transportation have changed at present, which will substantiate the relevance of developing and applying measures to combat the blowing of fine coals.

The materials of the article were obtained by statistical analysis of information on the subject of the study, and the further application of synthesis and induction made it possible to systematize the data on the characteristics of the grade and granulometric composition of the cargo flows of exported fine-fraction coals in the eastern direction.

The results of the study can be used to justify the application of appropriate preventive measures to prevent the loss of fine coal fractions from blowing, taking into account the specific physical and mechanical properties and transportation conditions of coals of a particular shipper.

Keywords: coal mining, fine bulk cargo, rail transportation, domestic transportation, coal export, transportation infrastructure, coal-basins

For citation: Pserovskaya E. D., Popova N. B., Ovchinnikov R. A. Production and territorial features of production, transportation and consumption of Russian coal: review and analysis. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):47–54. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_47.

Введение

Угледобывающее производство в России является важным составным элементом работы Российской железных дорог, а в ряде случаев становится своеобразным триггером для развития инфраструктуры железных дорог: так, доля погрузки угля в общем ее объеме возросла в 2024 г. и составила 30,2 %, тогда как в 2023 г. она была равна 29,3 % [1]. Примером может служить увеличение поставок продукции добывающих производств в восточном направлении, в том числе и угля, вызвавшее развитие железных дорог азиатской части России или Восточного полигона железных дорог, что отражено в паспорте федерального проекта «Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона железных дорог», направленного на увеличение пропускной и провозной способностей железнодорожных магистралей Восточного полигона [2].

Ранее преобладающим направлением экспорта российского угля являлось западное, в котором перевозился уголь Кузнецкого, Минусинского (юг Красноярского края), Горловского (Новосибирская область), Канско-Ачинского бассейнов (Хакасия); спрос на внутреннем рынке снижался [3, с. 150]. Угли экспортировались, как правило, через порты Мурманска (Арктический бассейн), Усть-Луги (Балтийский бассейн), Туапсе (Черноморский бассейн), а также использовались порты стран Балтии и Украины. Другой путь экспортных поставок угля был расположен также через сухопутные (железнодорожно-автомобильные) пограничные переходы – с Казахстаном, Украиной, Беларусью и Финляндией [3]. В восточном направлении, как показано в работе [3, с. 151], помимо кузнецких углей, экспортировались южно-якутские, горловские, минусинские, а также угли Иркутской области, Республики Бурятия, Забайкальского края и канко-ачинские угли с юга Красноярского края.

Существенные ограничения пропускной способности не только сибирских железнодорожных магистралей, но и крупных перевалочных пунктов, вызванные диверсификацией грузопотоков экспортных углей, стали своеобразными предпосылками развития железнодорожной транспортной инфраструктуры.

Стремительное увеличение железнодорожных перевозок углей в восточном направлении должно учитывать и требования экологической эффективности, заключающейся в обеспечении сохранности перевозимых сыпучих грузов, особенно в условиях увеличения экспорта дорогих обогащенных мелкодисперсных углей, наиболее подверженных выдуванию в процессе перевозки [4–7]. Данные требования соответствуют определенным в Антикризисной программе угольной промышленности России важнейшим мерам по развитию данного сектора экономики – совершенствованию технологии перевозок угля. Более того, запланировано увеличение объемов экспорта российских углей в восточном направлении на 25 млн т и выше в сравнении с исходным планом экспорта российского железнодорожного перевозчика на 2025 г. [8].

Материалы и методы исследования

Полученная путем статистического анализа информация по предмету исследования отображена с применением табличных и графических способов. В свою очередь, дальнейшее исследование результатов путем синтеза и индукции позволило систематизировать данные по транспортировке углей мелких фракций в восточном направлении их экспорта.

Статистический анализ грузопотоков российских углей непосредственно от месторождений позволил выделить следующие особенности их транспортировки:

- южно-якутские каменные угли (Нерюнгринское месторождение, Алдано-Чульманский район Республики Якутия) практически в полном объеме вывозились и вывозятся за пределы региона ввиду того, что в регионе пока не развито metallurgическое производство; отмечены как внутрироссийские, так и экспортные поставки этих углей;

- иркутско-черемховские каменные угли (качественные, энергетического назначения) издавна добывались для внутреннего потребления; экспорт начал расти лишь в 2017 г., когда он составил 1,6 млн т;

- канко-ачинские бурые угли имеют низкую себестоимость, обусловленную способом добычи и условиями залегания пластов, и вос требованы на тепловых электростанциях пре-

имущественно уральских и сибирских регионов; экспорт этих бурых углей значительно увеличился (до 1,3 млн т) в 2017 г. за счет закупок Китая, при этом отмечается существенные трудности в их транспортировке ввиду большой их влажности и склонности к самовозгоранию;

– улуг-хемские коксующиеся угли (Республика Тыва) отличаются высоким качеством, имеются угли как коксующиеся, так и энергетические; вывоз осложнен отсутствием железнодорожного сообщения с Транссибирской магистралью, что также препятствует росту угледобычи;

– угли Таймырского бассейна (север Красноярского края) характеризуются значительными запасами и высоким качеством; в настоящее время практически не используются, но экспорт углей западного Таймыра имеет большие перспективы, так как месторождения находятся в непосредственной близости к морскому порту [3, с. 153].

Говоря о характеристиках грузопотоков углей по территории России, в первую очередь следует выделить зоны их зарождения, которые привязаны к соответствующим угольным бассейнам. Структура вкладов угледобывающих производств страны в совокупное производство (по угольным бассейнам) отражена на рис. 1 [9].

Согласно рис. 1 угли Кузнецкого бассейна составляют значительную долю (50 %) от общего объема добычи. Ввиду этого положения

дальний анализ грузопотоков экспортных углей производился на примере данного угольного бассейна, а также железнодорожной инфраструктуры, обеспечивающей вывоз добываемых в нем углей.

Кроме того, учитывая тот факт, что размеры потерь углей от выдувания, как было установлено учеными НИИЖТа в ходе массовых опытных перевозок, существенно определяются их гранулометрическим составом [10], в рамках данного исследования были проанализированы статистические данные о корреспонденциях марок и фракций транспортируемых углей в пределах Восточного полигона на основе аналитических данных по рынку угля ведущего независимого ценового агентства Argus [11]. Для решения данной задачи была разработана диаграмма грузопотоков от 36 станций отправления Кузбасса в адрес 10 станций назначения (портов перевалки Дальнего Востока и сухопутных погранпереходов с Китаем). Построение данной диаграммы производилось следующим образом. На основании информации о доставке кузбасских экспортных углей в адрес восточных портов и погранпереходов (2022–2023 гг.) разработана «шахматка» корреспонденций грузопотоков экспортных углей. Далее была определена принадлежность каждой станции отправления к компаниям-грузоотправителям, что позволило установить важные в рамках данного исследования характеристики отгружаемого угля: марочный, фракционный состав, влажность и др. Непосредственное определение этих ком-

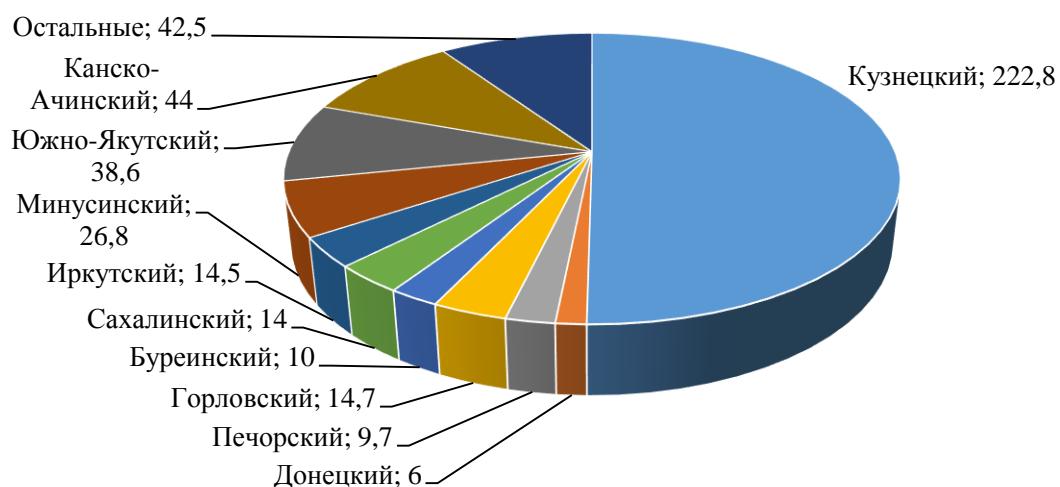


Рис. 1. Объем добычи российского угля по ключевым бассейнам в 2022 г., млн т

паний производилось с использованием сервиса Wikimapia [12], включающего детальную схему путевого развития станций отправления и примыкающих путей необщего пользования (ПНП). Кроме того, была учтена информация о примыкающих к станциям предприятиях, а также их производственных активах, которая позволила определить марочный и фракционный состав отправляемых с данных предприятий углей (таблица).

Для дальнейшей визуализации продвижения корреспонденций экспортного угля была построена схема железнодорожной сети Восточного полигона (рис. 2). Стоит отметить, что непосредственное нанесение струй грузопотоков экспортных углей на полученную схему затруднено ввиду большого масштаба железнодорожной сети. Поэтому в целях наилучшей визуализации была разработана немасштабная схема инфраструктуры продвижения корреспонденций, учитывая взаимное расположение ключевых

станций. Таким образом, получена диаграмма грузопотоков углей различных марок и фракций, фрагмент которой для станций погрузки Западной Сибири, входящих в отмеченную на рис. 2 область «а», приведен на рис. 3. Численные значения каждой струи грузопотоков приведены в процентах от общего объема перевозимых углей, что позволяет установить долю каждой станции отправления в общем объеме погрузки.

Результаты исследования и их обсуждение

В целом ряде работ различных исследователей подчеркивается, что одним из главных недостатков российских, в частности кузнецких, углей на мировом рынке является значительная их удаленность от конечного потребителя [13]. Действительно, основные угольные бассейны России, такие как Кузнецкий, Канско-Ачинский, Улуг-Хемский, Минусинский, Печорский, имеют так называемое ультраконтинентальное расположение, т. е. расположены далеко

Фрагмент таблицы принадлежности станций отправления к предприятиям – грузоотправителям угля с определением его марочного и фракционного состава

Станция отправления	Предприятие-грузоотправитель	Марка угля	Фракция, мм	Влажность, %
А-3	ООО «Разрез «Бунгурский-Северный», разрезоучасток Бунгурский-Южный АО ХК «СДС-Уголь» [14]	Т, А	0–6, 0–25, 0–50	10, 10, 9
Б-4	Угольная обогатительная фабрика «Барзасская», ОАО УК «Северный Кузбасс», шахта Первомайская [15]	КС, КО, СС	0–20 (13)	7
С-1	Обогатительная фабрика «Матюшинская» разреза «Березовский» АО ГК «Стройсервис» [16]	ОС, Т, ТС, К, КО, КС, Ж	0–25, 13–50, 0–50, 50–200,	9, 7, 9, 6

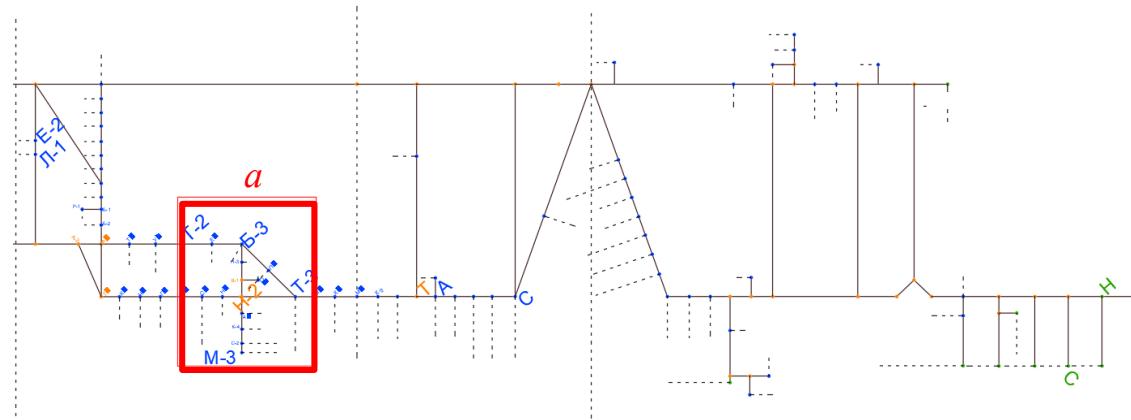
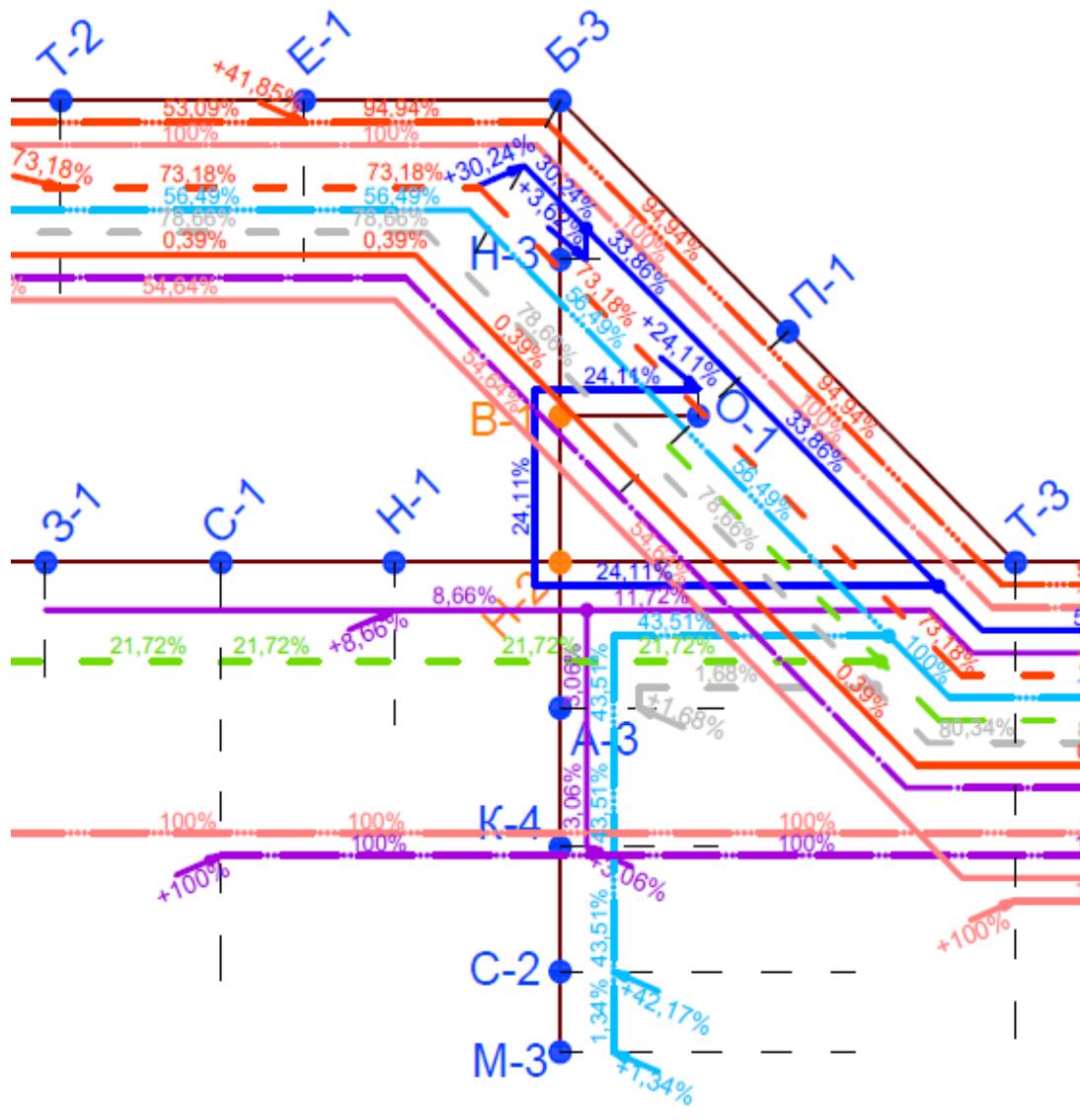


Рис. 2. Общий вид схемы железнодорожной сети Восточного полигона



М-1 ● - станции отправления
 М-3 ● - станции назначения
 М-2 ● - станции слияния вагонопотоков

■	уголь марки Д	—	направление ж/д линии
■	уголь марки Г	— — — —	границы инфраструктур железнодорог, граница зарождения вагонопотока
■	уголь марки К	— — — — —	рядовой уголь (0-300 мм)
■	уголь марки ОС, СС	— — — — — —	уголь фракции Ш (0-6 мм)
■	уголь марки Т	— — — — — — —	уголь фракции С (6-13 мм)
■	уголь марки А	— — — — — — — —	уголь фракции М (13-25 мм)
■	уголь марки Ж	— — — — — — — — —	уголь фракции О (25-50 мм)
■	уголь марки Б	— — — — — — — — — —	уголь фракции К (50-100 мм)
		— — — — — — — — — — —	уголь фракции П (100-300 мм)

Рис. 3. Фрагмент диаграммы грузопотоков углей мелких фракций со станций Западной Сибири (область «а» на рис. 2)

от административно-политических границ и фактически в центре страны. Так, средняя дальность перевозок, например, кузнецкого угля на экспорт до морских портов по железным дорогам России в целом составляет: до портов Балтийского моря на северо-западе – 4 360 км; до портов Черного моря на юго-западе – 4 740 км; до портов Баренцева моря на севере – 5 060 км; до портов Японского моря на юго-востоке – 6 040 км; до сухопутных пограничных переходов в среднем – 4 093 км. Ясно, что такое географическое положение существенно влияет на размеры потерь углей при перевозке и оказывает негативное воздействие на загрязнение окружающей среды и железнодорожного пути (балластной призмы). Но, ввиду стратегической значимости для России и некоторых других стран (Казахстана), железнодорожные перевозки угля из Кемеровской области – Кузбасса остаются весьма востребованными. Также можно подчеркнуть значение углей, тем более обогащенных (мелкодисперсных), для металлургической, химической (коксохимической) промышленности. Обогащение углей расширяет границы использования этого вида твердого топлива.

Анализ полученной диаграммы грузопотоков углей со станций Западной Сибири позволил определить следующие их особенности в отношении возможных потерь углей мелких фракций от выдувания:

1. В отношении погрузки антрацита фракции III определяющее значение имеют станции Е-2 и Л-1, относящиеся к Горловскому бассейну и обеспечивающие 78,66 % от общего объема погрузки. Причем наибольшая его доля следует на станции Дальнего Востока – С и Н (79,44 % общей погрузки). Среднее расстояние их перевозки составляет 6 131 км.

2. Преобладающим по объему транспортировки является уголь марки Д фракции O, наибольшую часть отправления обеспечивает станция Е-1 (41,85 % от общей погрузки), что говорит о значительной нагрузке на инфраструктуру от данной станции до станций Т и С, расположенных в Красноярском крае, которая подвержена наибольшему загрязнению окружающей среды от выдуваемой из полувагонов угольной пыли на начальном маршруте следования – первых 600 км [9]. При этом среднее расстояние перевозки данных углей составляет 5 646 км.

3. Наибольшая загрузка железнодорожной линии транспортировкой мелкодисперсных углей прочих марок наблюдается на участках от станции Т-3, являющейся также станцией слияния вагонопотоков углей с центрального Кузбасса, до станций Т и С (Красноярский край). Кроме того, от станции А (Красноярский край) данная загрузка увеличивается за счет отправления угля марки Д фракции M, перевозимого в среднем на расстояние 5 346 км.

4. Наименьшую загрузку линии можно отметить на участке от станции Т-4 до станции Н-2, однако следует иметь в виду возможность продвижения вагонопотоков других углей из-за кружностей (перенаправления грузопотоков по параллельным ходам), определяемых в оперативном порядке перевозчиком.

Выводы

Подводя итоги анализа сведений по добыче, транспортировке и экспорту российских углей, полученных посредством изучения статистических, литературных, аналитических и иных источников, можно отметить следующее:

1. По результатам статистического анализа данных о перевозимых на экспорт углях установлено, что в соответствии с Антикризисной программой угольной промышленности планируется увеличение объемов экспорта российских углей в 2025 г., для чего поставлены важные задачи, среди которых – совершенствование технологии перевозок данного груза. Решение данной задачи состоит в том числе в обеспечении экологической эффективности перевозок углей, заключающейся в повышении сохранности перевозимых мелкодисперсных сыпучих грузов.

2. Полученная диаграмма груженых вагонопотоков углей Восточного полигона железнодорожных дорог создает возможности для наиболее точного подбора профилактических мероприятий по борьбе с выдуванием для каждого грузоотправителя угля, позволяя учитывать:

а) климатические особенности и рельеф местности, по которой осуществляется транспортировка угля (особенно на начальном этапе следования до 600 км) за счет определения направлений, наиболее загруженных транспортировкой углей мелких фракций;

б) места слияния и разделения вагонопотоков, где не исключены переломы веса и длины поездов; смену вида тяги (отражается и на ходовой скорости поездов); тип пути – звеньев-

вой/бесстыковой (влияет на динамическое воздействие на угли в полуwagonе).

3. Проведенное исследование также создает основу для планирования первоочередного проведения среднего ремонта пути (очистки балласта) за счет определения наиболее загруженных транспортировкой углей

мелких фракций направлений, подверженных интенсивному загрязнению окружающей среды угольной пылью. Кроме того, данная информация позволит установить грузоотправителей, для которых применение профилактических мероприятий по борьбе с выдуванием углей является обязательным.

Список источников

1. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Министерство транспорта РФ. Январь – декабрь 2024 года. 2025. 39 с.
2. Паспорт федерального проекта «Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона железных дорог». URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/12716> (дата обращения: 01.02.2025).
3. Шерин Е. А. Географические направления и масштабы экспорта сибирских углей // ЭКО. 2018. № 8. С. 148–160.
4. Попова Н. Б., Дроздов В. В. Контейнерные грузоперевозки Западно-Сибирской железной дороги // Проблемы антикризисного управления и экономики регионов (ПАУЭР-2023) : материалы IX Международной научно-практической конференции. Новосибирск : Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения, 2024. С. 58–62.
5. Попова Н. Б., Дроздов В. В., Меркулов И. М. Участие Западно-Сибирской железной дороги в функционировании хозяйственных комплексов региона обслуживания // Политранспортные системы : материалы XIII научно-технической конференции с международным участием. Новосибирск: Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения, 2024. С. 158–161.
6. Псеровская Е. Д., Овчинников Р. А. Исследование влияния формы поверхности навалочных грузов на выдувание при транспортировке // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 4 (63). С. 53–61. DOI 10.52170/1815-9265_2022_63_53.
7. Псеровская Е. Д., Овчинников Р. А. Разработка решения по сокращению потерь от выдувания угля на основе моделирования процесса транспортировки // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы : материалы IV Международной научно-практической конференции «Цифровые технологии транспорта и логистики». Москва, 2024. С. 385–390.
8. Антикризисная программа угольной промышленности Российской Федерации. Министерство энергетики РФ. Аналитический центр ТЭК. 2025. Март. 24 с.
9. Петренко И. Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022. № 3. С. 9–23. DOI 10.18796/0041-5790-2022-3-9-23.
10. Бешкето В. К. Перевозка без потерь. Москва : Знание, 1975. 64 с.
11. Обзор транспортировки навалочных, генеральных грузов и контейнеров // Argus: Логистика сухих грузов. 2020. Выпуск II, № 5. 67 с.
12. Wikimapia : [сайт]. URL: <https://wikimapia.org/#lang=ru&lat=55.559709&lon=46.845703&z=8&m=w> (дата обращения: 20.04.2025).
13. Дрыгин М. Ю. Оценка перспектив добычи угля в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 87–96.
14. Продукция компании Разрез «Бунгурский – Северный» : [сайт]. URL: <http://bungur.ru/company/produksiya-kompanii/> (дата обращения: 20.04.2025).
15. ОФ «Барзасская» : [сайт]. URL: <http://www.sgsh.ru/projects-concentrators/> (дата обращения: 21.04.2025).
16. Уголь. Стройсервис. Продукция : [сайт]. URL: <https://stroyervis.com/-production/coal> (дата обращения: 21.04.2025).

References

1. Transport of Russia. Informational and statistical bulletin. Ministry of Transport of the Russian Federation. January – December 2024. 2025. 39 p. (In Russ.).
2. Passport of the federal project ‘Development of railway infrastructure of the Eastern railway range’. (In Russ.). URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/12716>
3. Sherin E. A. Geographical directions and scale of export of Siberian coals. *EKO*. 2018;(8):148–160. (In Russ.).

4. Popova N. B., Drozdov V. V. Container cargo transportation of the West Siberian Railway. *Problems of anti-crisis management and regional economics (POWER-2023. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference)*. Novosibirsk: Publishing house Siberian Transport University; 2024. P. 58–62. (In Russ.).
5. Popova N. B., Drozdov V. V., Merkulov I. M. Participation of the West Siberian Railway in the functioning of economic complexes of the service region. *Polytransport Systems. Proceedings of the XIII Scientific and Technical Conference. with International Participation*. Novosibirsk: Publishing house Siberian Transport University; 2024. P. 158–161. (In Russ.).
6. Pserovskaya E. D., Ovchinnikov R. A. Study of the influence of the surface shape of bulk cargo on blowing during transportation. *Siberian Transport University Bulletin*. 2022;(63):53–61. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2022_63_53.
7. Pserovskaya E. D., Ovchinnikov R. A. Development of a solution to reduce losses from coal blowing based on modeling the transportation process. *Digital Transformation of Transport: Problems and Prospects. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference 'Digital technologies of transport and logistics'*. Moscow; 2024. P. 385–390. (In Russ.).
8. Anti-crisis program of the coal industry of the Russian Federation. Ministry of Energy of the Russian Federation. Analytical Center of the Fuel and Energy Complex. 2025. March. 24 p. (In Russ.).
9. Petrenko I. E. Results of the Russian coal industry of Russia for 2021. *Coal*. 2022;(3):9–23. (In Russ.). DOI 10.18796/0041-5790-2022-3-9-23.
10. Beshketo V. K. Transportation without losses. Moscow: Znanie; 1975. 64 p. (In Russ.).
11. Review of transportation of bulk, general cargo and containers. *Argus Dry Cargo Logistics*. 2020. Issue II, No. 5. 67 p. (In Russ.).
12. Wikimapia: [site]. (In Russ.). URL: <https://wikimapia.org/#lang=ru&lat=55.559709&lon=46.845703&z=8&m=w>.
13. Drygin M. Yu. Assessment of coal mining prospects in Kuzbass. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020;(2):87–96. (In Russ.).
14. Products of the company Razrez Bungurskiy – Severny: [site]. (In Russ.). URL: <http://bungur.ru/company/produktsiya-kompanii/>.
15. Enriching Plant ‘Barzasskaya’: [site]. (In Russ.). URL: <http://www.sgsh.ru/projects-concentrators/%D0%91%D0% B0%D1%80%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F/>.
16. Coal. Stroyservis. Products: [site]. (In Russ.). URL: <https://stroyservis.com/-production/coal>.

Информация об авторах

Е. Д. Псеровская – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Н. Б. Попова – доктор географических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Р. А. Овчинников – аспирант кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

E. D. Pserovskaya – Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Logistics, Commercial Work and Rolling Stock Department, Siberian Transport University.

N. B. Popova – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Transport Economy Department, Siberian Transport University.

R. A. Ovchinnikov – Postgraduate of the Logistics, Commercial Work and Rolling Stock Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 13.02.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 29.04.2025.

The article was submitted 13.02.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 29.04.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.07

doi 10.52170/1815-9265_2025_74_55

Многокритериальный подход к оценке эффективности внедрения цифровых технологий в работу грузовых железнодорожных станций

Олег Валерьевич Москвичев¹, Елена Евгеньевна Москвичева², Анжелика Андреевна Грузд^{3✉}

^{1,2,3} Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

¹ moskvichev063@yandex.ru

² moskvichevalena@yandex.ru

³ a.hishova@samgups.ru✉

Аннотация. Интеграция цифровых технологий в процесс взаимодействия грузовых железнодорожных станций и путей необщего пользования – это сложная многоцелевая задача, которая требует разработки научно-методического подхода по рациональному внедрению цифровых технико-технологических решений с учетом существующей технической и технологической базы. В ранее представленных работах были освещены первые два этапа формирования такого подхода, включающие разработку математической модели на основе теории массового обслуживания и создание классификатора для выбора релевантных решений. Настоящая работа посвящена построению алгоритма на основе дерева решений для комбинирования всех возможных вариантов цифровых технико-технологических решений применительно к конкретному барьерному узлу. Для этого была написана программа на языке Java, обеспечивающая быструю генерацию всех возможных комбинаций цифровых технико-технологических решений. Также в статье определены критерии отбора релевантных вариантов комбинации цифровых решений, соответствующих целям и приоритетам стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2030 года, а именно: себестоимость переработки одного вагона; простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД»; производительность труда; производственный травматизм.

Ключевые слова: цифровые технологии, грузовая железнодорожная станция, путь необщего пользования, перерабатывающая способность станции, язык программирования Java, критерии отбора

Для цитирования: Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Грузд А. А. Многокритериальный подход к оценке эффективности внедрения цифровых технологий в работу грузовых железнодорожных станций // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 55–62. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_55.

TRANSPORT

Original article

A multi-criteria approach to assessing the efficiency of digital technology implementation in the operation of freight railway stations

Oleg V. Moskvichev¹, Elena E. Moskvicheva², Angelika A. Gruzd^{3✉}

^{1,2,3} Volga State Transport University, Samara, Russia

¹ moskvichev063@yandex.ru

² moskvichevalena@yandex.ru

³ a.hishova@samgups.ru✉

Abstract. The integration of digital technologies into the process of interaction between freight railway stations and non-public tracks is a complex multi-purpose task that requires the development of a scientific and methodological approach to the rational implementation of digital technical and technological solutions, taking into account the existing technical and technological base. In the previously presented papers, the first two stages of the formation of such an approach were highlighted, including the development of a mathematical model based on queuing theory and the creation of a classifier for selecting relevant solutions. This paper is devoted to the construction of a algorithm using a decision tree to combine all possible digital technical and technological solutions for a specific barrier node. Dynamic programming in Java is used for this purpose, which provides fast generation of all possible combinations of digital technical and technological solutions. The article also defines criteria for selecting relevant options for a combination of digital solutions that meet the goals and priorities of the Russian

Railways digital transformation strategy until 2030, namely: the cost of processing one wagon; idle time of a local wagon on the responsibility of Russian Railways; labour productivity; occupational injuries.

Keywords: digital technologies, freight railway station, non-public track, processing capacity of the station, dynamic programming, selection criteria

For citation: Moskvichev O. V., Moskvicheva E. E., Gruzd A. A. A multi-criteria approach to assessing the efficiency of digital technology implementation in the operation of freight railway stations. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):55–62. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_55.

Введение

Обеспечение достаточного резерва перерабатывающей способности инфраструктуры является ключевым фактором бесперебойного взаимодействия грузовых железнодорожных станций (ГЖС) и примыкающих путей необщего пользования (ПНП). Однако санкции и регуляторные ограничения последних лет вызвали дефицит пропускных и перерабатывающих мощностей, что негативно сказалось на надежности взаимодействия ГЖС и ПНП. Это, в свою очередь, увеличило сроки доставки грузов и стимулировало переориентацию грузопотоков на альтернативные виды транспорта.

Одной из первоочередных задач адаптации к новым условиям является внедрение цифровых технологий и сервисов, что позволит существенно повысить эффективность взаимодействия ГЖС и ПНП, улучшить управляемые процессы по обработке вагонов и грузов, а также сократить временные затраты на выполнение необходимых операций. В этих целях предложен научно-методический подход, который позволит обоснованно оценивать возможности и риски внедрения цифровых технологий в работу ГЖС и ПНП [1].

На первом этапе предлагается проведение оценки эффективности взаимодействия ГЖС и примыкающих ПНП на основе математической модели с выявлением лимитирующих элементов (операций) в технологии организации и продвижении вагонопотоков.

Процесс моделирования работы взаимодействия ГЖС и примыкающих ПНП предусматривает формирование инфраструктурной и технологической модели в виде сети массового обслуживания, демонстрирующей распределение и продвижение вагонопотоков по узлам обслуживания (элементам инфраструктуры общего и необщего пользования) с расчетом их пропускной способности. С целью формализации модели для каждого узла определены типовые технологические операции, включающие в том числе операции по формированию и передаче необходимой информа-

ции, принятию оперативных решений, оформлению учетной и другой документации на каждом этапе производственного процесса. При этом время обслуживания одной заявки в узле представляет собой сумму времени на выполнение технологических операций с поездами или вагонами с использованием имеющихся технического оснащения, информационных систем и способов введения учетных форм документации, учитывающей количество обслуживающих единиц [2].

В результате разработанная математическая модель позволяет, исходя из расчетных объемов работы и наличия инфраструктурной, технической оснащенности, определить лимитирующий узел (узлы), пропускная способность которого будет минимальной в процессе взаимодействия ГЖС и ПНП.

На втором этапе для решения поставленной задачи – определения наиболее эффективных и целесообразных для внедрения цифровых технико-технологических решений для оптимизации лимитирующих технологических узлов (операций) с целью сокращения наибольших задержек или задержек выше допустимых в технологии организации и продвижении вагонопотоков – разработан классификатор, в котором для каждого узла систематизированы типовые сопоставимые цифровые организационные и технико-технологические решения, включающие комплекс программных (программное обеспечение Цифровой железнодорожной станции – ЦЖС) и технических средств и устройств (инфраструктура ЦЖС).

Материалы и методы исследования

Необходимо разработать алгоритм генерации цифровых организационных и технико-технологических решений, основываясь на разработанном классификаторе, применительно к конкретному лимитирующему (барьерному) узлу. Для составления всех возможных вариантов комбинаций цифровых организационных и технико-технологических решений [3, 4] предлагается в качестве практического инструментария использовать метод

древа решений и программу общего назначения на языке программирования Java. Для формализации алгоритма ранее разработанный классификатор представлен в табл. 1 [1].

Алгоритм, представленный в данной модели, обеспечивает генерацию и отображение комбинаций элементов массива в зависимости от выбранного номера барьераного узла.

В первую очередь осуществляется инициализация массивов, например: массив «Uzel_1» содержит набор элементов [A1, A2, A3, ..., A12], а массив «Uzel_2» включает элементы [B1, B2, B3, B4, ..., B10] и так далее для всех 11 узлов. После этого программа запрашивает у пользователя ввод номера барьераного узла в диапазоне от 1 до 11.

Таблица 1

Кодировка классификатора цифровых технико-технологических решений

Узел	Цифровое технико-технологическое решение	Массив
Обработка состава по прибытию	Интегрированный пост диагностики и подвижного состава	A1
	Мобильное рабочее место (МРМ) осмотрщика вагонов	A2
	МРМ бригады пункта коммерческого осмотра	A3
	Автоматизированная система коммерческого осмотра (АСКО) поездов и вагонов 3D	A4
	АСКО «Смотровая вышка»	A5
	Табло коллективного пользования	A6
	Функциональный навигатор	A7
	Модуль ЦЖС планирования очередности приема, отправления и обработки поездов	A8
	Модуль ЦЖС автоматической подготовки маневровых маршрутов	A9
	Модуль ЦЖС автоматического закрепления подвижного состава	A10
	Модуль ЦЖС автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями	A11
Расформирование поезда	Робот-авторасцепщик грузовых вагонов	B1
	МРМ горочного составителя поездов	B2
	Модуль ЦЖС планирования очередности распуска поездов и выставки в парк отправления	B3
	Модуль ЦЖС контроля предотвращения выхода подвижного состава со стороны, противоположной сортировочной горке	B4
	Табло коллективного пользования	B5
	Функциональный навигатор	B6
	Модуль ЦЖС планирования очередности приема, отправления и обработки поездов	B7
	Модуль ЦЖС автоматической подготовки маневровых маршрутов	B8
	Модуль ЦЖС автоматического закрепления подвижного состава	B9
	Модуль ЦЖС автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями	B10
Формирование поезда	МРМ станционного составителя поездов	C1
	Система дистанционного видеонаблюдения при движении вагонами вперед в процессе формирования	C2
	Модуль ЦЖС планирования составообразования и отправления поездов	C4
	Табло коллективного пользования	C5
	Функциональный навигатор	C6
	Модуль ЦЖС планирования очередности приема, отправления и обработки поездов	C7
	Модуль ЦЖС автоматической подготовки маневровых маршрутов	C8
	Модуль ЦЖС автоматического закрепления подвижного состава	C9
	Модуль ЦЖС автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями	C10
	МРМ осмотрщика вагонов	D1
Обработка состава по отправлению	МРМ бригады пункта коммерческого осмотра	D2
	Модуль ЦЖС автоматического планирования и контроля отправления поездов	D3
	Модуль ЦЖС автоматического опробования автотормозов	D4
	Табло коллективного пользования	D5
	Функциональный навигатор	D6
	Модуль ЦЖС планирования очередности приема, отправления и обработки поездов	D7
	Модуль ЦЖС автоматической подготовки маневровых маршрутов	D8
	Модуль ЦЖС автоматического закрепления подвижного состава	D9
	Модуль ЦЖС автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями	D10

Окончание табл. 1

Узел	Цифровое технико-технологическое решение	Массив
Подача вагонов	Система дистанционного видеонаблюдения при движении вагонами вперед	F1
	Модуль ЦЖС автоматического управления маневровыми передвижениями	F2
	Личный кабинет клиента ОАО «РЖД»	F3
	Автоматизированная система претензионной работы системы нового поколения (ЕАСАПР НП)	F4
Приемо-сда-точные опе-рации	МРМ приемосдатчика груза и багажа	G1
	Личный кабинет клиента ОАО «РЖД»	G2
	АСКО подвижного состава	G3
	АСКО «Смотровая вышка»	G4
	АСКО тепловизионный комплекс	G5
	Технология «Цифровой приемосдатчик»	G6
	ЕАСАПР НП	G7
Взвешивание вагонов	Автоматизированная система безопасности взвешивания и учета вагонов и грузов	H1
	Электронные весы	H2
Грузовые операции	Роботизация или автоматизация погрузочно-выгрузочных работ в зависимости от специфики груза	J1...Jn
Уборка вагонов	Модуль ЦЖС автоматического управления маневровыми передвижениями	K1
	ЕАСАПР НП	K2
	Личный кабинет клиента ОАО «РЖД»	K3

Для начала программа производит генерацию базовых решений, так, для узла 1 базовыми решениями являются [A1, A2, A3, ..., A12]. Далее с помощью цикла программа генерирует комбинации из двух элементов массива, затем из трех элементов массива и так далее до n элементов. Генерация комбинаций осуществляется с помощью рекурсивного метода `combine`, который принимает текущий массив, строку (которая будет накапливать комбинацию), начальный индекс, количество элементов для комбинации и список для хранения полученных комбинаций. Представленный цикл перебирает элементы массива, начиная с указанного индекса, и вызывает себя рекурсивно до тех пор, пока не будут достигнуты все комбинации заданной длины. После генерации всех возможных комбинаций массивов код выведет на экран их результат.

После перебора всех возможных комбинаций цифровых технико-технологических решений возникает необходимость выбора оптимального варианта для повышения эффективности взаимодействия ГЖС и ПНП. Для принятия взвешенного решения необходимо определить критерии, которые смогут в достаточной мере оценить эффективность внедрения цифровых технологий в единый процесс взаимодействия ГЖС и ПНП.

В качестве критериев оценки предлагается использовать показатели, которые в наиболь-

шей степени влияют на повышение результирующей пропускной и перерабатывающей способностей железнодорожных ПНП и грузовых станций примыкания. Согласно [5], результирующая пропускная и перерабатывающая способность станции примыкания показывает, сколько поездов и вагонов сможет принять, переработать или пропустить станция за расчетный период – сутки во взаимоувязке с перерабатывающими возможностями мест погрузки, выгрузки на путях общего пользования, а также путей необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа. Достаточный резерв данного параметра обеспечивает бесперебойное железнодорожное транспортное обслуживание ПНП, переработку предъявляемых объемов грузо- и вагонопотоков, высокую эксплуатационную надежность.

Результирующая пропускная и перерабатывающая способность станции примыкания и железнодорожных ПНП определяется в зависимости от продолжительности занятия элементов инфраструктуры общего и необщего пользования отдельными операциями, включая их ожидания. В связи с этим представляется целесообразным принять в качестве одного из критерии оценки внедрения цифровых технико-технологических решений простой местного вагона, характеризующий среднее время нахождения одного вагона под технологическими операциями.

Ключевой задачей цифровой трансформации производственных процессов [6] является снижение влияния человеческого фактора, в том числе на выполнение единого технологического процесса ПНП и грузовой станции примыкания. Поэтому критериями оценки реализации цифровых технологий и сервисов должны быть такие качественные показатели, как производительность труда и производственный травматизм.

В качестве экономического показателя, характеризующего эффективность внедрения организационных и технико-технологических решений, предлагается использовать себестоимость переработки одного вагона на станции. Данный экономический показатель представляет собой зависящие эксплуатационные затраты на организацию и продвижение вагонопотоков, определяемые на основе единичных расходных ставок ОАО «РЖД» по перевозочным видам деятельности, приходящиеся на один вагон.

Стоит отметить, что представленные критерии обладают разнородностью, поскольку одни из них стремятся к максимуму: $f_i(x) \rightarrow \max$, тогда как другие к минимуму: $f_i(x) \rightarrow \min$. Кроме того, каждый критерий характеризуется собственной единицей измерения, что затрудняет процесс их сравнения и анализа (табл. 2).

Для решения данной проблемы требуется создание многокритериальной системы оценки, способной выявить оптимальный ва-

риант комбинации цифровых технико-технологических решений, направленных на повышение эффективности взаимодействия ГЖС и ПНП. Эта система должна предусматривать методы нормализации и взвешивания критериев, что обеспечит учет значимости каждого критерия в рамках решаемой задачи. Такой подход позволит объединить разнообразные аспекты эффективности и выбрать наиболее подходящее решение, удовлетворяющее всем предъявляемым требованиям.

В рамках работы проведен анализ эффективности и результативности внедрения некоторых типовых цифровых технологий и решений на сети российских железных дорог [7–14]; выполнена оценка влияния оцифровки производственных процессов на выделенные критерии, отнесенная на один вагон при определении сокращения себестоимости переработки и простоя местного вагона, а также на одного работника при определении повышения производительности труда. Динамика изменения основных критериальных показателей за счет цифровизации станционных технологических процессов с использованием технологии «Цифровой приемо-сдатчик», Автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов 3D, мобильных рабочих мест ПТО и ПКО приведена на рис. 1–3.

Результаты исследования

Для формирования вариантов комбинации цифровых технико-технологических решений

Таблица 2

Характеристика критериев

Критерий	Единица измерения	$f_i(x) \rightarrow \max \backslash \min$
1. Себестоимость переработки одного вагона	рублей в год	$f_1(x) \rightarrow \min$
2. Простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД»	час	$f_2(x) \rightarrow \min$
3. Производительность труда	ваг./чел.	$f_3(x) \rightarrow \max$
4. Производственный травматизм	случай	$f_4(x) \rightarrow \min$

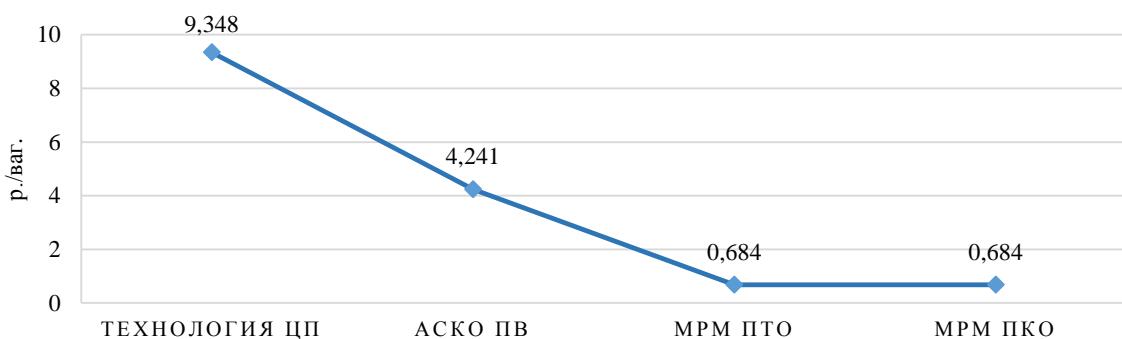


Рис. 1. Влияние цифровых решений на сокращение себестоимости переработки местного вагона

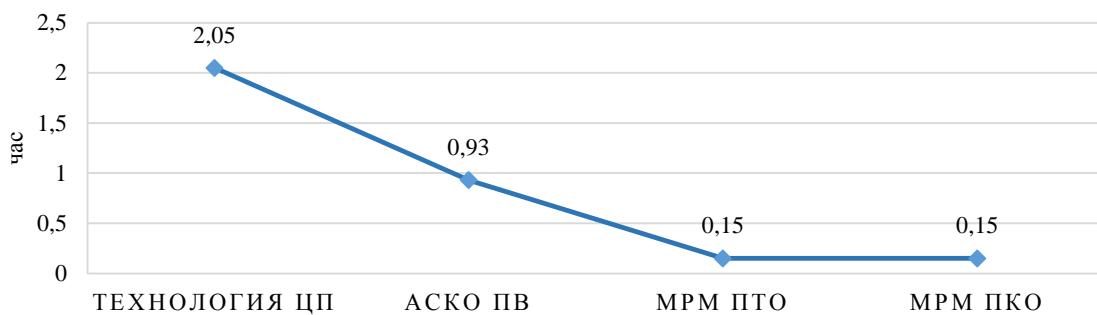


Рис. 2. Влияние цифровых решений на уменьшение простоя местного вагона на ответственности ОАО «РЖД»

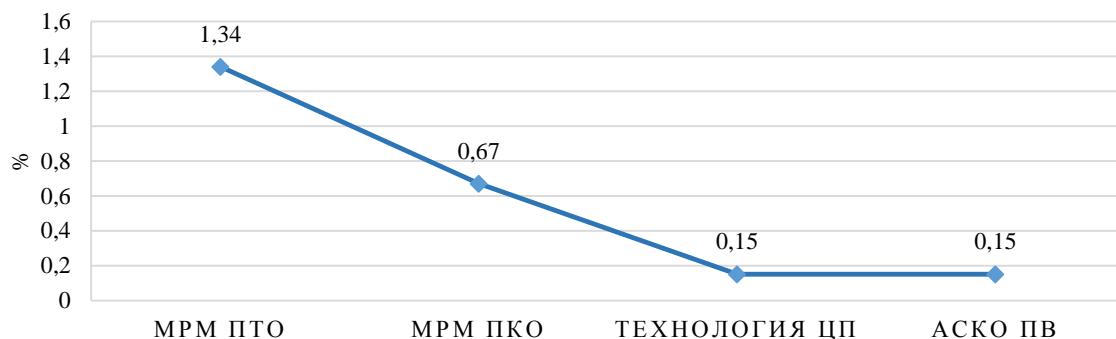


Рис. 3. Влияние цифровых решений на повышение производительности труда

был разработан алгоритм на основе дерева решений на языке программирования Java.

Получены зависимости, демонстрирующие эффективность реализации цифровых технологий и их влияние на выбранные качественные и количественные критерии процесса взаимодействия ГЖС и ПНП.

Выводы

Таким образом, разработан алгоритм на основе дерева решений, позволяющий генерировать все возможные варианты комбинации

программных и технических средств, а также модулей ЦЖС согласно ранее разработанному классификатору, относительно лимитирующего узла.

Определены критерии оценки эффективности внедрения цифровых технологий в работу грузовых железнодорожных станций, а именно: себестоимость переработки местного вагона, простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД», производительность труда и производственный травматизм.

Список источников

1. Москвичев О. В., Грузд А. А. Построение единого технологического процесса грузовых железнодорожных станций и примыкающих путей необщего пользования на основе цифровых инструментов // Актуальные вопросы управления: новые тренды цифровой среды : сборник материалов I Международной научно-исследовательской конференции (г. Москва, 15 и 18 ноября 2024 г.). Москва, 2024. С. 149–159.
2. Александров В. И., Москвичев О. В., Мищенко Е. А. Экономически целесообразный подход к интеграции цифровых технологий в работу железнодорожных станций // Научно-технологическое обеспечение железнодорожного транспорта с целью повышения эффективности его функционирования / под ред. д-ра техн. наук О. В. Москвичева. Самара : СамГУПС, 2020. С. 171.
3. Кощеев А. А., Тимухина Е. Н., Кащеева Н. В. Формирование множества альтернативных решений по выбору параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций // Транспорт Урала. 2022. Т. 2. С. 65–70.
4. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Цифровизация рабочих мест в грузовой работе как инновационный метод повышения безопасности и качества приема грузов к железнодорожной перевозке // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. Гомель, 24–25 ноября 2022 года : в 2 частях. Гомель, 2022. Ч. 1. С. 45–46.

5. Об утверждении методики расчета перерабатывающей способности станции, во взаимоувязке с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа : распоряжение от 18 марта 2019 г. № 503/р. URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/24109.html> (дата обращения: 09.09.2024).

6. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. Москва, 2008. 34 с.

7. Развитие инфраструктуры и внедрение новых технологических решений на Северо-Кавказской железной дороге в условиях роста объемов перевозок грузов / Д. Г. Кучинский, М. Н. Климов, А. И. Крамаренко, В. Н. Зубков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2018. Т. 2. С. 109–117.

8. Независимое информационное агентство «Самара» : [сайт]. Самара. URL: https://www.niasam.ru/novosti_kompanij/10-tysyach-vagonov-bylo-oformleno-na-kbshzhd-po-tehnologii-tsifrovoj-priemosdatchik-201776.html (дата обращения: 17.11.2024).

9. Гулый И. М. Цифровой приемосдатчик – технология приема вагонов к перевозке, внедряемая в рамках стратегии цифровой трансформации Российских железных дорог // Экономика и управление народным хозяйством. 2022. С. 65–67.

10. Доценко Ю. В., Виховская Л. И. Анализ существующего состояния технологии коммерческого осмотра поездов и вагонов // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2018. Т. 2. С. 20–26.

11. Цифровые технологии в управлении перевозочным процессом : учебное пособие / О. В. Москвичев, А. Т. Осьминин, Е. Е. Москвичева, А. В. Кабанов. Самара, 2023. 206 с.

12. Соколов П. А., Соколов П. А., Трунева К. Н. Внедрение цифровых систем и технологий на железнодорожной станции для повышения эффективности ее работы // Дневники науки : электронный научный журнал. 2024. Т. 7. С. 13–31.

13. RZD.Digital : [сайт]. URL: <https://rzddigital.ru/events/tsifrovoy-priemosdatchik-otpravil-pervye-konteynery-v-put/> (дата обращения: 17.11.2024).

14. ТТК ТрансТелеКом : [сайт]. URL: <https://ivanovo.ttk.ru/news/228924/> (дата обращения: 17.11.2024).

References

1. Moskvichev O. V., Gruz A. A. Building a unified technological process of freight railway stations and adjacent non-public tracks based on digital tools. *Current Management Issues: New Trends in the Digital Environment. Proceedings of the I International Scientific Research Conference. Moscow, November 15 and 18, 2024*. Moscow; 2024. P. 149–159. (In Russ.).
2. Alexandrov V. I., Moskvichev O. V., Mishchenko E. A. An economically feasible approach to the integration of digital technologies into the operation of railway stations. Scientific and technological support of railway transport in order to increase the efficiency of its functioning, edited by O. V. Moskvichev, Doctor of Engineering. Samara: Samara State Transport University; 2020. P. 171. (In Russ.).
3. Kosheev A. A., Timukhina E. N., Kashcheeva N. V. Formation of a set of alternative solutions for choosing the parameters of the structure and technology of railway stations. *Transport of the Urals*. 2022;2:65–70. (In Russ.).
4. Moskvichev O. V., Moskvicheva E. E. Digitalization of jobs in freight work as an innovative method of improving the safety and quality of cargo acceptance for railway transportation. *Problems of Transport Safety. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway*. In 2 parts, Gomel, November 24–25. Gomel; 2022. Part 1. P. 45–46. (In Russ.).
5. On Approval of the Methodology for Calculating the Processing Capacity of the station, in conjunction with the Processing capabilities of Cargo fronts, public and non-Public Areas where cargo work is carried out. Order No. 503/r dated 18.03.2019. (In Russ.).
6. The Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 was approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-R. Ministry of Transport of the Russian Federation, 2008. (In Russ.).
7. Kuchinsky D. G., Klimov M. N., Kramarenko A. I., Zubkov V. N. Infrastructure development and the introduction of new technological solutions on the North Caucasus Railway in the context of increasing cargo transportation. *Bulletin of the Rostov State Transport University*. 2018;2:109–117. (In Russ.).
8. NIA Samara: site. Samara. (In Russ.). URL: https://www.niasam.ru/novosti_kompanij/10-tysyach-vagonov-bylo-oformleno-na-kbshzhd-po-tehnologii-tsifrovoj-priemosdatchik-201776.html
9. Gulyi I. M. Digital receiving sensor – a technology for receiving wagons for transportation, implemented within the framework of the strategy of digital transformation of Russian railways. *Economics and Management of the National Economy*. 2022. P. 65–67. (In Russ.).

10. Dotsenko Yu. V., Vikhovskaya L. I. Analysis of the current state of technology for commercial inspection of trains and wagons. *Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport.* 2018;(2):20–26. (In Russ.).
11. Moskvichev O. V., Osminin A. T., Moskvicheva E. E., Kabanov A. V. Digital technologies in transportation process management. Textbook. Samara; 2023. 206 p. (In Russ.).
12. Sokolov P. A., Truneva K. N. The introduction of digital systems and technologies at railway stations to improve their efficiency. Electronic scientific journal ‘Diaries of Science’. 2024;(7):13–31. (In Russ.).
13. RZD.Digital: site. (In Russ.). URL: <https://rzddigital.ru/events/tsifrovoy-priemosdatchik-otpravil-pervye-konteynery-v-put/>.
14. TTK TransTeleCom: site. (In Russ.). URL: <https://ivanovo.ttk.ru/news/228924/>.

Информация об авторах

О. В. Москвичев – доктор технических наук, директор Института управления и экономики Приволжского государственного университета путей сообщения.

Е. Е. Москвичева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы» Приволжского государственного университета путей сообщения.

А. А. Грузд – преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Приволжского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

O. V. Moskvichev – Doctor of Engineering, Director of the Institute of Management and Economics, Volga State Transport University.

E. E. Moskvicheva – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Technologies of Cargo and Commercial Work Department, Stations and Hubs, Volga State Transport University.

A. A. Gruzd – Lecturer of the Department of Operational Work Management, Volga State Transport University.

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 25.02.2025; принята к публикации 29.04.2025.

The article was submitted 16.01.2025; approved after reviewing 25.02.2025; accepted for publication 29.04.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 656.043.4
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_63

Методика определения интегрального показателя надежности способов размещения и крепления грузов

Андрей Александрович Гордиенко^{1✉}, Елена Николаевна Тимухина²

^{1,2} Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

¹ gordii89@yandex.ru[✉]

² etimuhina@usurt.ru

Аннотация. Обеспечение надежности способов размещения и крепления грузов остается актуальной задачей в области безопасности перевозочного процесса. В настоящее время надежность способа погрузки на этапе разработки оценивается по разобщенным критериям, которые не дают комплексного представления об уровне риска его применения. Целью статьи является разработка методики расчета интегрального показателя, характеризующего надежность способа размещения и крепления груза на этапе разработки и согласования.

Исследования проводились на основе анализа методики расчетного обоснования способов размещения и крепления грузов. Выполнен анализ, обобщение информации, основных показателей, содержащихся в схемах погрузки. Представлена методика расчета интегрального показателя, характеризующего надежность способа размещения и крепления груза на этапе разработки и согласования. В статье подробно рассмотрены три первых, наиболее важных, этапа методики.

Определены категории показателей, характеризующих надежность способов размещения и крепления грузов и отражаемых в расчетно-пояснительных записках к схемам погрузки: размещение груза, устойчивость; прочность креплений груза; прочность деталей и узлов подвижного состава. Оценка произведена по 11 показателям, которые разбиты на ряд параметров. Для нормирования параметров показателей введены индикаторы, находящиеся в интервале от 0 до 1. Значения показателей надежности по каждой категории находятся как среднеарифметическое значение.

Результаты работы направлены на минимизацию ошибок при разработке и согласовании способов погрузки, могут быть использованы при автоматизации процесса разработки и согласования способов размещения и крепления грузов, а также ориентированы на повышение эффективности мероприятий по повышению надежности способов размещения и крепления грузов.

Ключевые слова: надежность, груз, способ размещения и крепления груза, интегральная оценка, крепление, погрузка, показатель

Для цитирования: Гордиенко А. А., Тимухина Е. Н. Методика определения интегрального показателя надежности способов размещения и крепления грузов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 63–71. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_63.

TRANSPORT

Original article

Methodology for determining the reliability integral indicator of cargo placement and fastening methods

Andrey A. Gordienko^{1✉}, Elena N. Timukhina²

^{1,2} Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

¹ gordii89@yandex.ru[✉]

² etimuhina@usurt.ru

Abstract. Ensuring the reliability of cargo placement and fastening methods remains an urgent task in the field of transportation process safety. Currently, the reliability of the loading method at the development stage is assessed according to disconnected criteria that do not give a comprehensive idea of the risk level of its use. The purpose of the article is to develop a methodology for calculating the integral indicator characterizing the reliability of the method of placing and securing cargo at the stage of development and approval.

The research was carried out on the basis of an analysis of the methodology of the calculation justification of the methods of placing and securing goods. The analysis and generalization of information, the main indicators contained in the loading schemes were carried out. The method of calculating the integral indicator characterizing

the reliability of the method of placing and securing cargo at the stage of development and approval is presented. The article describes in detail the first three, most important, stages of the methodology.

The categories of indicators characterizing the reliability of cargo placement and fastening methods and reflected in the design and explanatory notes to loading schemes are defined: cargo placement, stability; strength of cargo fasteners; strength of parts and assemblies of rolling stock. The assessment was made on 11 indicators, which are divided into a number of parameters. To normalize the parameters of the indicators, indicators are introduced in the range from 0 to 1. The values of reliability indicators for each category are found as an arithmetic mean.

The results of the work are aimed at minimizing errors in the development and coordination of loading methods, can be used to automate the process of developing and coordinating methods of placing and securing goods, as well as to increase the effectiveness of measures to improve the reliability of methods of placing and securing goods.

Keywords: reliability, cargo, method of placing and securing cargo, integral assessment, fastening, loading, indicator

For citation: Gordienko A. A., Timukhina E. N. Methodology for determining the reliability integral indicator of cargo placement and fastening methods. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):63–71. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_63.

Введение

Надежность способов размещения и крепления грузов является важнейшим элементом безопасности движения поездов [1–3]. Однако сегодня фактически отсутствует система мониторинга надежности способов погрузки на различных этапах их жизненного цикла, позволяющая эффективно выстраивать работу по предупреждению отцепок вагонов с коммерческими неисправностями, отказов, транспортных происшествий.

Проверка надежности схем размещения и крепления выполняется по методике Технических условий, которая основана на сравнении расчетных значений показателей с допустимыми [3]. Индикаторы по отдельности не дают комплексного представления о степени надежности и, соответственно, уровне риска перевозки по схеме погрузки.

Большое значение имеет оценка надежности способа размещения и крепления груза на этапе разработки (проектирования) и согласования. Запас прочности, который закладывается на данном этапе, предопределяет во многом отсутствие коммерческих неисправностей, различных транспортных происшествий в пути следования.

Создание методики интегральной оценки способов размещения и крепления позволит решить следующие задачи:

1) снижение человеческого фактора, ошибок при разработке и согласовании схем погрузки;

2) упрощение и повышение прозрачности согласования способов размещения и крепления грузов;

3) создание инструмента для автоматизации процесса разработки и согласования схем погрузки: формирование автоматизированного заключения о надежности схем размещения и

крепления и возможности их согласования, а также создание возможности для разработчиков в динамическом режиме отслеживать степень надежности разработанного ими способа;

4) оптимальное выстраивание мер по минимизации рисков на всех этапах жизненного цикла способов размещения и крепления грузов.

Цель исследования – разработать методику расчета интегрального показателя, характеризующего надежность способа размещения и крепления груза на этапе разработки и согласования.

Материалы и методы исследования

В различных сферах и отраслях широко используются интегральные, или комплексные, оценки. Интегральная и последующая рейтинговая оценки позволяют обеспечить комплексность представления об объекте, более глубоко исследовать его поведение и причины происходящего с ним [4–8].

Интегральная оценка всегда субъективна, не является абсолютной истиной [4]. Методика оценки соответствует определенным запросам и отражает субъективный взгляд автора, экспертов на происходящие процессы.

Формирование интегральных показателей проходит ряд стандартных этапов. Одним из наиболее важных процессов является определение системы показателей, акцент делается на тех показателях, которые поддаются мониторингу и контролю [4]. Разрабатываемая методика основывается на общепринятых принципах расчета интегральных показателей.

Источником данных, используемых в разрабатываемой методике, являются расчеты по обоснованию способов размещения и крепления, содержащиеся в расчетно-пояснительных записках.

Результаты исследования

Разрабатываемая методика предназначена прежде всего для снижения рисков ошибок в способах размещения и крепления грузов за счет:

1) формирования основных категорий показателей, характеризующих надежность способов размещения и крепления грузов;

2) определения алгоритмов формирования и расчета показателей, характеризующих надежность способов размещения и крепления грузов;

3) создания инструмента для автоматизированной оценки надежности способов размещения и крепления грузов.

Проведенная оценка надежности способа погрузки является основой для мониторинга и анализа рисков нарушения безопасности движения.

На рисунке приведены основные этапы процесса формирования рассматриваемого интегрального показателя.

Каждый способ размещения и крепления груза, согласно методике Технических условий (ТУ) [9, 10], проходит оценку по следующим категориям показателей:

- размещение груза;
- устойчивость;

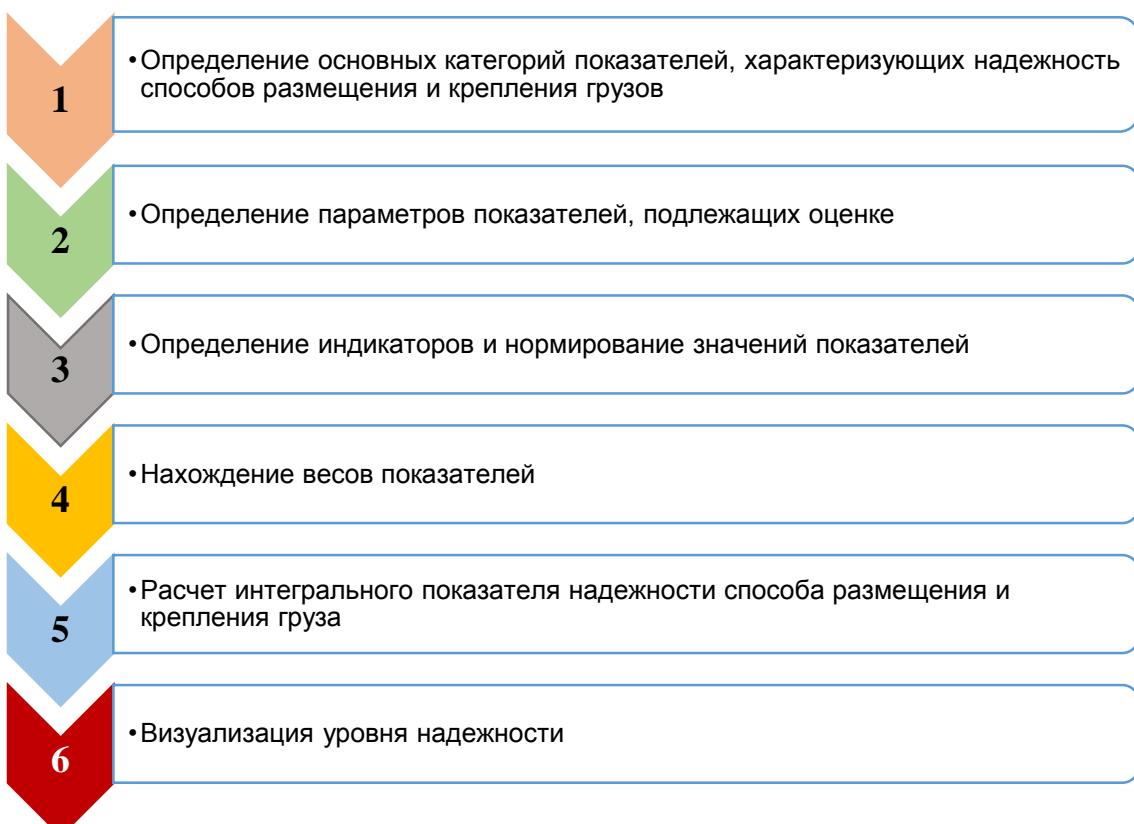
- прочность креплений груза;
- прочность деталей и узлов подвижного состава.

Определим перечень показателей, характеризующих надежность способов размещения и крепления грузов (табл. 1). Таблица состоит из четырех разделов с 11 показателями s_i , подлежащими оценке.

Приведем описание методов и алгоритмов расчета значений показателей надежности способов размещения и крепления груза на этапе разработки и согласования. Численные значения показателей надежности лежат в основе дальнейшего расчета интегрального показателя. Источником данных являются расчеты по обоснованию способов размещения и крепления, как правило, содержащиеся в расчетно-пояснительных записках.

Показатели s_i выделены в соответствии с методикой расчета способа размещения и крепления груза в вагонах, приведенной в ТУ [9, 10]. Каждому показателю соответствуют параметры B_i , подлежащие оценке.

Для каждого параметра показателя B_i экспертным методом установлен индикатор для его



Этапы формирования интегрального показателя надежности способа размещения и крепления груза на стадии разработки и согласования

Таблица 1

Перечень показателей, характеризующих надежность способа размещения и крепления грузов

№	Показатель s	Параметры показателя, подлежащие оценке, B	Индикаторы и значения параметров показателей, баллы
1	Категория «Размещение груза» (коэффициент весомости $a_1 = 0,25$)		
1.1	Общий центр тяжести грузов (вагона с грузом) ($s_{1.1}$)	Смещение общего центра тяжести груза в продольном направлении $l_{\text{см}}$ ($B_{1.1.1}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Смещение общего центра тяжести груза в поперечном направлении $b_{\text{см}}$ ($B_{1.1.2}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
1.2	Загрузка тележек ($s_{1.2}$)	Разница в загрузке тележек ΔR ($B_{1.2.1}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
1.3	Нагрузка на раму вагона ($s_{1.3}$) – при необходимости	Максимальное значение изгибающего момента рамы вагона $M_{\text{изг}}$ ($B_{1.3.1}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,7 – 0,89 – 0,5 0 – 0,69 – 1
2	Категория «Устойчивость» (коэффициент весомости $a_2 = 0,2$)		
2.1	Устойчивость груженого вагона ($s_{2.1}$)	Высота общего центра тяжести вагона с грузом $H_{\text{ц.т}}^0$ ($B_{2.1.1}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,75 – 0,89 – 0,5 0,57 – 0,74 – 1
		Поперечная устойчивость груженого вагона $(P_{\text{п}} + P_{\text{в}}) / P_{\text{ст}}$ ($B_{2.1.2}$) – при необходимости	Фактическое значение $(P_{\text{п}} + P_{\text{в}}) / P_{\text{ст}}$: $> 0,55 – 0$ $\leq 0,55 – 1$
		Площадь наветренной поверхности вагона с грузом $W_{\text{п}}$ ($B_{2.1.3}$) – для платформ	Фактическое значение / допустимое значение: 0,95 – 1 – 0 0,5 – 0,94 – 0,5 0 – 0,49 – 1
2.2	Устойчивость груза ($s_{2.2}$)	Коэффициент запаса устойчивости груза от опрокидывания при опрокидывании вдоль вагона $\eta_{\text{пр}}$ ($B_{2.2.1}$)	Выполнение условий исходя из значений максимального коэффициента: 1) при упругом креплении груза $\eta_{\text{пр}} \geq 1,25$; при жестком $\eta_{\text{пр}} \geq 2,0 – 1$; 2) $1,01 \leq \eta_{\text{пр}} \leq 1,25 – 0,8$; 3) $0,8 \leq \eta_{\text{пр}} \leq 1 – 0,6$; 4) $\eta_{\text{пр}} \leq 0,8 – 0,4$; 5) $\eta_{\text{пр}} \leq 1,25$ и $\eta_{\text{п}} \leq 1,25 – 0,4$
		Коэффициент запаса устойчивости груза от опрокидывания при опрокидывании поперек вагона $\eta_{\text{п}}$ ($B_{2.2.2}$)	Выполнение условий, исходя из значений максимального коэффициента: 1) при упругом креплении груза $\eta_{\text{п}} \geq 1,25$; при жестком $\eta_{\text{п}} \geq 2,0 – 1$; 2) $1,01 \leq \eta_{\text{п}} \leq 1,25 – 0,8$; 3) $0,8 \leq \eta_{\text{п}} \leq 1 – 0,6$; 4) $\eta_{\text{п}} \leq 0,8 – 0,4$; 5) $\eta_{\text{п}} \leq 1,25$ и $\eta_{\text{пр}} \leq 1,25 – 0,4$

№	Показатель <i>s</i>	Параметры показателя, подлежащие оценке, <i>B</i>	Индикаторы и значения параметров показателей, баллы
3	Категория «Прочность креплений груза» (коэффициент весомости <i>a₃</i> = 0,35)		
3.1	Усилия в креплениях (<i>s_{3.1}</i>)	Усилие в растяжке от сил, действующих в продольном направлении, $R_{p\ i}^{\text{np}}$ (<i>B_{3.1.1}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Усилие в растяжке от сил, действующих в поперечном направлении, $R_{p\ i}^{\text{n}}$ (<i>B_{3.1.2}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Усилие в обвязке от сил, действующих в продольном направлении, $R_{\text{об}}^{\text{np}}$ (<i>B_{3.1.3}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Усилие в обвязке от сил, действующих в поперечном направлении, $R_{\text{об}}^{\text{n}}$ (<i>B_{3.1.4}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Усилие в обвязке для крепления цилиндрического груза от перевертывания $R_{\text{п}}^{\text{об}}$ (<i>B_{3.1.5}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
3.2	Усилия, воспринимаемые креплениями (<i>s_{3.2}</i>)	Запас прочности креплений грузов в продольном направлении (<i>B_{3.2.1}</i>)	Минимальное фактическое значение суммарного продольного усилия, воспринимаемого всеми креплениями (элементами кузова полувлагона) / продольное усилие, которое должны воспринимать крепления: 1 – 1,05 – 0 1,15 – 1,04 – 0,5 1,15 и более – 1
		Запас прочности креплений грузов в поперечном направлении (<i>B_{3.2.2}</i>)	Минимальное фактическое значение суммарного поперечного усилия, воспринимаемого всеми креплениями / поперечное усилие, которое должны воспринимать крепления: 1 – 1,05 – 0 1,1 – 1,04 – 0,5 1,1 и более – 1
3.3	Прочность деревянных элементов крепления (<i>s_{3.3}</i>)	Напряжение сжатия и смятия подкладок, прокладок $\sigma_{\text{см}}^{\text{n}}$ (<i>B_{3.3.1}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Напряжение сжатия брусков от продольной силы $\sigma_{\text{см}}^{\text{бр.пр}}$ (<i>B_{3.3.2}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Напряжение сжатия брусков от поперечной силы $\sigma_{\text{см}}^{\text{бр.п}}$ (<i>B_{3.3.3}</i>)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1

Окончание табл. 1

№	Показатель s	Параметры показателя, подлежащие оценке, B	Индикаторы и значения параметров показателей, баллы
		Напряжение изгиба σ_i ($B_{3.3.4}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Напряжение среза σ_{cp} ($B_{3.3.5}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Напряжение сжатия подставки от груза $\sigma_{сж}^{подст}$ ($B_{3.3.6}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
		Напряжение сжатия брусьев в подставке груза $\sigma_{сж}^{подст.бр}$ ($B_{3.3.7}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,5 0 – 0,49 – 1
4	Категория «Прочность деталей и узлов подвижного состава» (коэффициент весомости $a_4 = 0,2$)		
4.1	Прочность деревянного пола платформ ($s_{4.1}$)	Напряжение сжатия и смятия досок пола $\sigma_{см}^B$ ($B_{4.1.1}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1
4.2	Прочность увязочных устройств ($s_{4.2}$)	Нагрузка на увязочные устройства платформы $P_{yb}^{пл}$ ($B_{4.2.1}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,95 – 1 – 0 0,5 – 0,94 – 0,75 0 – 0,49 – 1
		Нагрузка на увязочные устройства полувагона $P_{yb}^{пв}$ ($B_{4.2.2}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1
4.3	Прочность элементов кузова ($s_{4.3}$)	Нагрузка на поперечные балки полувагона $P_{п.б}$ ($B_{4.3.1}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1
		Изгибающий момент в основании стоек полувагона $M_{изг}^{ст}$ ($B_{4.3.2}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1
		Нагрузка на элементы кузова полувагона $P_k^{пв}$ ($B_{4.3.3}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1
		Нагрузка на люки полувагона P_l ($B_{4.3.4}$)	Максимальное фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,5 – 0,89 – 0,75 0 – 0,49 – 1

анализа. Под индикатором понимается количественный показатель в балльной системе (с диапазоном значений от 0 до 1 балла), где высшее значение балла соответствует наиболее полному выполнению требований (табл. 2).

Значение показателей надежности способа размещения и крепления грузов рассчитывается как среднеарифметическая сумма значений параметров показателя, подлежащих оценке, по формуле

$$s = \frac{\sum_{i=1}^k B_i}{k}, \quad (1)$$

где B_i – параметры показателя, баллы; k – количество параметров показателя, подлежащих оценке.

В том случае, когда расчет одного из приведенных параметров показателя не требуется, среднеарифметическое значение берется по оставшимся параметрам. Например, значение показателя $s_{2.1}$ вычисляется следующим образом: сумма значений параметров показателей оценки B_i : $B_{2.1.1}, B_{2.1.2}, B_{2.1.3}$ (см. табл. 2) – делится на $k = 3$:

$$s = \frac{0,5 + 1 + 0,5}{3} = 0,67.$$

Значение показателей надежности способов размещения и крепления грузов по категориям S рассчитывается как среднеарифмети-

ческая сумма значений показателей в пределах категории по формуле

$$S = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{m}, \quad (2)$$

где s_i – значения показателей надежности; m – количество показателей в каждой категории.

Например, для категории «размещение груза» применимы три показателя: $s_{1.1}, s_{1.2}, s_{1.3}$ – и $m = 3$.

Вычисление вышеуказанных среднеарифметических значений позволит определить обобщенный показатель надежности по каждой определяющей категории, а затем с использованием метода средневзвешенной комплексной оценки рассчитать интегральный показатель надежности способа размещения и крепления груза.

Использование индикаторов, вычисление интегрального показателя надежности позволяют пронормировать уровни надежности способов размещения и крепления грузов на этапе разработки и согласования и своевременно, адресно принимать меры по исключению потенциальных нарушений безопасности движения.

Таким образом, в статье рассмотрены первые три этапа методики определения интегрального показателя надежности способа размещения и крепления грузов. Остальные шаги будут проанализированы в следующих работах.

Пример вычисления параметров показателей

Параметры показателя, подлежащие оценке, B	Индикаторы параметров показателей оценки качества, баллы	Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение / допустимое значение	Значения параметров показателей оценки
Высота общего центра тяжести вагона с грузом $H_{\text{цт}}^o$ ($B_{2.1.1}$)	Фактическое значение / допустимое значение: 0,9 – 1 – 0 0,75 – 0,89 – 0,5 0,57 – 0,74 – 1	1 946	2 300	0,85	0,5
Поперечная устойчивость груженого вагона $(P_{\text{ц}} + P_{\text{в}}) / P_{\text{ст}}$ ($B_{2.1.2}$) – при необходимости	Фактическое значение $(P_{\text{ц}} + P_{\text{в}}) / P_{\text{ст}}$: $> 0,55 - 0$ $\leq 0,55 - 1$	0,46	–	–	1
Площадь наветренной поверхности вагона с грузом $W_{\text{п}}$ ($B_{2.1.3}$) – для платформ	Фактическое значение / допустимое значение: 0,95 – 1 – 0 0,5 – 0,94 – 0,5 0 – 0,49 – 1	45	50	0,9	0,5

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная методика расчета интегрального показателя надежности способов размещения и крепления грузов (на этапе разработки и согласования) базируется на определении основных показателей, заложенных в методике расчетного обоснования, и вычислении средневзвешенного значения.

2. Показатели надежности способов размещения и крепления грузов (на этапе разработки

и согласования) разбиты на четыре категории: размещение груза, устойчивость, прочность креплений груза, прочность деталей и узлов подвижного состава. Данные показатели отражаются грузоотправителями в расчетно-пояснительных записках к схемам погрузки.

3. Для параметров показателей, определяющих надежность способов погрузки, установлены индикаторы, которые позволяют путем определения среднеарифметических значений вычислять комплексное значение надежности по каждой категории показателей.

Список источников

1. Гордиенко А. А. О надежности способов размещения и крепления грузов при перевозке железнодорожным транспортом // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2023. № 9. С. 9–16.
2. О повышении надежности способов размещения и крепления грузов в вагонах / Е. Н. Тимухина, А. А. Гордиенко, В. В. Лесных, К. Э. Хамидуллина // Транспорт Урала. 2021. № 4 (71). С. 46–51.
3. Гордиенко А. А. О влиянии методики расчета на надежность способов размещения и крепления грузов // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление : сборник трудов Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2023. С. 189–193.
4. Клюшникова Е. В., Шитова Е. М. Методические подходы к расчету интегрального показателя // ИнноЦентр : электронный научно-практический журнал. 2016. № 1 (10). С. 4–18.
5. Методика построения интегрального показателя общества // ИЦРОН : инновационный центр развития образования и науки : [сайт]. URL: <https://goo.su/tyqwzj> (дата обращения: 21.10.2024).
6. Кюрджиев С. П., Мамбетова А. А., Пешкова Е. П. Интегральная оценка финансового состояния предприятий региона // Экономика региона. 2016. Т. 12, вып. 2. С. 586–601.
7. Квалиметрические модели качества пищевой продукции // Альтернатива : научно-производственное объединение : [сайт]. URL: <https://goo.su/BZnq> (дата обращения: 21.10.2024).
8. Зенченко С. В., Бережной В. И. Система интегральной оценки финансового потенциала региона и методика ее формирования // Региональные проблемы преобразования экономики. 2008. URL: <https://goo.su/g2yb> (дата обращения: 21.10.2024).
9. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Москва : Юртранс, 2003. 544 с.
10. Технические условия размещения и крепления грузов : приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) / Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД). URL: https://www.bmzm.ru/doc/tech_usl_gr.pdf (дата обращения: 21.10.2024).

References

1. Gordienko A. A. About reliability of the methods of placing and fastening of cargoes during carriage by railway transport. *Transport: Science, Technology, Management. Proceedings*. 2023;(9):9–16. (In Russ.).
2. Timukhina E. N., Gordienko A. A., Lesnykh V. V., Khamidullina K. E. About the reliability increase of the methods of the cargo placement and fastening in the wagons. *Transport of the Urals*. 2021;(71):46–51. (In Russ.).
3. Gordienko A. A. About the influence of the calculation methodology on the reliability of the methods of cargo placement and fastening. *Transport: Logistics, Construction, Operation, Management. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ekaterinburg; 2023. P. 189–193. (In Russ.).
4. Klyushnikova E. V., Shitova E. M. Methodological approaches to the calculation of the integral indicator. *Innocentre : electronic scientific and practical journal*. 2016;(10):4–18. (In Russ.).
5. Methodology of building an integral indicator of society. *ICRON: innovation centre for the development of education and science: [site]*. (In Russ.). URL: <https://goo.su/tyqwzj>.
6. Kyurdjiev S. P., Mambetova A. A., Peshkova E. P. Integral assessment of the financial condition of enterprises in the region. Integral assessment of the financial condition of enterprises in the region. *Regional Economics*. 2016;12(2):586–601. (In Russ.).

7. Qualimetric models of food product quality. *Alternative: scientific and production association: [site]*. (In Russ.). URL: <https://goo.su/BZnq>
8. Zenchenko S. V., Berezhnoy V. I. System of integral estimation of financial potential of the region and methodology of its formation. *Regional Problems of Economy Transformation*. 2008. (In Russ.). URL: <https://goo.su/g2yb>.
9. Technical conditions of placing and fastening of cargoes in wagons and containers. Moscow: Yurtrans; 2003. 544 p. (In Russ.).
10. Technical conditions for the placement and securing of goods. Annex 3 to the Agreement on International Railway Freight Traffic (SMGS). Organization for Co-operation between Railways (OSJD). (In Russ.). URL: https://www.bmzm.ru/doc/tech_usl_gr.pdf.

Информация об авторах

А. А. Гордиенко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения.

Е. Н. Тимухина – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. A. Gordienko – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Stations, Junctions and Freight Work Department, Urals State University of Railway Transport.

E. N. Timuhina – Doctor of Engineering, Professor of the Operational Work Department, Urals State University of Railway Transport.

Статья поступила в редакцию 23.04.2025; одобрена после рецензирования 30.04.2025; принята к публикации 14.05.2025.

The article was submitted 23.04.2025; approved after reviewing 30.04.2025; accepted for publication 14.05.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 625.142

doi 10.52170/1815-9265_2025_74_72

Анализ опыта эксплуатации участка с композитными шпалами с разработкой опытного технологического процесса замены шпал

София Викторовна Денисова¹, Александр Александрович Севостьянов^{2✉}

^{1,2} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ ms.dengr2312@yandex.ru

² seva2233@yandex.ru✉

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос использования композитных шпал на особогрузона-пряженных участках Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры. Представлены результаты комплексной оценки опытного участка с уложенными композитными шпалами на основании данных, предоставленных различными структурными подразделениями Западно-Сибирской железной дороги. Анализ состояния шпал и участка пути в целом проводился посредством натурных осмотров и с использованием результатов оценки путеизмерительным вагоном в период с мая 2023 г. по июнь 2024 г. Для точной привязки графической диаграммы к физическому расположению каждой шпалы использовались результаты видеоконтроля.

Участок с уложенными композитными шпалами оценивался как по состоянию геометрии рельсовой колеи, так и по распределению трудозатрат на линейном участке. Каждая шпала рассматривалась в отдельности по основным параметрам геометрии рельсовой колеи. Наибольший объем работ по содержанию рельсовой колеи на участке с композитными шпалами приходится на весенний период. За весь анализируемый период была выявлена одна неисправность по сужению рельсовой колеи, после регулировки ширины колеи данное отступление не повторялось.

В ходе исследования была разработана опытная технологическая карта работы по замене железобетонной шпалы на композитную. Выполнен хронометраж времени и зафиксированы основные проблемные места в производстве данной работы. Проведен расчет затрат труда на выполнение работ по замене шпал в зависимости от технологии и вида шпал и скреплений. За время эксплуатации композитных шпал продолжительностью один год в рамках текущего содержания участка железнодорожного пути явных трудностей в их эксплуатации, а также дефектов композитных шпал не обнаружено.

Ключевые слова: железнодорожный путь, текущее содержание, композитные шпалы, диагностика пути, опытный технологический процесс

Финансирование: исследование выполнялось в рамках реализации гранта ОАО «РЖД» «Оценка текущего содержания участка железнодорожного пути с уложенными композитными шпалами на перегоне К. – Ч.».

Для цитирования: Денисова С. В., Севостьянов А. А. Анализ опыта эксплуатации участка с композитными шпалами с разработкой опытного технологического процесса замены шпал // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 72–83. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_72.

TRANSPORT

Original article

Analysing the experience of operating a section with composite sleepers and developing a pilot technological process for replacing sleepers

Sofia V. Denisova¹, Alexander A. Sevostyanov^{2✉}

^{1,2} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ ms.dengr2312@yandex.ru

² seva2233@yandex.ru✉

Abstract. This article considers the issue of using composite sleepers on the heavy traffic sections of the West Siberian railroad. The results of complex estimation of the experimental section with composite sleepers on the basis of the data provided by different structural divisions of the West Siberian railroad are presented. The condition of the sleepers and the track section as a whole was analyzed both by means of on-site inspections and using the results of evaluation by a track measuring car in the period from May 2023 to June 2024.

The section with composite sleepers was evaluated for both the condition of the rail track geometry and the distribution of labour on the linear section. Each sleeper was considered separately in terms of the main parameters of rail track geometry. The largest volume of track maintenance works on the section with composite sleepers falls

on the spring period. For the whole period of analysis one failure of rail track narrowing was revealed, after adjustment of track gauge this deviation was not repeated.

In the course of the study was developed a pilot technological card for the work on the replacement of reinforced concrete sleeper composite. Timekeeping was performed and the main problem areas in the production of this work were recorded. The calculation of labour costs for the works on sleepers replacement depending on the technology and type of sleepers and fastenings has been carried out. During the operation of composite sleepers for one year within the the current maintenance of the track section, no obvious difficulties in their operation, as well as defects of composite sleepers, were found.

Keywords: railway track, maintenance, composite sleepers, track diagnostics, technological process

Financial Support: the study was carried out within the framework of the grant of 'Russian Railways' 'Assessment of current maintenance of the railway track section with laid composite sleepers at the K. – Ch. crossing'.

For citation: Denisova S. V., Sevostyanov A. A. Analysing the experience of operating a section with composite sleepers and developing a pilot technological process for replacing sleepers. *The Siberian Transport University Bulletin.* 2025;(74):72–83. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_72.

Введение

Подрельсовое основание, являющееся одним из основных элементов верхнего строения железнодорожного пути и играющее ключевую роль в обеспечении устойчивости и безопасности движения подвижного состава, может выполняться в виде отдельных штучных опор, располагаемых под каждой рельсовой нитью, шпал, продольных лежней, рам и плит. В подавляющем большинстве случаев применяются шпалы [1]. Устойчивость бесстыкового пути также зависит от характеристик подрельсового основания, что наиболее актуально для условий эксплуатации особогрузонапряженных линий [2, 3].

Железобетонные шпалы обладают такими преимуществами, как долговечность, прочность, морозоустойчивость, не требуют дополнительного антисептирования, обеспечивают устойчивое положение пути. В то же время они имеют большой собственный вес (около 275 кг), высокую электропроводимость, сложность монтажа (при раздельном типе скреплений), кроме того, путь на железобетонном основании обладает высокой жесткостью, что является весомым недостатком при эксплуатации бесстыковой конструкции пути [4].

В свою очередь, деревянные шпалы имеют небольшую массу, легкость обработки и монтажа, упругость, являются диэлектриками и легко прикрепляются к рельсам. Но деревянные шпалы подвержены гниению, требуют большого расхода древесины, также имеют небольшой срок службы, что приводит к более частым ремонтам и замене [4, 5]. Общим недостатком данных видов шпал является необходимость их утилизации, в частности сжигания деревянных и дробления железобетонных шпал [6].

Для устранения данных недостатков ведутся непрерывные исследования в области развития подрельсового основания [7, 8]. Одним из способов решения выступают композитные шпалы производства «АКСИОН РУС». Производитель заявляет такие преимущества композитных шпал, как высокий срок службы – более 50 лет, низкие расходы на содержание пути, исключение влияния гниения и воздействия ультрафиолета. Помимо этого, отмечается возможность многократного ремонта и перешивки пути за счет инновационной двухкомпонентной смеси для ремонта деревянных и композитных шпал ДСРШ, снижение уровня шума и вибрации за счет высокой упругости, диэлектрические свойства, способность выдерживать нагрузку свыше 35 т/ось, а также возможность повторной переработки по окончании жизненного цикла.

Материалы и методы исследования

В мае 2023 г. на особогрузонапряженном участке направления О–П Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры были уложены композитные шпалы. Всего уложено 25 шпал таким образом, чтобы была возможность проследить динамику изменений в целом на пути, при укладке от одной шпалы до четырех подряд, а также при укладке шпал в металлическом рельсовом стыке и изолирующем рельсовом стыке (рис. 1, а), 13 шпал из которых уложены на I пути и 12 – на II пути. Схема укладки шпал на I пути показана на рис. 1, в. Характеристика участков пути, где были уложены шпалы, представлена в табл. 1. Общий вид шпалы, уложенной в путь, изображен на рис. 1, б.

За основу проведения исследований была взята Дорожная карта реализации инновационного проекта, а также Программа и мето-

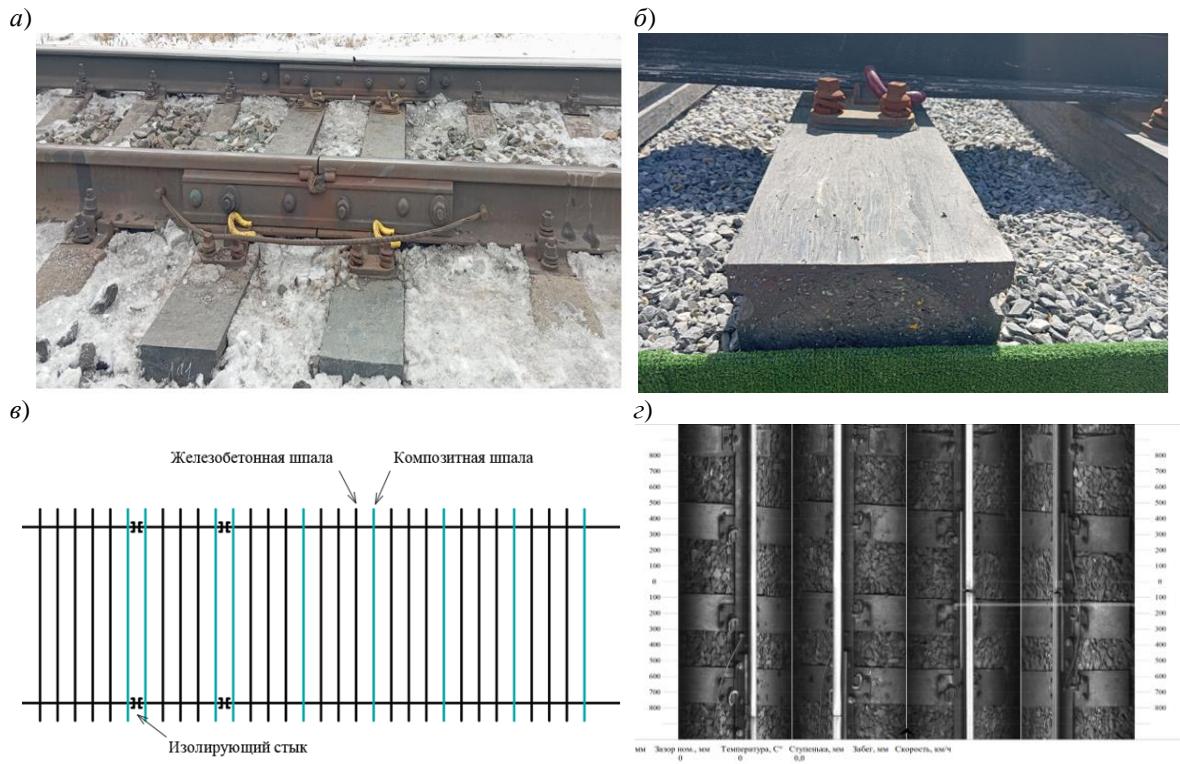


Рис. 1. Композитные шпалы на участке исследования:
 а – в металлическом стыке; б – вид шпалы с торца; в – схема укладки шпал по I пути;
 г – подвагонная видеофиксация

Таблица 1

Характеристика опытных участков пути

Характеристика	I путь (0 км 10 ПК – 1 км 1 ПК)	II путь (0 км 10 ПК)
Грузонапряженность, млн т бр./1 км в год	106,9	78,5
Пропущенный тоннаж, млн т бр.	1 270,3	995,8
Установленная скорость поездов (гр./пасс.), км/ч	0/80	0/80
План пути	Кривая ($R = 2\,600$ м)	Кривая ($R = 2\,157$ м)
Возвышение наружного рельса, мм	24	31
Загрязненность балласта	Более 30 %	Более 30 %
Тип скрепления на участке пути	ЖБР-65Ш	КБ65

дика эксплуатационных испытаний, разработанные ООО «АКСИОН РУС» и утвержденные главным инженером Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» П. Э. Шейном.

Так, на протяжении полутора лет производилась оценка состояния геометрии рельсовой колеи, конструкции шпал и скреплений, а также затрат труда, связанных с композитными шпалами. На опытном участке ежемесячно выполнялось визуальное обследование всех шпал и скреплений, с анализом их общего состояния и оформлением акта осмотра.

Оценка геометрии рельсовой колеи осуществляется при помощи таких программных комплексов, как ПК КВЛ-П и TrackView, вы-

ходными формами которых являются ведомость оценки состояния пути формы ПУ-32, графическая диаграмма, а также результаты обзорной и подвагонной съемок результатов проходов вагонов-путеизмерителей (см. рис. 1, г). Полученные результаты представляются в виде графиков, характеризующих изменение положения исследуемых шпал в плане, профиле и по уровню.

Определение затрат труда при текущем содержании проводилось на основе информации из журнала производства работ формы ПУ-74 начиная с даты заложения опытного участка. Помимо этого, для оценки текущего содержания опытного участка был выполнен анализ отказов технических средств в границах линейного участка.

С использованием данных видеофиксации при оценке состояния пути путеизмерительными вагонами получена привязка координат положения композитных шпал с точностью до миллиметра для дальнейшего анализа (см. рис. 1, 2).

Для каждой конкретной шпалы была найдена точная координата ее положения, после чего с графической диаграммы оценки состояния пути снимались данные о положении рельсовой колеи в плане, профиле и по уровню. Программные комплексы позволяют фиксировать параметры по координатам как уже в аппроксимированном виде (при расшифровке и выводе отступлений), так и сигнальные значения датчиков в конкретной точке (использовались для анализа).

Анализ осуществлялся в табличной форме, отдельно для положения нитей по уровню, ширине колеи, просадок и рихтовок. Следует отметить, что такие показатели, как уровень, ширина колеи и перекосы, составляются для одной нити. А показатели просадок и рихтовок снимаются датчиками отдельно для каждой нити, в этом случае графики были построены отдельно для каждой нити, после чего, ввиду их незначительного отличия, были составлены таблицы со средними значениями отклонений, на основании которых и строились окончательные графики.

Анализ распределения трудозатрат осуществлялся на основе данных технического отдела дистанции пути за период с 01.01.2023 по 01.06.2024. Стоит отметить, что исходя из климатических особенностей региона эксплуатации характер работ [9] разнится в зависимости от сезона. Вместе с тем изменения характера распределения трудозатрат, связанных с работой по смене шпал, в течение года не выявлено.

Для оценки трудозатрат на выполнение работ, связанных с содержанием шпал, была разработана опытная технологическая карта и проведены измерения времени выполнения каждой операции.

Результаты исследования

На первом пути отклонения по уровню (рис. 2, а) на композитных шпалах имеют схожую динамику для каждой шпалы, исключением стали лишь шпалы № 12 и 13. Также можно отметить влияние на оценку пути разных путеизмерительных вагонов.

Анализ графиков изменения ширины колеи (см. рис. 2, б) показывает, что это самый неравномерно изменяющийся параметр.

На первом пути критических отклонений от нормируемого значения не было выявлено. Однако 14 декабря мы видим резкое уменьшение ширины колеи на шпале № 11.

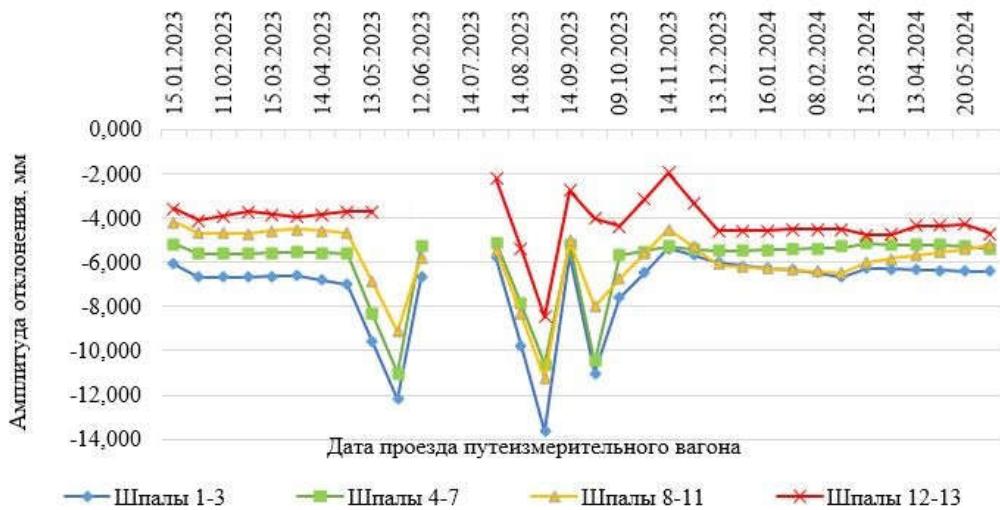
На графике изменения стрел изгиба по первому пути (рис. 3, а) заметны три характерных скачка – 30 мая, 29 августа и 29 сентября. Во время остальных проверок стрелы изгиба либо не менялись вовсе, либо изменялись незначительно. Это можно объяснить тем, что в указанные даты проверка состояния пути производилась вагонами Декарт 270 или ДКИ 314, в то время как основным путеизмерительным средством, проезжающим по данному направлению, является вагон КВЛ-П2.1 № 110 или 116. Различные мобильные путеизмерительные средства имеют разное программное обеспечение, различную настройку и калибровку параметров, каждое путеизмерительное средство использует свою базу данных, а также базу паспортных данных, обновляющихся в разные периоды проведения технического обслуживания. Притом стоит отметить, что показания датчиков вагонов-путеизмерителей будут варьироваться в зависимости от состояния окружающей среды, погодных условий, настроек оператора калибровки.

На рис. 3, б показаны графики просадок. В данном случае ситуация похожа на изменение уровня. На первом пути линии достаточно кучно и симметрично меняют свои значения.

Для каждого из графиков первого пути характерна одна особенность – шпалы № 12 и 13 значительно отличаются отклонениями основных параметров геометрии рельсовой колеи от остальных композитных шпал. Это объясняется их удаленностью от первых одиннадцати шпал. Шпалы № 1–11 уложены в пределах третьего звена (с заходом на четвертое) 10 ПК, расстояние между ними составляет не больше 3 м. Шпалы № 12 и 13 находятся на первом звене 1 ПК следующего километра. План пути в месте укладки шпал № 12 и 13 меняет свой характер: участок становится более прямолинейным, стрелочные переводы находятся уже не в такой близости.

Для шпал, уложенных по второму пути, также был произведен подобный анализ. Динамика изменений параметров рельсовой колеи повторяет графики, представленные для первого пути. Серьезных отличий в состоянии геометрии рельсовой колеи не наблюдается.

a)



б)



Рис. 2. График изменения уровня (a) и ширины (б) рельсовой колеи

Стоит отметить, что ширина рельсовой колеи в сентябре 2023 г. сузилась до критических значений в месте укладки четырех шпал подряд. Шпалы по второму пути уложены на более сложном участке, расположение на нем стыков по наугольнику не является возможным ввиду сложностей плана линии. Также укладка принципиально нового типа шпал производилась впервые, персонал, укладывающий шпалы, не был обучен работе с данными шпалами, а также нет утвержденного технологического процесса на их укладку.

При выявлении данной неисправности была проведена перешивка пути, после чего в дальнейшем проблем с изменением ширины колеи выявлено не было, в том числе в зимний период и в весенний (при оттаивании балласта).

Если же анализировать геометрию рельсовой колеи на основании ПУ-32, то на участке сложенными композитными шпалами количество отступлений II – III незначительно (в пределах 3–4 шт./км). По первому пути выявлено четыре таких отступления на километр. И все они в местах шпал № 12 и 13. По второму пути ситуация несколько хуже. Начиная с марта на 8961–8968 м неоднократно был обнаружен перекос. Дважды были зарегистрированы просадки. На этом же пути было и сужение IV степени.

Благодаря подвагонной и обзорной съемкам можно было не только точно привязаться к координатам шпал, но и оценить их состояние визуально. Как видно из рис. 4, композитная шпала, координата которой 8963 м, уло-

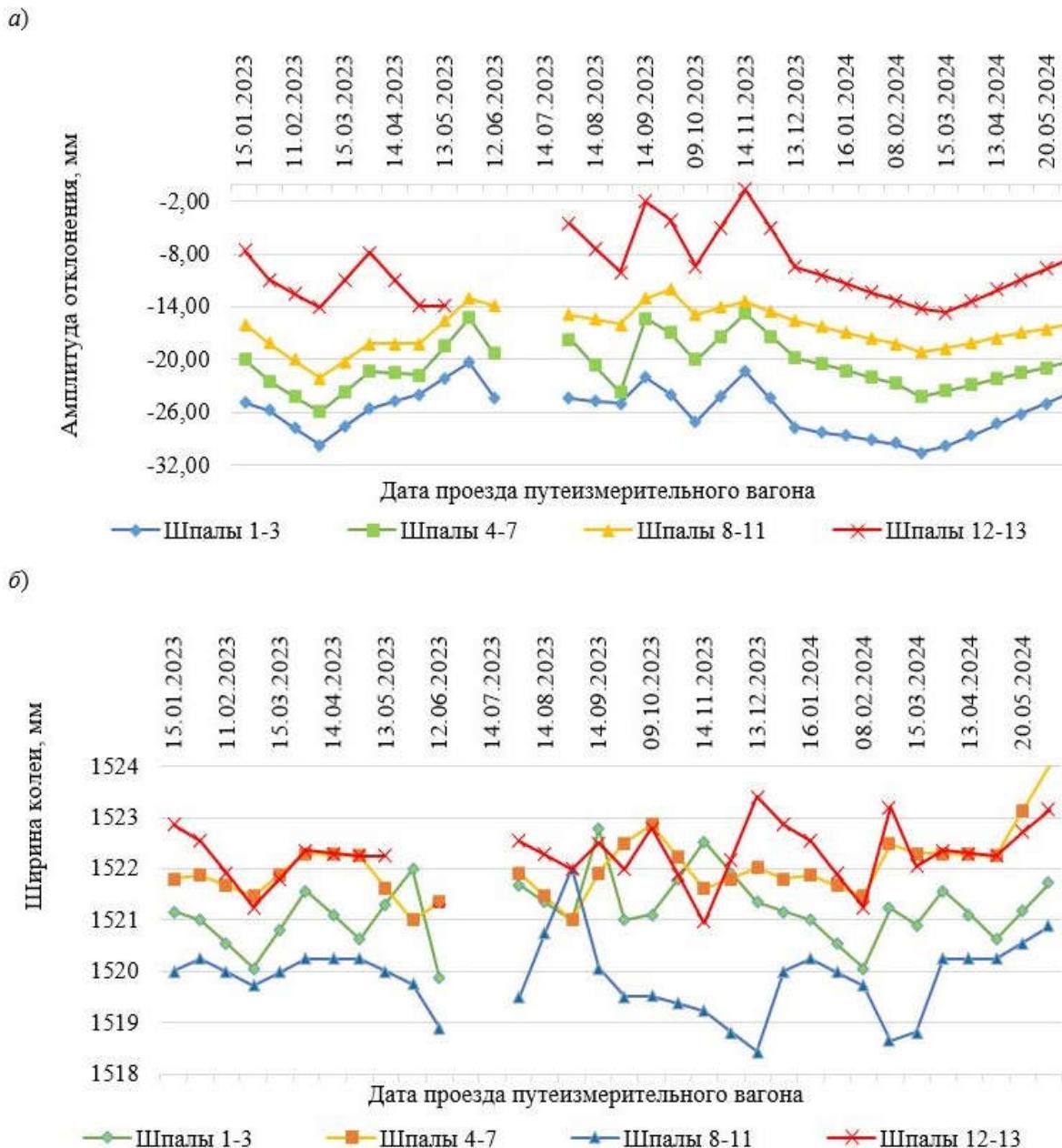


Рис. 3. График изменения стрел изгиба (а) и просадок (б)

жена не по эпюре и имеет отклонение от горизонтальной оси. Данный фрагмент взят из подвагонной съемки 10 октября 2023 г.

Смещение подкладки объясняется тем, что при укладке шпалы в путь она изначально была уложена с некоторым отклонением по эпюре и смещением подкладки ввиду стесненного плана пути из-за близкого к этому участку расположения стрелочного перевода.

По этой причине, а также ввиду отсутствия опыта по укладке композитных шпал в сентябре 2023 г. произошло сужение пути IV степени именно на данной шпале. Устранение неисправности производилось незамедлительно, так как

несло угрозу безопасному пропуску поездов с установленной скоростью. После перешивки пути остались просверленные при первой укладке отверстия по причине отсутствия в дистанции специализированного раствора для их заполнения. Повторов неисправности на данном участке в дальнейшем зафиксировано не было.

Также можно заметить дополнительно просверленные отверстия, которые являются результатом перешивки пути, произведенной после зафиксированной неисправности по сужению.

Опытная замена железобетонной шпалы на композитную проводилась в пределах Н дистан-

ции пути на станции Н–В. Замена шпалы была выполнена на подъездном пути № 18, полная длина которого составляет 572 м, силами бригады монтеров пути по планово-предупредительным работам в составе четырех монтеров пути и дорожного мастера. Фотографии, сделанные при проведении опытного технологического процесса, представлены на рис. 5.

В связи с тем что отсутствуют установленные нормы времени на работы с композитными шпалами, в рамках исследования был

произведен хронометраж данной работы. Для разработки опытного технологического процесса при проведении замены железобетонной шпалы на композитную использовалась видеофиксация, для контроля затраченного времени на каждую отдельную операцию – поверенный секундомер. После непосредственного проведения хронометража производилась сверка по видеофиксации.

Такие операции, как рыхление балласта и очистка шпалового ящика, сдвигка шпалы в

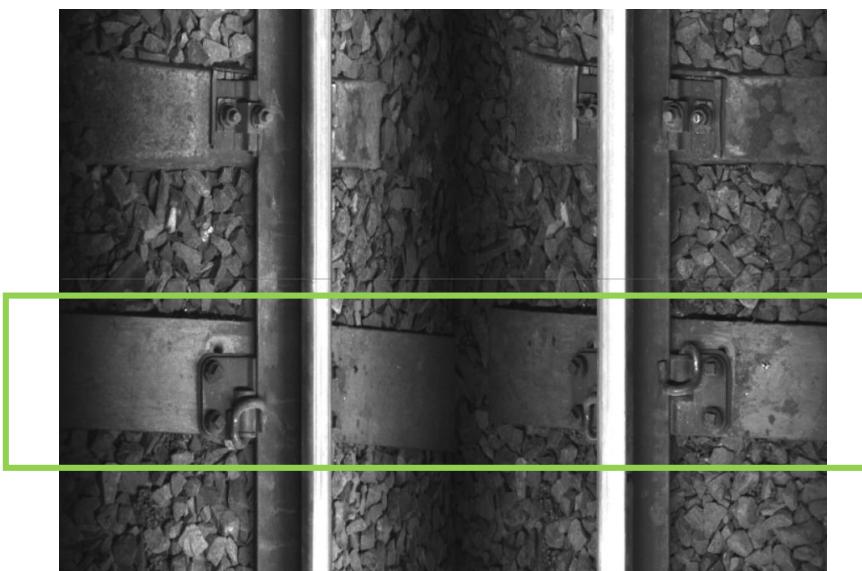


Рис. 4. Фрагмент подвагонной видеосъемки. II путь



Рис. 5. Фотографии проведения опытного технологического процесса по замене железобетонной шпалы на композитную:

а – сверление болтовых отверстий; б – общий вид элементов скрепления ПКД (промежуточное рельсовое скрепление для деревянных шпал); в – вид установленной шпалы; г – установка клеммы типа ПКД

шпальный ящик, удаление шпалы, подготовка постели шпалы, заведение шпалы, поправка ее по эпюре, очистка шпалы и шпального ящика от стружки, засыпка шпального ящика и подбивка шпал при помощи электрошпалоподбоек, оценивались с момента взятия монтерами путем ручного инструмента и постановки его в рабочее положение до окончания данной операции.

Для каждой отдельной операции, которая повторялась неоднократно (сверление отверстий для установки шурупов, установка и завинчивание шурупов, установка клемм), было посчитано и выведено среднее значение (табл. 2).

По данным таблицы видно, что затраченное время достаточно сильно варьируется. При сверлении отверстий следует учесть налипание стружки на сверло, при установке и завинчивании шурупов – состояние используемого шурупа и качество отверстия, при установке клемм – состояние клемм и отверстий под них.

Самыми трудозатратными операциями при проведении смены шпалы оказались рыхление балласта и очистка шпального ящика. Существенное количество времени ушло и на завинчивание шурупов. Для оптимизации данной

операции следует рассмотреть завинчивание с использованием средств малой механизации. Также при укладке в путь композитной шпалы затрачивается время на очистку шпалы, скреплений и шпальных ящиков от пластиковой стружки, которая крупнее деревянной и не разлагается в течение длительного времени, что существенно засоряет балласт (рис. 6).

Затраты труда на замену железобетонной шпалы (одиночной) на щебеночном балласте при скреплении КБ65 на композитную шпалу при скреплении ПКД рассчитаны для основных работ. Те операции, которые связаны с железобетонной шпалой и скреплением КБ65, рассчитаны в соответствии с [10], также представлены фактические результаты хронометражка. Операции, производимые с композитной шпалой и скреплением ПКД, представлены только результатами хронометражка, так как на работы с данным видом шпал еще нет принятых норм времени либо технологических карт. Расчет затрат труда велся в табличной форме (табл. 3). Коэффициент технического добавочного времени принимается равным 1,25, так как при замене шпалы ограждение происходит по заявке формы № 2.

Среднее значение затраченного времени, с

Операция	Результат измерения								Итого на узел		Принятое значение	
	Номер измерения по левой нити				Номер измерения по правой нити				по левой нити	по правой нити		
	1	2	3	4	5	6	7	8				
Сверление отверстий	24	15	14	14	24	18	20	14	77	86	81,5	
Установка и завинчивание шурупов	91	96	127	137	71	102	68	67	451	308	379,5	
Установка клемм	31		62		34		59		186	186	186	



Рис. 6. Объем пластиковой стружки после просверливания двух отверстий под шурупы

Таблица 3

Ведомость затрат труда

Вид работы	Измеритель	Объем работ	Норма оперативного времени на измеритель, нормо-мин	Количество исполнителей, чел.	Нормативная продолжительность работы с учетом коэффициента, мин	Продолжительность на основе хронометражка проведения работы, мин	Продолжительность на основе хронометражка проведения работы с учетом коэффициента, мин
Отрывка балласта из шпального ящика на глубину 7 см ниже подошвы шпалы с рыхлением и устройством в одну сторону	Шпальный ящик	1	23,40	3	11,31	10,70	13,38
Очистка скреплений от грязи на сменяемой шпале	Конец шпалы	2	0,50	1	1,45	0	0
Отвинчивание гаек клеммных болтов и снятие клемм с болтами	Болт	4	0,55	2	1,06	1,67	2,09
Отвинчивание и снятие гаек закладных болтов	Гайка	4	0,60	2	0,87	1,07	1,34
Снятие двуххвитковых и плоских шайб и изолирующих втулок	Болт	4	0,87	4	1,27	0,23	0,29
Вытаскивание закладных болтов	Болт	4	0,35	4	2,03	0,30	0,38
Сдвижка шпалы в шпальный ящик	Шпала	1	3,20	4	1,16	0,59	0,74
Снятие подкладок без вывески рельсов	Подкладка	2	0,31	2	0,45	0,23	0,59
Снятие подрельсовых прокладок	Прокладка	2	0,31	2	0,45	0,24	0,60
Вытаскивание шпалы на междупутье	Шпала	1	14,20	4	5,15	1,50	1,88
Подготовка постели под новую шпалу с планировкой балласта	Постель	1	1,96	2	1,42	2,00	2,50
Затаскивание новой шпалы в путь и поправка ее по меткам	Шпала	1	1,70*	2	2,12*	0,85	1,06
Установка резиновых (изолирующих) прокладок под путевые подкладки	Прокладка	2	0,26*	2	0,32*	0,13	0,31
Надвижка подкладок по подошве рельсов на место	Подкладка	2	0,26*	2	0,32*	0,13	0,31
Сверление отверстий под путевые шурупы	Отверстие	8	5,44*	2	6,80*	2,72	3,40
Очистка шпалы от пластиковой стружки	Конец шпалы	2	0,54*	2	0,68*	0,27	0,34
Ввертывание шурупов	Шуруп	8	12,70*	2	15,88*	6,35	7,94
Постановка клемм	Клемма	4	3,10*	2	3,88*	1,55	3,88
Очистка шпального ящика от пластиковой стружки	Шпальный ящик	2	4,16*	2	5,20*	2,08	2,60
Засыпка шпального ящика (без вывески рельсов)	Шпальный ящик	1	6,90*	2	8,62*	3,45	4,31
Подбивка шпалы на длине 1 м от ее торцов	Шпала	1	5,36	2	7,77	5,68	7,10
Подброска балласта при подбивке шпалы	Шпальный ящик	1	1,36	2	1,97	1,15	1,44
<i>Итого</i>						39,12	50,82

* Норма времени по результатам хронометражки.

Таблица 4

Расчет стоимости затрат труда на смену шпал

Параметр	Смена деревянной шпалы со скреплением КД	Смена деревянной шпалы со скреплением КД на железобетонную со скреплением КБ65	Смена железобетонной шпалы со скреплением КБ65	Смена железобетонной шпалы со скреплением КБ65 на композитную со скреплением ПКД
Оперативное время на смену шпалы, ч	1,065	1,687	1,975	2,085
Средняя тарифная ставка исполнителей, р.	119,76	119,76	138,86	138,86
Зарплата по тарифу, р.	127,54	202,04	274,25	289,52
Доплата за тяжелые условия, р.	5,10	8,08	10,97	11,58
Зональная надбавка, р.	31,89	50,51	68,56	72,38
Премирование, р.	126,27	200,01	271,51	286,63
Районный коэффициент, р.	58,16	92,13	125,06	132,02
<i>Стоимость затрат труда, р.</i>	<i>552,77</i>	<i>647,14</i>	<i>792,15</i>	<i>404,62</i>

Время, затраченное на замену железобетонной шпалы композитной, составило 39,12 мин, с учетом коэффициента технического добавочного времени – 50,82 мин. В общем, затраты труда на замену железобетонной шпалы со скреплением КБ65 на композитную шпалу со скреплением ПКД равны 88,03 чел.-мин.

После проведения опытного технологического процесса и составления по нему опытной технологической карты смены железобетонной шпалы на композитную было произведено сравнение стоимости затрат труда на проведение работ по смене шпал в зависимости от их типа. В качестве исходных данных было принято оперативное время проведения смены шпалы, в зависимости от ее типа и типа используемого промежуточного скрепления, а также тарифная ставка исполнителей.

В табл. 4 представлен вариативный расчет в зависимости от применяемого технологического процесса и вида заменяемых шпал с учетом вида скреплений.

Стоит отметить, что в таблице рассмотрен вариант с заменой железобетонной шпалы на композитную по причине того, что объективные данные по затратам труда могут быть получены только в ходе проведения опытного технологического процесса. При замене композитной шпалы на композитную стоимость затрат труда может быть ниже.

Заключение

За время эксплуатации композитных шпал продолжительностью один год в рамках текущего содержания участка железнодорожного пути явных трудностей в их эксплуатации, а

также дефектов композитных шпал обнаружено не было.

С точки зрения обеспеченности безопасного движения поездов нарушений выявлено не было, повышенной дефектности, а также отказов технических средств (дефектов и нарушений целостности шпал) не обнаружено. В содержании геометрии рельсовой колеи существенных проблем не возникло, за исключением одной неисправности по содержанию ширины колеи, которая явилась следствием недостаточной квалификации монтеров пути при укладке шпал в путь, а также сложности самого участка.

Для формирования данных выводов был проведен анализ результатов оценки состояния пути, графических диаграмм, в том числе результатов видеорасшифровки, анализ отказов технических средств, визуальный осмотр, расшифровка радарограмм, отчетных ведомостей дистанции пути.

Так как нет утвержденных норм времени и технологических процессов по работе с композитными шпалами, в рамках исследования был разработан опытный технологический процесс по замене железобетонной шпалы со скреплением КБ65 на композитную шпалу со скреплением ПКД. По результатам хронометража и расчетам затрат труда выявлено, что для замены железобетонной шпалы на композитную потребуется 88,03 нормо-мин, а бригада монтеров пути из четырех человек производит замену за 39 мин (без учета коэффициента технического добавочного времени).

С точки зрения выполнения работ по укладке композитной шпалы и трудозатрат на них есть

отдельные вопросы, требующие более детального рассмотрения в дальнейшем. Во-первых, высоки трудозатраты на сверление отверстий под путевые шурупы при укладке шпалы. Это связано с необходимостью высокой концентрации исполнителя, а также удалением стружки со сверла, шпалы и балластной призмы.

Во-вторых, необходимо совершенствование конструкции используемого скрепления. Конструкция скрепления ПКД не предусматривает возможности укладки регулировочной подрельсовой прокладки, исправления ширины колеи, что приводит к дополнительным трудозатратам.

Для повышения эффективности следует рассмотреть скрепление по типу ЖБР-65ПШР с модификацией подкладки под данный вид шпал.

Также для возможного использования композитных шпал необходим пересмотр и внесение изменений в действующие нормы времени и следующие инструкции:

- Правила назначения ремонтов железнодорожного пути;
- Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути;
- Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути.

Список источников

1. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь : учебник для вузов железнодорожного транспорта. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1969. 536 с.
2. Карпушченко Н. И., Ардышев И. К. Новые проблемы содержания бесстыкового пути на особогрузо-напряженных участках // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (64). С. 5–14.
3. Карпушченко Н. И., Ардышев И. К., Ермаканова Р. С. Устойчивость бесстыкового пути к поперечному сдвигу под поездом // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1 (56). С. 57–64.
4. Ее величество шпала // Гудок : [сайт]. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1254525>. Дата публикации: 13.02.2015.
5. Шпалы разные нужны // Гудок : [сайт]. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=771951>. Дата публикации: 01.11.2003.
6. Плисов О. Ю. Способы утилизации шпал // Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте : сборник статей III Международной студенческой конференции. Воронеж : филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеже, 2021. С. 177–180.
7. Певзнер В. О., Петропавловская И. Б., Громова Т. И. Уточнение модуля упругости современных конструкций // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2015. Т. 8, № 8. С. 39–43.
8. Хвостик М. Ю. Шпалы композитные как альтернатива деревянным // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2016. № 3. С. 179–182.
9. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 2288/р от 14.11.2016. Москва, 2016. 286 с.
10. Нормы времени на работы по текущему содержанию пути. Часть 1. Работы по балласту и шпалам : утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2707/р от 22.12.2017. Москва, 2017. 115 с.

References

1. Shakhunyants G. M. The railway way: textbook for universities of railway transport. 2nd edition, reprinted and added. Moscow: Transport; 1969. 536 p. (In Russ.).
2. Karpushchenko N. I., Ardyshев I. K. New problems of maintenance of a joint-less track on especially heavily stressed sections. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2023;(64):5–14. (In Russ.).
3. Karpushchenko N. I., Ardyshев I. K., Ermakhanova R. S. Stability of a joint-less track to transverse shear under a train. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2021;(56):57–64. (In Russ.).
4. Her Majesty the sleeper. *Gudok*: [site]. Moscow, 2022. (In Russ.). URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=771951>
5. Different sleepers are needed. *Gudok*: [site]. Moscow, 2022. (In Russ.). URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=771951>
6. Plisov O. Y. Methods of disposal of sleepers. *Modern Safety Technologies in Railway Transport*. 2021. P. 177–180. (In Russ.).

7. Pevsner V. O., Petropavlovsk I. B., Gromova T. I. Clarification of the modulus of elasticity of modern structures. *The Introduction of Modern Structures and Advanced Technologies in the Railway Industry*. 2015;8(8):39–43. (In Russ.).
8. Khvostik M. Yu. Composite sleepers as an alternative to wooden ones. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*. 2016;(3):179–182. (In Russ.).
9. Instructions for the current maintenance of the railway track: approved by Rospotrebnadzor. Russian Railways No. 2288/r dated 14.11.2016. Moscow; 2016. 286 p. (In Russ.).
10. Time limits for work on the current maintenance of the path. Part 1. Work on ballast and sleepers. Approved by rasp. Russian Railways No. 2707/r dated 22.12.2017. Moscow; 2017. 115 p. (In Russ.).

Информация об авторах

С. В. Денисова – аспирант Сибирского государственного университета путей сообщения.
А. А. Севостянов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

S. V. Denisova – Postgraduate of Siberian Transport University.
A. A. Sevostyanov – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Track and Track Facility Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 24.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 21.05.2025.
The article was submitted 24.01.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 21.05.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.072

doi 10.52170/1815-9265_2025_74_84

Оценка влияния организации пассажирских перевозок на качество транспортного обслуживания населения крупных городов

Алексей Леонидович Манаков¹, Сергей Александрович Коларж^{2✉},
Егор Максимович Саломатов³

^{1, 2, 3} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ manakov005@mail.ru

² kolarzh@yandex.ru

³ salomatow.e@yandex.ru

Аннотация. В статье исследуется роль муниципальной маршрутной сети в обеспечении экономического и социального функционирования крупных городов с численностью свыше 1 млн чел. Особое внимание уделяется влиянию таких параметров, как транспортная инфраструктура, вид тарифа, стоимость проезда в пассажирском автотранспорте, пассажиропоток. Осуществлен анализ зависимости качества предоставляемых транспортных услуг местному населению от эффективности работы действующей муниципальной маршрутной сети.

В работе использованы данные из реестров муниципальных маршрутов регулярных перевозок на территории анализируемых городов, нормативно-правовые документы по организации пассажирских перевозок, методические рекомендации и статистические данные, влияющие на функционирование муниципальной маршрутной сети. Полученные результаты демонстрируют взаимосвязь между параметрами маршрутной сети и уровнем удовлетворенности пассажиров, а также указывают на необходимость комплексного подхода к ее планированию и оптимизации.

Установленная взаимосвязь между параметрами муниципальной маршрутной сети и уровнем удовлетворенности пассажиров служит основанием для формирования рекомендаций по улучшению транспортного обслуживания в крупных городах. В частности, результаты анализа подчеркивают важность оптимизации маршрутной сети в соответствии с действительными потребностями населения и динамикой пассажиропотока.

В заключение приведен анализ структуры подвижного состава и факторов, влияющих на пассажирские перевозки в анализируемых городах, который указывает на необходимость индивидуального подхода к формированию транспортных решений. Успешная организация системы общественного транспорта, способной удовлетворить потребности местного населения, и управление ею требуют комплексного исследования существующей инфраструктуры, прогнозирования ее развития и учета взаимодействия ключевых факторов, таких как типы транспортных средств, тарифная политика, пассажиропоток и расстояние между остановочными пунктами.

Ключевые слова: общественный транспорт, транспортная инфраструктура, пассажирские перевозки, транспортное обслуживание, транспортная система, муниципальное управление

Для цитирования: Манаков А. Л., Коларж С. А., Саломатов Е. М. Оценка влияния организации пассажирских перевозок на качество транспортного обслуживания населения крупных городов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 84–93. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_84.

TRANSPORT

Original article

Impact assessment of passenger transportation organization on the quality of transport services for the population of large cities

Alexey L. Manakov¹, Sergey A. Kolarzh^{2✉}, Egor M. Salomatov³

^{1,2,3} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ manakov005@mail.ru

² kolarzh@yandex.ru

³ salomatow.e@yandex.ru

Abstract. The article examines the role of the municipal routing network in cities with population exceeding 1 million as an integral component that facilitates the economic and social functioning of large urban centers. Particular attention is given to the influence of various parameters such as transport infrastructure, tariff types, fare costs in passenger road transport, and passenger flow. An analysis is conducted to investigate the dependency of the quality of transport services provided to the local population on the effectiveness of the existing municipal routing network.

The study utilizes data from the registries of municipal regular transport routes in the cities under analysis, regulatory legal documents regarding the organization of passenger transportation, methodological recommendations, and statistical data that impact the functioning of the municipal routing network. The results obtained demonstrate the interrelationship between the parameters of the routing network and passenger satisfaction levels, as well as emphasize the necessity of a comprehensive approach to its planning and optimization.

The established correlation between the parameters of the municipal route network and the level of passenger satisfaction serves as a basis for formulating recommendations to improve public transportation services in large cities. In particular, the results of the analysis emphasize the importance of optimizing the route network in accordance with the actual needs of the population and the dynamics of passenger flow.

The conclusion of the study presents the analysis of the rolling stock structure and the factors influencing passenger transport in the cities under examination, indicating the necessity for an individualized approach to formulating transportation solutions. The successful organization and management of a public transportation system capable of meeting the needs of the local population require a comprehensive study of the existing infrastructure, forecasting its development, and taking into account the interactions of key factors such as the types of vehicles, tariff policies, passenger flow, and the distances between stops.

Keywords: public transport, transport infrastructure, passenger transportation, transport service, transport system, municipal management

For citation: Manakov A. L., Kolarzh S. A., Salomatov E. M. Impact assessment of passenger transportation organization on the quality of transport services for the population of large cities. *The Siberian Transport University Bulletin.* 2025;(74):84–93. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_84.

Введение

Неотъемлемой частью как экономического, так и социального сегмента крупных городов являются транспортные средства. В зависимости от таких факторов, как время в пути, комфорт и стоимость проезда, определяются корреспонденции пассажиров, проживающих в городе, на общественном и на индивидуальном транспорте [1].

В зависимости от корреспонденций пассажиров на общественном транспорте формируется потребность в отправлении и прибытии в пункт назначения. Вследствие чего осуществляется отмена, изменение или установление муниципального маршрута регулярных перевозок в соответствии с Федеральным законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ. При этом, когда общественный транспорт ранее не проезжал по маршруту, по которому предполагается движение, необходимо провести обследование на соответствие дорожным условиям и безопасности дорожного движения согласно нормативно-правовым документам.

Для дальнейшего развития пассажирского автотранспорта по муниципальным маршрутам регулярных перевозок необходимо учитывать потребность всех участников транспортного процесса: пассажиров, перевозчиков и администрации городов. Это включает в себя модерни-

зацию транспортной инфраструктуры, обновление подвижного состава, повышение качества услуг и внедрение новых технологий [2].

Большинство остановочных пунктов размещают в местах с высокой концентрацией потенциальных пассажиров для сокращения времени их пешего передвижения, что приводит к уменьшению общего времени нахождения пассажиров в пути. Такой подход повышает привлекательность общественного транспорта и ведет к росту пассажиропотока, что, как следствие, создает условия для увеличения объемов пассажирских перевозок [3]. Таким образом, существует взаимосвязь между доступностью остановочных пунктов пассажирского транспорта и динамикой пассажирских перевозок.

Для улучшения качества обслуживания пассажиров, сокращения времени ожидания пассажирского автотранспорта и уменьшения загруженности автомобильных дорог необходимо оптимизировать муниципальные маршруты и расположение остановочных пунктов с учетом особенностей пассажиропотока.

Материалы и методы исследования

В соответствии с законодательством Российской Федерации ведение реестра муниципальных маршрутов регулярных перевозок осуществляется уполномоченными органами исполнительной власти субъекта Российской

Федерации или уполномоченным органом местного самоуправления.

В реестрах муниципальных маршрутов размещаются следующие их характеристики: регистрационный и порядковый номер; остановочные пункты; улицы, по которым осуществляется движение транспортных средств; протяженность, вид регулярных перевозок; виды, классы, экологические характеристики транспортных средств; максимальное количество, характеристики транспортных средств каждого класса и иные сведения.

В целях определения эффективности функционирования муниципальной маршрутной сети пассажирского автотранспорта проанализированы реестры муниципальных маршрутов регулярных перевозок городов Новосибирска, Екатеринбурга, Перми и Омска.

Исследование эффективности пассажирских транспортных систем в вышеуказанных городах связано с высокой плотностью населения и значительными объемами пассажирских перевозок. Посредством действующей транспортной инфраструктуры и экономических факторов возможно оценить качество предоставления транспортных услуг, а также работу пассажирского автотранспорта [4]. Анализ этих аспектов позволяет выявить закономерности и улучшить организацию пассажирских перевозок.

На основании статистических данных [5] об эффективности пассажирских перевозок, осуществляющихся наземным муниципальным транспортом как по регулируемым, так и по нерегулируемым тарифам, определены преимущества и недостатки действующих в анализируемых городах муниципальных маршрутных сетей.

Результаты исследования

На основе данных, полученных из реестров муниципальных маршрутов регулярных перевозок Новосибирска, Екатеринбурга, Перми, Омска, выявлены закономерности применения

различных видов пассажирского автотранспорта на муниципальной маршрутной сети.

Ниже приведены сведения о количестве подвижного состава, обеспечивающего транспортное обслуживание населения указанных городов (табл. 1) [6–9].

В Новосибирске и Омске для осуществления пассажирских перевозок в большей степени применяются автобусы малого класса, тогда как в Екатеринбурге – среднего класса, а в Перми – большого. Также из приведенной таблицы следует, что в Перми отсутствует троллейбусная сеть ввиду высокой стоимости ее обслуживания и низкого пассажиропотока, а наибольшее количество подвижного состава применяется в Омске.

При сравнении подвижного состава учитывается, что численность населения в вышеуказанных городах разная, в связи с этим определено процентное соотношение вида пассажирского автотранспорта и общего количества пассажирских транспортных средств, задействованных на муниципальных маршрутах регулярных перевозок. Сравнение подвижного состава анализируемых городов приведено на рис. 1.

Диаграмма показывает: маршрутная сеть Омска и Перми построена на определенных видах подвижного состава, что свидетельствует о высоком спросе среди населения, но одновременно создает риски ограничения мобильности пассажиров и устойчивости транспортной системы из-за недостатка альтернатив. Екатеринбург и Новосибирск выделяются более уравновешенной структурой, предоставляющей местным жителям больше возможностей для выбора способа передвижения общественным транспортом. Кроме того, необходимо отметить наличие метрополитена в Екатеринбурге и Новосибирске, который позволяет в значительной степени снижать нагрузку на маршрутную сеть данных городов.

Подвижной состав муниципальных маршрутных сетей

Город	Автобусы			Троллейбусы	Трамваи	Всего
	малого класса	среднего класса	большого класса			
Новосибирск	616	34	560	250	85	1 545
Екатеринбург	49	536	321	157	217	1 280
Омск	853	458	354	147	62	1 874
Пермь	185	80	646	0	110	1 021

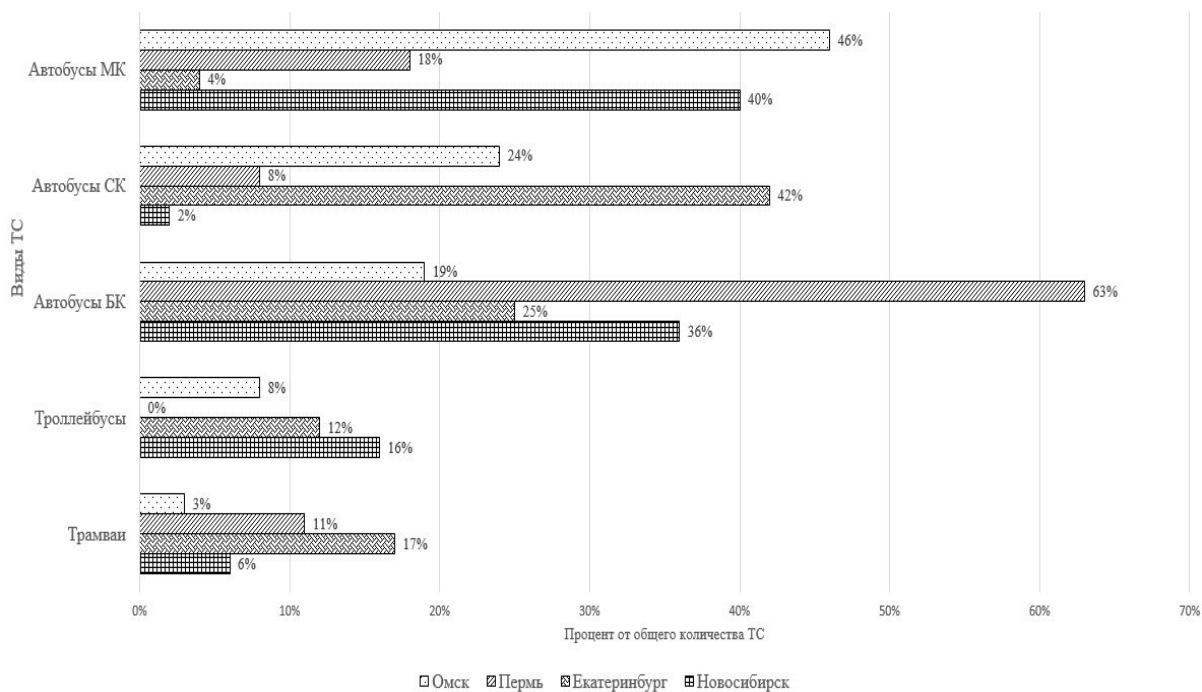


Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения количества подвижного состава пассажирского автотранспорта

В случае установления муниципального маршрута регулярных перевозок по регулируемым тарифам между администрацией и подрядчиком предусматривается заключение государственного контракта на осуществление пассажирских перевозок. При установлении маршрута по нерегулируемым тарифам – выдача администрацией свидетельства об осуществлении пассажирских перевозок без права предоставления субсидий.

Преимущество нерегулируемых тарифов заключается в возможности изменения тарифной ставки проезда в пассажирском автотранспорте в отличие от регулируемых, которые связаны с государственными нормативами. Однако в большинстве случаев в городах России преобладает организация муниципальных маршрутов по регулируемым тарифам ввиду обеспечения стабильности стоимости проезда, повышения качества транспортного обслуживания путем мониторинга состояния подвижного состава, регулярности рейсов и уровня обслуживания пассажиров. Таким образом, регулирование тарифов предполагает более безопасную и устойчивую модель организации транспортной системы.

На рис. 2 представлена диаграмма процентного соотношения по видам тарифов муниципальных маршрутов, применяемых в анализируемых городах Российской Федерации.

Диаграмма (см. рис. 2) отражает, что в Омске доля муниципальных маршрутов по регулируемым тарифам составляет 0,48, в то время как в Перми этот показатель значительно выше и достигает 0,93. Это может указывать на более доступную систему тарифов в Перми, привлекательную для пассажиров. В Екатеринбурге и Новосибирске соотношение значительно варьируется, свидетельствуя о том, что разные города могут применять разные стратегии в сфере регулирования цен за проезд в пассажирском автотранспорте.

На основании изученных нормативно-правовых документов анализируемых городов сформирована диаграмма стоимости проезда на муниципальных маршрутах по регулируемым тарифам в анализируемых городах России (рис. 3) [10–15].

Следует отметить, что в Омске тарифы устанавливаются отдельно для каждого перевозчика, обслуживающего согласно государственному контракту или договору муниципальные маршруты регулярных перевозок по регулируемым тарифам. В связи с чем рассчитана среднеарифметическая стоимость проезда на пассажирском автотранспорте указанного города.

Анализ данных, представленных на диаграмме (см. рис. 3), показывает, что минимальный тариф на пассажирские перевозки

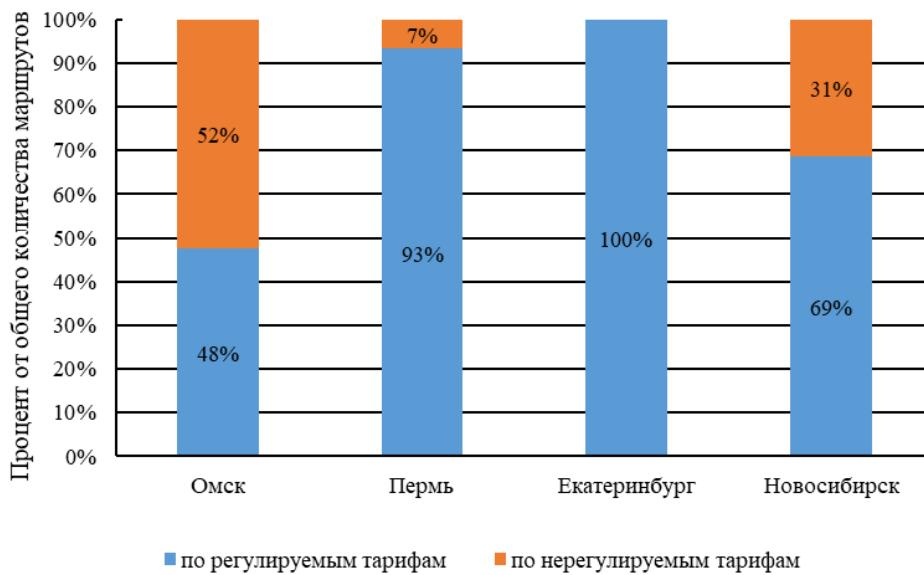


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения по видам тарифов муниципальных маршрутов

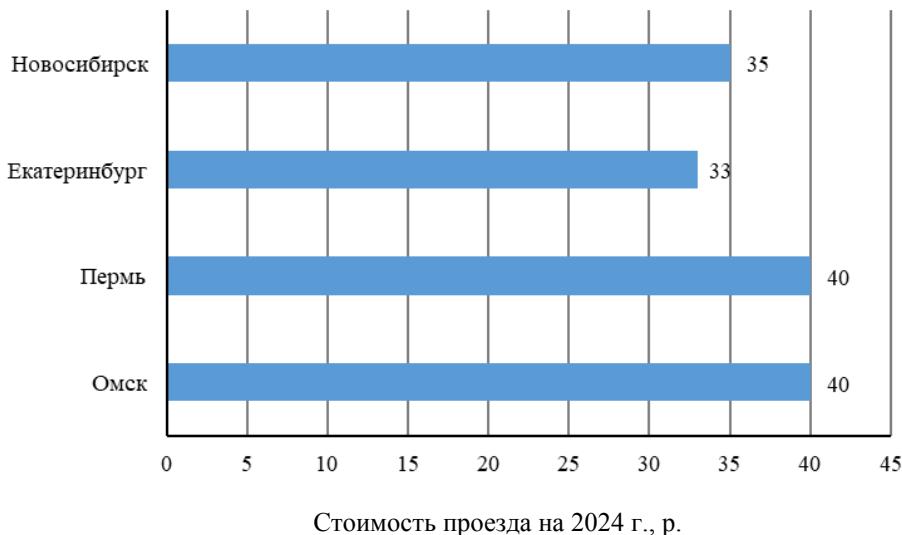


Рис. 3. Диаграмма стоимости проезда пассажира на муниципальных маршрутах по регулируемым тарифам

в 2024 г. зафиксирован в Екатеринбурге – 33 р. Максимальный тариф отмечен в Омске и Перми – 40 р. В Новосибирске стоимость проезда составила 35 р. Разница в тарифах обусловлена различными экономическими факторами в каждом из городов, такими как уровень доходов населения, стоимость топлива и государственные дотации.

Для изучения работы пассажирского автотранспорта построена диаграмма изменения пассажиропотока городского пассажирского транспорта общего пользования (рис. 4) на основании данных, взятых из монографии М. Р. Якимова, А. С. Нестеровой, Ю. А. По-

пова «Транспортное планирование: транспорт общего пользования» [16, с. 27].

Согласно представленной на рис. 4 диаграмме в большинстве рассматриваемых городов, за исключением Новосибирска, прослеживается тенденция роста пассажиропотока. Такая ситуация связана с уровнем развития транспортной инфраструктуры, услуг, а также экономическими условиями и предпочтениями местных жителей.

Для распределения и сбора пассажиров в маршрутной сети используются остановочные пункты, которые размещаются на основании изученных факторов, таких как пассажиропо-

ток, удаленность местного населения от жилых, образовательных и торговых объектов инфраструктуры города. Эффективность маршрутной сети зависит от рационального размещения остановочных пунктов и оптимизации маршрутов пассажирского автотранспорта [17]. В связи с чем проведен анализ расстояния между остановочными пунктами по маршрутам регулярных перевозок как по регулируемым, так и по нерегулируемым тарифам. На рис. 5 представлена диаграмма медианного расстояния между остановочными пунктами муниципальных маршрутов в анализируемых городах России.

На основании Методических рекомендаций по разработке Документа планирования

регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом, утвержденных Минтрансом России 30.06.2020, остановочные пункты на муниципальных маршрутах регулярных перевозок рекомендуется размещать на удалении от 400 до 600 м друг от друга. Из анализируемых городов, согласно ниже представленной диаграмме (см. рис. 5), данным рекомендациям соответствует муниципальная маршрутная сеть г. Омска.

Анализ диаграммы, приведенной на рис. 5, показывает, что медианное расстояние между

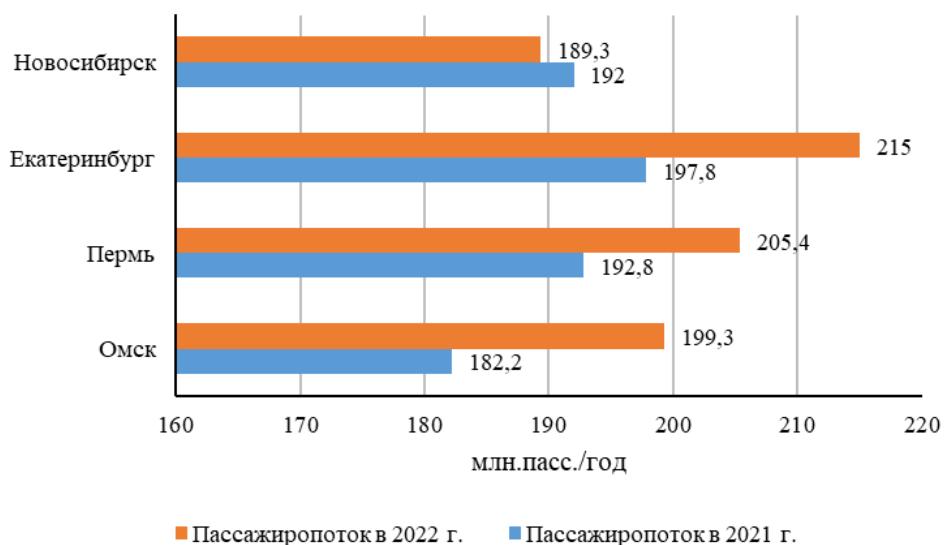


Рис. 4. Диаграмма изменения пассажиропотока городского пассажирского транспорта общего пользования

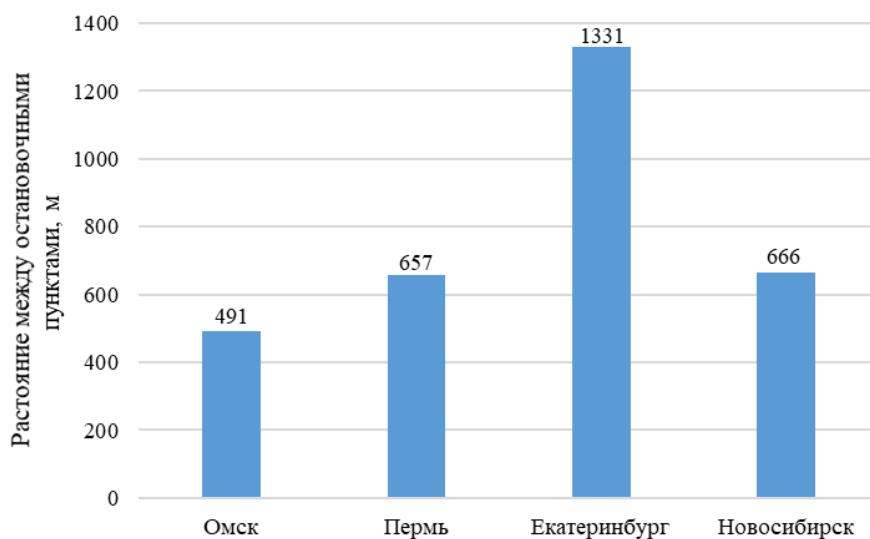


Рис. 5. Диаграмма медианной протяженности между остановочными пунктами муниципальных маршрутов

остановочными пунктами Омска составляет 491 м, что указывает на высокую плотность остановок и доступность транспортных услуг для населения. В Новосибирске и Перми данный показатель равен 657 и 666 м соответственно, что также свидетельствует о достаточно удобном передвижении жителей города. В Екатеринбурге указанная протяженность равна 1 331 м, это может быть обусловлено как историческими особенностями развития городской транспортной инфраструктуры, так и текущими функциональными нагрузками на муниципальные маршруты.

На основании статистических данных Российской государственной корпорации «ВЭБ.РФ» в табл. 2 представлены показатели, отражающие эффективность работы маршрутной сети анализируемых городов Российской Федерации в 2024 г. [5].

Анализ эффективности маршрутной сети анализируемых городов в 2024 г. показывает, что Пермь значительно опережает Новосибирск, Омск и Екатеринбург по уровню удовлетворенности населения качеством общественного транспорта, который составляет 62,4 %.

Таким образом, в Перми транспортное обслуживание местного населения осуществляется преимущественно подвижным составом большого класса, который приспособлен для перевозки маломобильной категории граждан, большинство муниципальных маршрутов выполняются по регулируемым тарифам (93 %), вследствие чего реализуется высокий процент фактического выполнения рейсов пассажирским автотранспортом – 96,6 %. Кроме этого, транспортная инфраструктура города достаточно эффективно используется

пассажирским автотранспортом для осуществления перевозок местного населения.

Согласно рассмотренным параметрам маршрутной сети таким городам, как Новосибирск и Омск, необходимо развивать программы, связанные с адаптацией подвижного состава пассажирского автотранспорта для людей с ограниченной мобильностью, а также выполнить модернизацию существующего подвижного состава с повышением класса транспортных средств и обеспечить развитие новых маршрутов, особенно в тех районах, где наблюдается увеличенное количество корреспонденций пассажиров.

На основании статьи 14 Федерального закона от 13.07.2015 № 220-ФЗ реализация вышеуказанных программ возможна посредством внесения в государственные контракты, заключенные в соответствии с Федеральным законом от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд», пунктов, содержащих необходимые требования к подвижному составу пассажирского автотранспорта, осуществляющего перевозки по муниципальным маршрутам.

В целях развития маршрутной сети Екатеринбурга, помимо вышеперечисленных рекомендаций, следует рассмотреть целесообразность размещения дополнительных остановочных пунктов в связи с большим расстоянием между ними.

На основании проведенного теоретического исследования стоит отметить, что существует потребность в эффективном выстраивании структуры применяющегося пассажирского автотранспорта на муниципальных

Эффективность работы транспортной системы городов Российской Федерации в 2024 г.

Показатель	Пермь	Новосибирск	Омск	Екатеринбург
Доля населения, удовлетворенного качеством систем общественного транспорта, от общего количества респондентов, %	62,4	45,6	32,9	28,9
Коэффициент фактического выполнения рейсов общественным транспортом, %	96,6	56,8	94,4	Нет данных
Доля доступного для маломобильных групп граждан общественного транспорта в общем количестве единиц общественного транспорта, %	90,7	29,0	27,6	26,3
Эффективность сети общественного транспорта, т. е. соотношение обеспеченности и территориальной доступности для людей	0,36	0,28	0,27	0,26

маршрутах крупных городов, а также в оптимальном распределении остановочных пунктов в схеме движения муниципальных маршрутов, основанном на данных о корреспонденциях населения и пассажиропотоке в общественном наземном транспорте.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Различия в структуре подвижного состава пассажирского автотранспорта, наблюдаемые в анализируемых городах, указывают на необходимость адаптации транспортных решений к индивидуальным условиям каждого города и потребностям местного населения. Органам местного самоуправления следует провести детальный анализ действующей инфраструктуры и составить прогноз ее развития, что в результате позволит более точно соответствовать запросу населения на пассажирские перевозки.

2. Различные факторы, такие как виды подвижного состава, вид тарифа муниципального маршрута, стоимость проезда, объем пас-

сажиропотока и расстояние между остановочными пунктами, значительно влияют на эффективность и качество транспортного обслуживания в системе пассажирских перевозок. Понимание взаимодействия всех этих факторов является необходимым условием для успешной организации системы пассажирского транспорта в крупных городах и управления ею. Это позволит не только улучшить качество транспортного обслуживания, но и повысить общую удовлетворенность местного населения.

3. Пермь является лидером среди анализируемых городов по уровню удовлетворенности населения качеством общественного транспорта, значение которого составляет 62,4 %. Данный результат обусловлен комплексом факторов, включая тарифную политику на муниципальных маршрутах, транспортную инфраструктуру, структуру подвижного состава пассажирского автотранспорта, а также исполнение транспортной работы на муниципальных маршрутах.

Список источников

1. Kraus L. Sustainable urban transportation criteria and measurement – A systematic literature review // Collection Sustainable Urban Mobility Project. 2021. Vol. 13 (13). P. 7113.
2. Комаров В. М., Акимова В. В. Стратегии устойчивой мобильности: лучшие мировые практики // Экономическая политика, 2021. № 1 (16). С. 82–103.
3. Игнатогин В. А. Сбалансированность транспортного обслуживания населения городов: основные подходы // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 2. С. 64–78.
4. Пьянкова С. Г., Заколюкина Е. С. Совершенствование методических основ оценки транспортного комплекса региона // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. № 2 (240). С. 369–391.
5. Статистические данные Российской государственной корпорации «ВЭБ.РФ» // ВЭБ.РФ : [сайт]. URL: <https://города.рф/index-quality-of-life> (дата обращения: 11.01.2025).
6. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок муниципального образования город Пермь // Муниципальное образование город Пермь : [официальный сайт]. URL: https://www.gorodperm.ru/actions/transport_gh/public/reestr_marhrytov/ (дата обращения: 15.08.2024).
7. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок в границах города Омска // Администрация города Омска : [официальный сайт]. URL: <https://admomsk.ru/web/guest/government/divisions/36/transport> (дата обращения: 15.08.2024).
8. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным и наземным электрическим транспортом в городе Екатеринбурге // Екатеринбург.рф : официальный портал. URL: <https://екатеринбург.рф/жителям/транспорт/маршруты> (дата обращения: 15.08.2024).
9. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок в границах города Новосибирска // Центр управления городским автотранспортом : ЦУГАЭТ : [сайт]. URL: <https://nskgortrans.ru/downloadDocuments> (дата обращения: 15.08.2024).
10. Об установлении регулируемых тарифов на перевозки по муниципальным (за исключением маршрутов, установленных в границах городских округов города Новосибирска, города Бердска, города Искитима и города Оби) и межмуниципальным маршрутам регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом на территории Новосибирской области и о признании утратившим силу приказа департамента по тарифам Новосибирской области от 12.12.2023 № 491-ТС/НПА : приказ департамента по тарифам Новосибирской области от 10.12.2024 № 343-ТС/НПА. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Об установлении регулируемых тарифов на перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом на муниципальных маршрутах регулярных перевозок города Перми и о признании утратившим силу Постановления администрации города Перми от 13.04.2023 № 294 «Об установлении регулируемых тарифов на перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом на муниципальных маршрутах регулярных перевозок города Перми» : Постановление Администрации г. Перми от 03.11.2023 № 1205. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

12. Об установлении предельного максимального тарифа на перевозки пассажиров и провоз ручной клади сверх установленных норм внеуличным транспортом (метрополитеном) по муниципальному маршруту регулярных перевозок на территории муниципального образования «город Екатеринбург» : Постановление Правительства Свердловской области от 09.02.2023 № 99-ПП. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

13. Об установлении тарифа на перевозку пассажиров автомобильным транспортом по муниципальным маршрутам регулярных перевозок (город Омск), осуществляющую индивидуальным предпринимателем Мельниковым Павлом Игоревичем : приказ Региональной энергетической комиссии Омской области от 19.12.2023 № 451/84. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. Об установлении тарифа на перевозку пассажиров автомобильным транспортом по муниципальным маршрутам регулярных перевозок (город Омск), осуществляющую индивидуальным предпринимателем Николаевой Любовью Ивановной : приказ Региональной энергетической комиссии Омской области от 13.02.2024 № 10/6. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

15. Об установлении предельного тарифа на перевозку пассажиров автомобильным транспортом по муниципальным маршрутам регулярных перевозок (город Омск), осуществляющую муниципальным предприятием города Омска «Пассажирское предприятие № 8» : приказ Региональной энергетической комиссии Омской области от 19.12.2023 № 444/84. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

16. Якимов М. Р., Нестерова А. С., Попов Ю. А. Транспортное планирование: транспорт общего пользования : монография. Москва : РАДАР, 2024. 458 с.

17. Манаков А. Л., Коларж С. А., Саломатов Е. М. Алгоритм корректировки количества и класса пассажирских транспортных средств на основе данных пассажиропотока // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 1 (68). С. 13–21.

References

1. Kraus L. Sustainable urban transport criteria and measurement – A systematic literature review. *Collection Sustainable Urban Mobility Project*. 2021;13(13):7113.
2. Komarov V. M., Akimova V. V. Strategies of sustainable mobility: the best world practices. *Economic Policy*. 2021;(16):82–103. (In Russ.).
3. Ignatyugin V. A. Balanced transport service for the population of cities: the main approaches. *Architecture, construction, transport*. 2023;(2):64–78. (In Russ.).
4. Pyankova S. G., Zakolyukina E. S. Improvement of the methodological basis for assessing the transport complex of the region. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2023;(240):369–391. (In Russ.).
5. Statistical data of the Russian State Corporation VEB.RF (In Russ.). URL: <https://города.рф/index-quality-of-life>.
6. Register of municipal routes of regular transportations of the municipal formation of the city of Perm. (In Russ.). URL: https://www.gorodperm.ru/actions/transport_gh/public/reestr_marhrytov/.
7. Register of municipal routes of regular transportation within the boundaries of the city of Omsk. (In Russ.). URL: <https://admomsk.ru/web/guest/government/divisions/36/transport>.
8. Register of municipal routes for regular transportation of passengers and luggage by road and land electric transport in the city of Yekaterinburg. (In Russ.). URL: <https://екатеринбург.рф/жителям/транспорт/маршруты>.
9. Register of municipal routes of regular transportation within the boundaries of the city of Novosibirsk. (In Russ.). URL: <https://nskgortrans.ru/downloadDocuments>.
10. On establishing regulated tariffs for transportation on municipal (except for routes established within the boundaries of urban districts of the city of Novosibirsk, the city of Berdsk, the city of Iskitim and the city of Ob) and inter-municipal routes of regular transportation of passengers and luggage by motor transport in the territory of the Novosibirsk Region and on invalidation of the order of the Novosibirsk Region Tariff Department from 12.12.2023 № 491-TS/NPA: order of the Novosibirsk Region Tariff Department from 10.12.2024 № 343-TS/NPA.

12.2023 № 491-TS/NPA: order of the Department of Tariffs of the Novosibirsk region from 10.12.2024 № 343-TS/NPA. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

11. On establishment of regulated tariffs for transportation of passengers and luggage by motor transport and urban land electric transport on municipal regular transportation routes of the city of Perm and on invalidation of the resolution of the Perm City Administration of 13.04.2023 No. 294 'On establishment of regulated tariffs for transportation of passengers and luggage by motor transport and urban land electric transport on municipal regular transportation routes of the city of Perm'. Resolution of the Perm City Administration of 03.11.2023 No. 1205. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

12. On establishing the maximum marginal tariff for passenger transportation and hand luggage transportation in excess of the established norms by off-street transport (subway) along the municipal route of regular transportation on the territory of the municipal formation 'Ekaterinburg city'. Resolution of the Government of the Sverdlovsk region 09.02.2023 No. 99-PP. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

13. On setting the tariff for passenger transportation by automobile transport on municipal routes of regular transportation (Omsk city), carried out by individual entrepreneur Pavel Igorevich Melnikov. Order of the Regional Energy Commission of the Omsk region of 19.12.2023 № 451/84. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

14. On setting the tariff for passenger transportation by automobile transport on municipal routes of regular transportation (Omsk city), carried out by individual entrepreneur Nikolaeva Lyubov Ivanovna. Order of the Regional Energy Commission of the Omsk region of 13.02.2024 № 10/6. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

15. On setting the marginal tariff for the transportation of passengers by motor transport on municipal routes of regular transportation (Omsk city), carried out by the municipal enterprise of the city of Omsk 'Passenger enterprise № 8'. Order of the Regional Energy Commission of the Omsk region from 19.12.2023 № 444/84. Access from the reference and legal system 'ConsulantPlus'. (In Russ.).

16. Yakimov M. R., Nesterova A. S., Popov Yu. A. Transport planning: public transport: monography. Moscow: RADAR Agency; 2024. 458 p. (In Russ.).

17. Manakov A. L., Kolarzh S. A., Salomatov E. M. Algorithm of the passenger vehicles quantity and class correction on the basis of the passenger flow data. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(68):13–21. (In Russ.).

Информация об авторах

А. Л. Манаков – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения.

С. А. Коларж – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Е. М. Саломатов – аспирант, ассистент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. L. Manakov – Doctor of Engineering, Professor of the Technology of Transport Engineering and Operation Machines Department, Siberian Transport University.

S. A. Kolarzh – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Technology of Transport Engineering and Operation Machines Department, Siberian Transport University.

E. M. Salomatov – Postgraduate, Assistant of the Technology of Transport Engineering and Operation Machines Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 30.05.2025.

The article was submitted 20.03.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 30.05.2025.

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 004.023
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_94

Мультиагентные системы маршрутизации при организации городских перевозок

Валерий Иванович Хабаров^{1✉}, Владислав Евгеньевич Квашнин²

^{1,2} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

¹ khabarov51@mail.ru[✉]

² gyro105@yandex.ru

Аннотация. В данной работе исследуются современные проблемы городской логистики, связанные с необходимостью адаптации маршрутов различных транспортных средств к изменяющимся условиям городской среды. Основное внимание уделяется задаче многих коммивояжеров (MTSP), которая формализована в мультиагентной постановке (MATSP) с обязательным посещением выделенных точек погрузки/разгрузки, поскольку задача в таком контексте позволяет рассматривать сценарии, приближенные к типичным для систем городского распределения. В статье анализируются различные методы решения: эволюционные алгоритмы, алгоритмы роевого интеллекта (пчелиного роя и муравьиной колонии) и алгоритм имитации отжига.

В рамках проведенного исследования сформулирована математическая модель задачи MATSP, позволяющая определить основные ограничения, а также целевую функцию, подвергаемую оптимизации. Далее проведены сравнительные вычислительные эксперименты для задачи нескольких коммивояжеров с точками вывоза для определения оценки эффективности на тестовых наборах данных с выделенными областями обслуживания. Данные эксперименты позволяют наглядным образом выявить особенности каждого из алгоритмов, что дает основу для определения целевого алгоритма в зависимости от входных данных. Отдельное внимание уделено классификации задачи MATSP, которая содержит в себе следующие классы: базовый, сбалансированный, динамический и с выделенными точками погрузки/разгрузки. Исследуются как статические, так и динамические аспекты задачи, включая онлайн-добавление точек и перерасчет маршрутов в реальном времени. Полученные результаты исследования демонстрируют перспективность использования мультиагентного подхода для решения задач городской маршрутизации, особенно в условиях изменяющихся параметров и необходимости оперативного реагирования на изменения.

Ключевые слова: городская логистика, маршрутизация, задача многих коммивояжеров (MTSP), мультиагентная задача коммивояжера (MATSP), мультиагентные системы (MAC), эволюционные алгоритмы, роевой интеллект, имитация отжига

Для цитирования: Хабаров В. И., Квашнин В. Е. Мультиагентные системы маршрутизации при организации городских перевозок // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 94–102. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_94.

TRANSPORT

Original article

Multi-agent routing systems in urban transport management

Valery I. Khabarov^{1✉}, Vladislav E. Kvashnin²

^{1,2} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

¹ khabarov51@mail.ru[✉]

² gyro105@yandex.ru

Abstract. This paper investigates modern urban logistics problems related to the need to adapt the routes of different vehicles to the changing conditions of the urban environment. The main attention is paid to the many-to-many salesman problem (MTSP), which is formalized in a multi-agent setting (MATSP) with mandatory visits to dedicated loading/unloading points, since the problem posed in such a context allows us to consider scenarios close to those typical of urban distribution systems. The paper analyses different solution methods: evolutionary algorithms, swarm intelligence algorithms (bee swarm and ant colony) and simulated annealing algorithm.

As part of the research conducted, a mathematical model of the MATSP problem is formulated to define the main constraints as well as the target function subjected to optimization. Further, comparative computational experiments are conducted for the multiple travelling salesman problem with drop-off points in order to determine

the performance evaluation on test datasets with selected service areas. These experiments allow us to clearly identify the features of each algorithm, which provides a basis for determining the target algorithm depending on the input data. Special attention is paid to the classification of MATSP tasks, which contains the following classes: basic, balanced, dynamic and with dedicated loading/unloading points. Both static and dynamic aspects of the task are investigated, including online point addition and real-time route recalculation. The results of the study demonstrate the promise of using a multi-agent approach to solve urban routing problems, especially in the context of changing parameters and the need to respond quickly to changes.

Keywords: urban logistics, routing, multiple traveling salesman problems (MTSP), multi-agent traveling salesman problems (MATSP), multi-agent systems (MAS), evolutionary algorithms, swarm intelligence, simulated annealing

For citation: Khabarov V. I., Kvashnin V. E. Multi-agent routing systems in urban transport management. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):94–102. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_94.

Введение

Современные города сталкиваются с беспрецедентным ростом сложности логистических операций. Урбанизация, увеличение плотности населения, развитие электронной коммерции и ужесточение экологических требований создают новые вызовы для систем доставки и транспорта. Эти вызовы обусловлены многими факторами, среди которых – рост населения городов, устаревшая транспортная инфраструктура.

Основные проблемы городской логистики, согласно источникам (UN World Urbanization Prospects (2022), McKinsey “Last-mile delivery challenges” (2023), PwC “Global Consumer Insights Survey” (2023)), связаны с проблемами маршрутизации. Речь идет о регулярных ежедневных задачах, таких как завоз продуктов в магазины, вывоз бытовых отходов, доставка еды, доставка товаров маркетплейсов и пр. Пробки, аварии и непогода требуют адаптации маршрутов в реальном времени. Растет сложность постановок задач маршрутизации, поскольку происходит интеграция разных видов транспорта (грузовиков, дронов, роботов-курьеров). Ограничения «последней мили» вызывают высокую стоимость доставки. Доставка до двери составляет 53 % общих логистических затрат (McKinsey). Таким образом, проблемы маршрутизации в больших городах становятся центральными, поскольку оптимизация маршрутов позволяет существенно снизить нагрузку на транспортную систему, если речь идет об автомобильном транспорте. Все более активно используются автономные транспортные средства: беспилотные грузовики, дроны-курьеры. Совершенствуются управляемые стратегии. Наиболее распространенной является задача маршрутизации с точками погрузки/разгрузки, которые агент может выбирать. К конкретным задачам этого класса относятся: доставка еды;

вывоз бытовых отходов на полигоны; доставка продукции в магазины со складов; сбор готовой продукции с мест производства и ее доставка на места дополнительной переработки и пр.

Рост сложности городской логистики требует комплексного подхода, сочетающего технологии, управление и политику. Ключевым приоритетом является масштабирование известных методов маршрутизации с использованием новых подходов, предполагающих интеграцию данных в реальном времени. Сложность таких задач маршрутизации заставляет искать новые пути их решения. Перспективным подходом к решению указанного спектра проблем является применение мультиагентных систем (MAS), которые с развитием сквозных цифровых технологий становятся актуальными.

Целью данной работы является исследование возможностей использования многоагентного подхода для задач маршрутизации при организации городских перевозок автомобильным транспортом. Основное внимание уделено некоторым вариантам решения задачи многих коммивояжеров (Multiple Travelling Salesmen Problem (MTSP)) в мультиагентной постановке (Multi-Agent TSP, MATSP). В частности, наибольший интерес представляет класс задач MTSP с выделенными точками погрузки/разгрузки.

Материалы и методы исследования

Рассматривается задача многих коммивояжеров MTSP [1–10]. Каждый коммивояжер получает кратчайший замкнутый маршрут, который не пересекается с маршрутами других коммивояжеров на общей сети. Традиционные алгоритмы маршрутизации для MTSP были разработаны для статических условий, при которых все параметры задачи (положение точек, время обслуживания, другие ограничения) известны заранее и не меняются со временем [3]. Оптими-

зация маршрутов происходит в режиме оффлайн. Однако в реальных городских условиях эти параметры часто изменяются динамически, что существенно ограничивает применимость традиционных подходов [4]. Большинство методов MTSP построено по следующей схеме [5]: множество точек разбивается на кластеры одним из известных методов кластеризации. Каждый кластер является областью действия одного из коммивояжеров, в которой решается задача TSP. В данном случае речь не идет о точном решении задачи MTSP в целом. Даже если в каждом кластере задача TSP решается точно, вариантов кластеризации существует множество. Точное решение MTSP для большого числа точек посещения (более тысячи) требует неприемлемых временных затрат [6]. Классические методы решения TSP, такие как метод ветвей и границ или динамического программирования, обладают ограниченной масштабируемостью [7]. Современные приближенные методы TSP, основанные на метаэвристическом подходе, позволяют решать высокоразмерные задачи, однако дают приближенное решение [4]. В совокупности с задачами кластеризации они хорошо масштабируются. Исследования такого рода приведены в [4].

Для решения подобных задач применяют эволюционные алгоритмы, методы роевого интеллекта и имитации отжига [4].

Эволюционные алгоритмы представляют собой класс методов оптимизации, вдохновленных процессами естественного отбора и генетики. В контексте MTSP они применяются с целью поиска оптимальных маршрутов для нескольких коммивояжеров [8–10]. Генетические алгоритмы используют механизмы скрещивания, мутации и отбора. Их преимуществом является возможность параллельной реализации, устойчивость к локальным минимумам.

Алгоритмы на основе роевого интеллекта (Swarm Intelligence) – это подход к решению задач оптимизации, основанный на моделировании коллективного поведения агентов с простой моделью поведения, которые взаимодействуют между собой и с окружающей средой. Такие алгоритмы находят активное применение в задачах MTSP. Наиболее часто используются муравьиные и пчелиные алгоритмы, алгоритмы роя частиц [11–14]. Эти алгоритмы обладают способностью находить глобальные оптимумы, хорошо масштабируются, распараллеливаются,

обладают вычислительной устойчивостью к локальным минимумам, успешно интегрируются с эволюционными алгоритмами и алгоритмами кластеризации.

Алгоритм имитации отжига [15, 16] основан на методе решения задач оптимизации, имитирующем физический процесс кристаллизации вещества. Основная идея заключается в следующем. Алгоритм начинает работу с некоторого начального состояния системы. На каждом шаге выполняется генерация нового состояния случайным образом и оценка изменения энергии системы. При уменьшении энергии происходит переход в новое состояние, при увеличении – переход возможен с определенной вероятностью, зависящей от текущей температуры. Температура системы постепенно снижается, что уменьшает вероятность перехода в состояния с большей энергией. В отличие от градиентного спуска, алгоритм может выбираться из локальных минимумов, однако не гарантирует нахождение глобального минимума, но обычно улучшает начальное приближение. Эффективность метода обусловлена его способностью избегать застревания в локальных минимумах за счет случайного выбора точек и возможности перехода в состояния с большей энергией на начальных этапах поиска решения.

Мультиагентные задачи коммивояжера (Multi-Agent TSP, MATSP) представляют собой интерпретацию классической задачи многих коммивояжеров MTSP, в которой поиск эффективных маршрутов выполняется группой взаимодействующих интеллектуальных агентов, ассоциированных с коммивояжерами. Каждый агент имеет цель и ресурс для построения своего маршрута.

Можно выделить следующие классы задач MATSP:

– базовый MATSP: минимизация суммарной длины маршрутов либо суммарной длительности маршрутов нескольких агентов, посещающих все точки ровно один раз;

– сбалансированный MATSP: учитывается не только общая длина/длительность маршрутов, но и равномерность распределения нагрузки между агентами;

– динамический MATSP: учитываются изменяющиеся условия в реальном времени (новые заказы, заторы на дорогах, плавающие временные окна);

– MATSP с выделенными общими точками погрузки/разгрузки: рассматривается ситуация, когда перед возвращением коммивояжера в исходную точку необходимо посетить ближайшую точку выгрузки либо после выхода из исходной точки – ближайшую точку погрузки.

В отличие от MTSP, задачи MATSP предполагают децентрализованное принятие решений. Каждый агент-коммивояжер имеет свободу выбора и адаптирует свой маршрут на основе локальной информации, а также сведений, полученных от других агентов. Основные принципы MAC – автономность, децентрализованное принятие решений, коопeraçãoция и конкуренция. Агентный подход [4, 5, 17, 18] рассматривает агента как сущность с поведением и целью, которая взаимодействует со средой. Средой могут быть другие агенты. Применение принципов MAC в маршрутизации позволяет естественным образом формулировать задачу, предполагая, что агентами являются транспортные средства, клиенты, диспетчеры и пр. Таким образом, методы MATSP принципиально отличаются от методов MTSP тем, что они стремятся использовать распределенные вычисления, воплощенные в межагентном взаимодействии, т. е. к построению кооперативного решения на основе равновесия Нэша [18].

Характерными для задачи MATSP являются аукционные алгоритмы [19]. Каждая точка посещения «аукционируется» между агентами-коммивояжерами, которые предлагают цену за право посетить эту точку. После распределения точек они формируют свои маршруты, минимизируя их длину или стоимость. Цены на точки корректируются на основе результатов предыдущих итераций, чтобы улучшить общее решение. Далее итерации повторяются. Этот класс алгоритмов при формировании локальных маршрутов использует известные алгоритмы TSP, перечисленные выше. Аукционные алгоритмы подходят для задач с изменяющимися условиями, например при добавлении новых точек посещения.

Заметим, что роевые алгоритмы также являются мультиагентными, однако интерпретация агента иная. Агенты из роя имеют весьма простую модель поведения и не могут интерпретироваться как коммивояжеры. Их скорее можно представить как агентов низкого уровня, которых используют высоконивневые агенты-коммивояжеры для своих целей [17]. Такие агенты на своем уровне выделяют свои точки

посещения. Сейчас для этого используются, как правило, методы кластеризации [20–23].

Формальная постановка задачи мультиагентной маршрутизации

Дано:

- множество агентов (транспортных средств): $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$;
- множество точек посещения: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$;
- множество депо (точки, в которых начинается и заканчивается маршрут для каждого агента; эти точки в маршрутах фиксированы): $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$, $W \subset V$;
- множество точек загрузки или выгрузки. Эти точки могут быть общими для агентов: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$, $Z \subset V$;
- матрица расстояний (или стоимостей перемещения): $D = [d_{ij}]_{n \times n}$, $d_{ij} \geq 0$ – расстояние (стоимость) между v_i и v_j ;
- структура маршрута агента $a_i \in A$: $p_i = \{w_i, x_{i1}, \dots, x_{in_i}, z_i, w_i\} \in P_i$, $w_i \in W$, $z_i \in Z$, $x_{ij} \in V_i \setminus (W \cup Z)$, $\pi_i = p_i \setminus \{w_i, z_i\} \in V_i \setminus (W \cup Z)$, где π_i – перестановка основных точек маршрута, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n_i$.

Структура маршрута отражает порядок посещения точек агентом a_i :

- начало движения агента a_i из своего депо w_i (для каждого агента депо фиксировано);
- прохождение всех своих основных точек π_i ;
- выбор и посещение особой точки $z_i \in Z$, например точки выгрузки (точку загрузки в маршруте надо поставить на второе место). Эти точки могут быть общими для всех агентов;
- возврат в депо w_i .

Критерий качества маршрута (длина/стоимость):

$$C(p_i) = \sum_{s \in \pi_i} d_{s,s+1} + d_{w_i, x_{i1}} + d_{z_i, w_i}, \quad i = 1, \dots, k. \quad (1)$$

Требуется назначить каждому агенту a_i маршрут $p_i \in P$, так чтобы:

- каждая основная точка посещалась ровно одним агентом:

$$\bigcup_{i=1}^k V_i = V \setminus (W \cup Z), \quad V_i \cap V_j = \emptyset, \quad \forall i \neq j; \quad i, j = 1, \dots, k; \quad (2)$$

- функция качества всех маршрутов была минимальна:

$$\min_{p_i \in P} \sum_{i=1}^k C(p_i). \quad (3)$$

Задачи с дополнительными условиями баланса. Например, необходимо не только минимизировать общую длину маршрута, но и сбалансировать длины для каждого агента:

$$\min_{p_i \in P} \sum_{i=1}^k C(p_i) + \lambda \max_i C(p_i), \quad \lambda \geq 0. \quad (4)$$

Динамическая задача MTSP. Точки $V \setminus W$ появляются онлайн, и маршруты пересчитываются в реальном времени.

Ограничение ресурсов. Если агенты имеют ограниченную грузоподъемность Q_{a_i} , то для каждого a_i есть

$$\sum_{v \in V_i \setminus (W \cup Z)} q_v \leq Q_{a_i}, \quad (5)$$

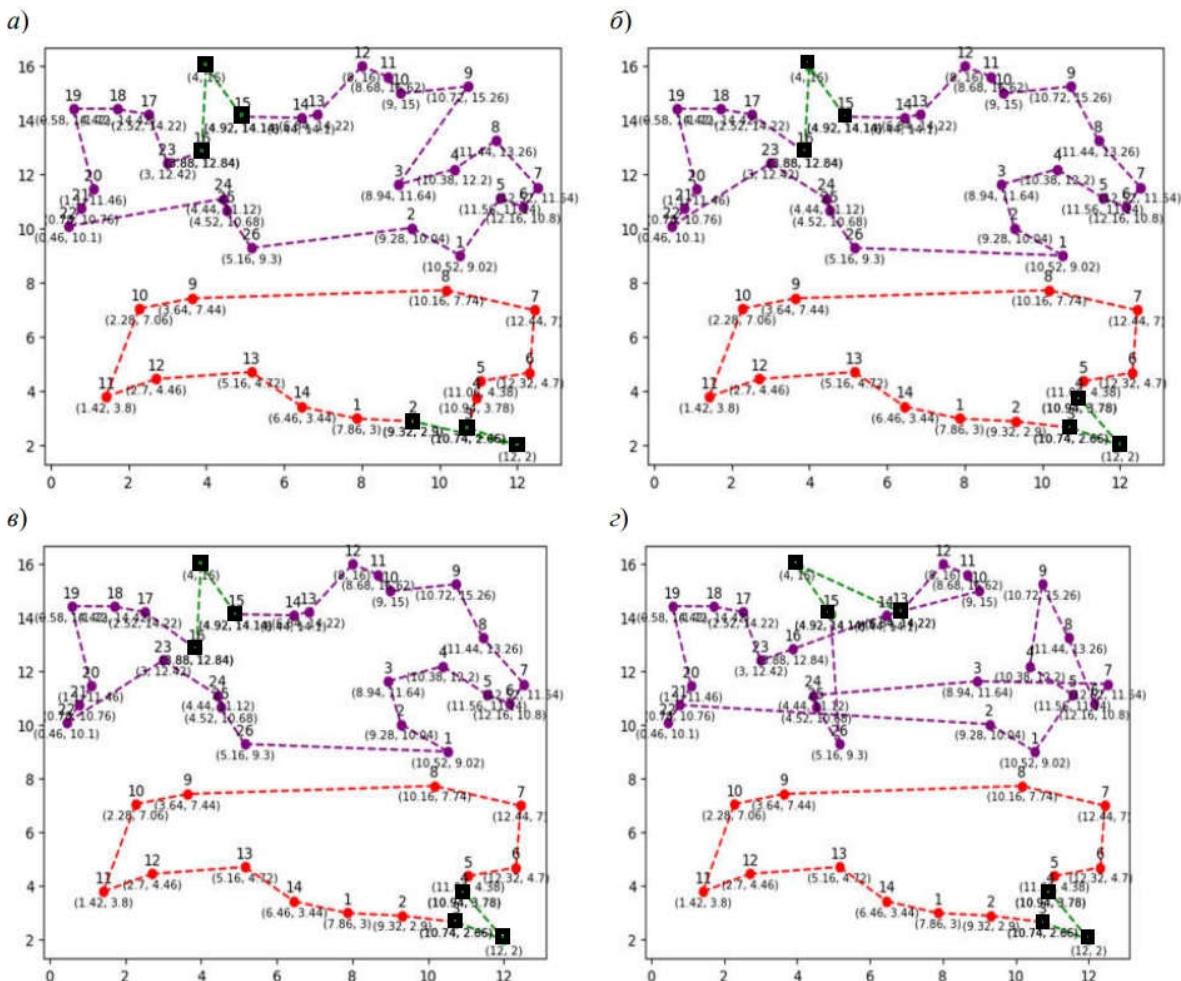
где q_v – вес точки v .

Задача MTSP с общими точками загрузки/выгрузки:

$$\min_{\pi_i \in V_i \setminus (W \cup Z)} \min_{z_i \in Z_i} \sum_{i=1}^k C(p_i) \pi_i. \quad (6)$$

Результаты исследований

Для класса задач MTSP с общими точками выгрузки (на рисунке обозначены квадратами, пунктирными линиями показаны маршруты агентов) были проведены сравнительные вычислительные эксперименты по построению маршрутов с различными модификациями метаэвристических алгоритмов. Эксперименты осуществлялись на синтетических данных. Их целью являлось сравнение выбранных методов модификации задачи с пунктами вывоза/ввоза. Такая модификация MTSP в известных нам работах на предмет эффективности метаэвристических алгоритмов не рассматривалась [4, 5]. Результаты приведены в таблице и на рисунке. Модификация задачи с пунктами выгрузки существенно усложняет алгоритм. Можно отметить, что роевые алгоритмы показали худшие результаты. Алгоритм отжига показал лучшее время.



Результаты работы алгоритмов:

a – муравьиной колонии; *b* – пчелиного роя; *c* – имитации отжига; *d* – генетического

Задача двух коммивояжеров. 40 точек посещения

Алгоритм	Время работы, с	Длина маршрута, усл. ед.
Муравьиная колония	1,2	43
Пчелиный рой	15,9	42
Генетический алгоритм	0,48	29
Имитация отжига	0,0013	29

Выводы

В данной работе рассмотрена важная с точки зрения практики мультиагентная задача коммивояжера с условием завершения маршрута в заданных точках вывоза и возврата в депо, которая с вычислительной точки зрения мало исследована. Для решения данной задачи авторами предложено использовать методы кластеризации типа сдвига средних вместе с методами построения маршрутов с помощью алгоритмов муравьиной колонии, пчелиного роя, генетического алгоритма и алгоритма имитации отжига. Эксперименты показали, что наилучшие результаты по критерию быстродействия и достижения глубины экстремума можно получить при использовании алгоритма имитации отжига, который обеспечивает сокращение маршрута и времени выполнения. По результатам сделаны следующие выводы:

- алгоритм имитации отжига показал наилучшие результаты;
- эффективность алгоритма муравьиной колонии возрастает при увеличении размерности задачи;

– эффективность генетического алгоритма падает при увеличении размеров данных;

– алгоритм пчелиного роя соизмерим с алгоритмом имитации отжига по качеству решения, но вместе с тем дает худшие результаты по времени выполнения.

Исследования алгоритмов роевой оптимизации показали перспективность их использования для MATSP в качестве систем второго уровня в мультиагентной архитектуре, где агентами первого уровня являются агенты-коммивояжеры, работающие в кооперации. Такая архитектура системы перспективна для динамических задач.

В дальнейшем планируется исследовать работу алгоритмов при масштабировании задач маршрутизации с точками загрузки/выгрузки и решении задачи коммивояжера на большем количестве кластеров в реальных транспортных сетях, а также при использовании дополнительных эвристик, которые определяют конкретные условия в реальных задачах. Также представляют интерес методы MATSP с обучающимися агентами.

Список источников

1. Xie XF, Liu J. Multiagent optimization system for solving the traveling salesman problem (TSP) // IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern. 2009. 39 (2), Apr. P. 489–502. DOI 10.1109/TSMCB.2008.2006910.
2. Vali M., Salimifard K. A constraint programming approach for solving multiple traveling salesman problem // The Sixteenth International Workshop on Constraint Modelling and Reformulation. 2017.
3. Shabani M., Yadollahi M., Hasani M. M. A New Method to Solve the Multi Traveling Salesman Problem with the Combination of Genetic Algorithm and Clustering Technique // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. 2017. Vol. 17, No. 5. P. 221–230.
4. Макаров О. О. Анализ метаэвристик для задач многоагентной маршрутизации // Таврический вестник информатики и математики. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metaevristik-dlya-zadach-mnogoagentnoy-marshrutizatsii> (дата обращения: 04.05.2025).
5. Германчук М. С. Прикладные задачи многоагентной маршрутизации // Таврический вестник информатики и математики. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prikladnye-zadachi-mnogoagentnoy-marshrutizatsii> (дата обращения: 04.05.2025).
6. Houssein F. A., Kostyukov V. F., Evdokimov I. D. A method for solving the multi-traveling salesman problem based on reducing the size of the solution space // 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). 2024. P. 1729–1733. DOI 10.1109/CoDIT62066.2024.10708116.
7. Агапова Е. Г., Попова Т. М. Задачи коммивояжера при оптимизации маршрутного пути // IJAS. 2019. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-kommivoyazhera-pri-optimizatsii-marshrutnogo-puti> (дата обращения: 07.11.2024).

8. Sofge D., Schultz A., De Jong K. Evolutionary computational approaches to solving the multiple traveling salesman problem using a neighborhood attractor schema // Proceedings of the Applications of Evolutionary Computing on EvoWorkshops. 2002. P. 153–162.
9. Prins C. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem // Comput. Oper. Res. 2004. Vol. 31. P. 1985–2002.
10. Пешкевич А. А., Кобак В. Г., Жуковский А. Г. Решение задачи коммивояжера с использованием двухэтапного генетического алгоритма // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhera-s-ispolzovaniem-dvuhetapnogo-geneticheskogo-algoritma> (дата обращения: 04.05.2025).
11. Xu Z., Li Y., Feng X. Constrained multi-objective task assignment for UUVS using multiple ant colonies system // ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. 2008. Vol. 1. P. 462–466. DOI 10.1109/CCCM.2008.318.
12. Микулик И. И., Благовещенская Е. А. Распараллеливание гибридного алгоритма муравьиной колонии с изменяющимися с помощью генетического алгоритма параметрами // Проблемы информатики. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasparallelivanie-gibridnogo-algoritma-muravinoj-kolonii-s-izmenayuschimisya-s-pomoschyu-geneticheskogo-algoritma-parametrami> (дата обращения: 06.05.2025).
13. Семенкина О. Е., Семенкин Е. С. Исследование эффективности параллельного муравьиного алгоритма на задаче коммивояжера // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-effektivnosti-parallelnogo-muravinoj-algoritma-na-zadache-kommivoyazhera> (дата обращения: 06.05.2025).
14. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B (Cybernetics). 1996. Vol. 26, No. 1. P. 29–41. <https://doi.org/10.1109/3477.484436>.
15. Скиена С. С. Алгоритмы : руководство по разработке : пер. с англ. 3-е изд. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. 848 с.
16. Поляков И. В., Чеповский А. А., Чеповский А. М. Алгоритмы поиска путей на графах большого размера // Фундаментальная и прикладная математика. Москва, 2014. С. 165–172.
17. Германчук М. С. Знаниеориентированные модели многоагентной маршрутизации : специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Германчук Мария Сергеевна ; ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского». Симферополь, 2022. 150 с.
18. Рассел Стюарт, Норвиг Питер. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. 2-е изд. Москва : Вильямс, 2007. 1408 с.
19. Zavlanos Michael M., Spesivtsev Leonid and Pappas George J. A Distributed Auction Algorithm for the Assignment Problem // Proceedings of IEEE CDC'08, 1212–17, IEEE. 2008. DOI 10.1109/CDC.2008.4739098.
20. Beasley J. E. Route First – Cluster Second Methods for Vehicle Routing // Omega. 1983. Vol. 1, Iss. 4. P. 403–408.
21. Серая О. В., Дунаевская О. И. Многошаговая кластеризация в задаче коммивояжера высокой раз мерности // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogoshagovaya-klasterizatsiya-v-zadache-kommivoyazhera-vysokoy-razmernosti> (дата обращения: 07.11.2024).
22. Антонова Е. С., Вирченко Ю. П. Конечные кластеры на плоских мозаиках. Часть I. Операции склеивания и разрезания графов // Прикладная математика & Физика. 2011. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konechnye-klasteriya-na-ploskih-mozaikah-chast-i-operatsii-skleivaniya-i-razrezaniya-grafov> (дата обращения: 13.11.2024).
23. Ершов К. С., Романова Т. Н. Анализ и классификация алгоритмов кластеризации // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-klassifikatsiya-algoritmov-klasterizatsii> (дата обращения: 13.11.2024).

References

1. Xie XF, Liu J. Multiagent optimization system for solving the traveling salesman problem (TSP). IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern. 2009 Apr; 39(2): 489-502. doi: 10.1109/TSMCB.2008.2006910. Epub 2008 Dec 16. PMID: 19095545.
2. Vali M., Salimifard K. A constraint programming approach for solving multiple traveling salesman problem. The Sixteenth International Workshop on Constraint Modelling and Reformulation, 2017

3. Shabanpour M., Yadollahi M., Hasani M. M. A New Method to Solve the Multi Traveling Salesman Problem with the Combination of Genetic Algorithm and Clustering Technique. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 17, No. 5, 2017.
4. Makarov O. O. Analysis of metaheuristics for multi-agent routing tasks. *Taurida Journal of Computer Science Theory and Mathematics*. 2023. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metaevristik-dlya-zadach-mnogoagentnoy-marshrutizatsii>.
5. Hermanchuk M. S. Applied tasks of multi-agent routing. *Taurida journal of computer science theory and mathematics*. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prikladnye-zadachi-mnogoagentnoy-marshrutizatsii>. (In Russ.).
6. Houssein F. A., Kostyukov V. F., Evdokimov I. D. A method for solving the multi-traveling salesman problem based on reducing the size of the solution space. *10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*. 2024. P. 1729–1733. DOI 10.1109/CoDIT62066.2024.10708116.
7. Agapova E. G., Popova T. M. Tasks of the travelling salesman at route path optimization. *International Journal of Applied Science*, 2019;(4). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-kommivoyazhera-pri-optimizatsii-marshrutnogo-puti>.
8. Sofge D., Schultz A., De Jong K. Evolutionary computational approaches to solving the multiple traveling salesman problem using a neighborhood attractor schema. *Proceedings of the Applications of Evolutionary Computing on EvoWorkshops*. 2002. P. 153–162.
9. Prins C. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Comput. Oper. Res.* 2004;31:1985–2002.
10. Peshkevich A. A., Kobak V. G., Zhukovsky A. G. Solution of the travelling salesman problem using a two-stage genetic algorithm. *Engineering Journal of Don*. 2018;(50). (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhera-s-ispolzovaniem-dvuhetapnogo-geneticheskogo-algoritma>.
11. Xu Z., Li Y., Feng X. Constrained multi-objective task assignment for UUVS using multiple ant colonies system. *ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*. 2008;1:462–466. DOI 10.1109/CCCM.2008.318.
12. Mikulik I. I., Blagoveschenskaya E. A. Parallelization of the hybrid ant colony algorithm with parameters changing with the help of genetic algorithm. *Problems of Informatics*. 2023. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasparallelivanie-gibridnogo-algoritma-muravinoy-kolonii-s-izmenyayuschiemisya-s-pomoschyu-geneticheskogo-algoritma-parametrami>.
13. Semenkina O. E., Semenkin E. S. Study of the parallel ant algorithm efficiency on the travelling salesman problem. *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics*. 2012. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-effektivnosti-parallelnogo-muravinogo-algoritma-na-zadache-kommivoyazhera>.
14. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B (Cybernetics)*. 1996;26(1):29–41. <https://doi.org/10.1109/3477.484436>.
15. Skeena S. S. Algorithms. Development Guide. Third edition. Translated from English. Saint-Peterburg; 2022. 848 p. (In Russ.).
16. Polyakov I. V., Chepovskiy A. A., Chepovskiy A. M. Pathfinding algorithms on graphs of large size. *Fundamental. and Applied Mathematics*, Moscow; 2014. P. 165–172. (In Russ.).
17. Hermanchuk M. S. Knowledge-oriented models of multi-agent routing. Simferopol: V. I. Vernadsky Crimean Federal University; 2022. (In Russ.).
18. Russell Stuart, Norvig Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Second edition. Translated from English. Moscow: Williams Publishing House; 2007. 1408 p. (In Russ.).
19. Zavlanos Michael M, Leonid Spesivtsev and George J Pappas. A Distributed Auction Algorithm for the Assignment Problem. *Proceedings of IEEE CDC'08, 1212–17, IEEE*. 2008. DOI 10.1109/CDC.2008.4739098.
20. Beasley J. E. Route First – Cluster Second Methods for Vehicle Routing. *Omega*. 1983;1(4):403–408.
21. Seraya O. B., Dunayevskaya O. I. Multi-step clustering in the task of a high dimensional travelling salesman. *Eastern European Journal of Advanced Technology*. 2008. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogoshagovaya-klasterizatsiya-v-zadache-kommivoyazhera-vysokoy-razmernosti>.
22. Antonova E. S., Virchenko Yu. P. Finite clusters on plane mosaics. Part I. Operations of gluing and cutting of graphs. *Applied Mathematics and Physics*. 2011. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konechnye-klastery-na-ploskih-mozaikah-chast-i-operatsii-skleivaniya-i-razrezaniya-grafov>.
23. Ershov K. S., Romanova T. N. Analysis and classification of clustering algorithms. *New Information Technologies in Automated Systems*. 2016. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-klassifikatsiya-algoritmov-klasterizatsii>.

Информация об авторах

В. И. Хабаров – доктор технических наук, профессор, академик Российской академии транспорта, декан факультета «Бизнес-информатика», заведующий кафедрой «Информационные технологии на транспорте» Сибирского государственного университета путей сообщения, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики Новосибирского государственного технического университета.

В. Е. Квашнин – аспирант кафедры «Информационные технологии на транспорте» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

V. I. Khabarov – Doctor of Engineering, Professor, Academician of Russian Academy of Transport, Dean of the Information Technology in Business Faculty, Head of the Information Technologies in Transport Department, Siberian Transport University, Professor of the Theoretical and Applied Information Science Department, Novosibirsk State Technical University.

V. E. Kvashnin – Postgraduate of the Information Technologies in Transport Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 23.05.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 02.06.2025.

The article was submitted 23.05.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 02.06.2025.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 103–109.
The Siberian Transport University Bulletin. 2025. No. 2 (74). P. 103–109.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Научная статья
УДК 625.143.482
doi 10.52170/1815-9265_2025_74_103

Численное моделирование упругих перемещений рельсовой плети при наличии фактора торможения поездов, ведомых современными локомотивами

Илья Константинович Ардышев

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия, ardyshev.ilya@ya.ru

Аннотация. Современные подходы к проектированию, строительству и эксплуатации бесстыкового пути недостаточно полно учитывают специфику его напряженно-деформированного состояния. В частности, не учтен фактор торможения поездов, один из наиболее неблагоприятных факторов внешнего воздействия на конструкцию бесстыкового пути.

В статье обозначена необходимость теоретико-экспериментального подхода к повышению достоверности оценки надежности температурной работы бесстыкового пути в вариативных эксплуатационных условиях при наличии фактора торможения поездов, ведомых современными и перспективными видами локомотивов.

Представлены результаты численного моделирования бесстыкового пути при наличии фактора электродинамического торможения локомотива. Полученные по результатам моделирования значения упругих перемещений рельсовой плети сопоставлены со значениями перемещений, зарегистрированных в ходе натурных экспериментов, с расчетными значениями по методике профессора Н. И. Карпушченко и по усовершенствованной методике, учитывающей план железнодорожной линии, вариативность значений коэффициента сцепления колеса и рельса, а также особенности режимов торможения локомотива. Разброс значений упругих перемещений, найденных по результатам моделирования и эксперимента, находится в пределах 18 %, что говорит о достаточной точности модели.

Разработана и верифицирована численная модель рельсовой плети методом конечных элементов. Предложен теоретико-экспериментальный подход к оценке напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути при наличии фактора торможения с использованием метода конечных элементов.

Подтверждена гипотеза о том, что локально возникающие продольные силы инициируются тормозящим поездом в рельсовых плетях бесстыкового пути и оказывают влияние на резерв его устойчивости.

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование железнодорожного пути, напряженно-деформированное состояние, надежность бесстыкового пути, выброс пути

Для цитирования: Ардышев И. К. Численное моделирование упругих перемещений рельсовой плети при наличии фактора торможения поездов, ведомых современными локомотивами // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2 (74). С. 103–109. DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_103.

BUILDING AND ARCHITECTURE

Original article

Numerical modeling of continuously welded rails elastic displacements in the presence of a braking factor for trains driven by modern locomotives

Ilya K. Ardyshев

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, ardyshev.ilya@ya.ru

Abstract. Modern approaches to the design, construction and maintenance of continuously welded rails do not fully take into account the specifics of their stress-strain state. In particular, the factor of train braking, as one of the most unfavorable factors of external influence on the continuously welded rails design, is not taken into account.

The need for a theoretical and experimental approach to increasing the reliability of assessing the continuously welded rails temperature reliability under variable operating conditions in the presence of a braking factor for trains pulled by modern and advanced types of locomotives is identified.

The article presents the results of continuously welded rails numerical modeling in the presence of an electrodynamic braking factor. The values of continuously welded rails elastic displacements obtained from the modeling results are compared with the results of full-scale experiments, with the calculated values according to the method of Professor N. I. Karpushchenko, with the calculated values according to the improved method, taking into account the railway line plan, the variability of the values of the adhesion coefficient of the wheel and rail, as

well as the features of the locomotive braking modes. The spread of the values of elastic displacements found from the results of modeling and experiment is within 18 %, which indicates sufficient accuracy of the model.

A numerical model has been developed and verified using the finite element method. Theoretical principles for assessing the stress-strain state of a continuously welded rails in the presence of a braking factor using the finite element method are proposed.

The hypothesis that locally occurring longitudinal forces are initiated by a braking train in the continuously welded rails and affect its stability reserve is confirmed.

Keywords: finite element modeling of railway track, stress-strain state, reliability of continuously welded rail track, track buckling

For citation: Ardynshev I. K. Numerical modeling of continuously welded rails elastic displacements in the presence of a braking factor for trains driven by modern locomotives. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(74):103–109. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_103.

Введение

Актуальной задачей для научно-технологического комплекса России остается необходимость проведения широкомасштабных исследований, охватывающих моделирование и последующую оценку надежности железнодорожного пути с учетом воздействия современных и перспективных подвижных единиц. Особенное внимание следует уделить совершенствованию существующих методов проектирования, строительства и оценки надежности конструкции бесстыкового пути – ключевой конструкции железнодорожной инфраструктуры, а также стимулированию научно-технического прогресса и оптимизации производственных процессов. Тем не менее современные подходы к проектированию, строительству и техническому обслуживанию бесстыкового пути недостаточно полно учитывают специфику его напряженно-деформированного состояния.

Необходим теоретико-экспериментальный подход к повышению достоверности оценки надежности температурной работы бесстыкового пути в вариативных эксплуатационных условиях при наличии фактора торможения поездов, ведомых современными локомотивами.

Для более достоверной оценки надежности температурной работы бесстыкового пути, как конструкции температурно-напряженного типа, необходимо при расчетах конструкции учесть *фактор торможения поездов*, один из наиболее неблагоприятных факторов внешнего воздействия на конструкцию.

Сверхнормативные значения продольных сил в рельсовых пластинах, возникающие при торможении поезда [1, 2], инициируют продольные упругие перемещения рельсовых пластинах; кроме того, поперечные составляющие этих сил локально и вариативно оказывают влияние на поперечную устойчивость рельсошпальной решетки в балласте, что при неблагоприятных эксплуатационных условиях может привести к вы-

бросу (перед приближающимся поездом) или поперечному сдвигу пути (под поездом). Потеря поперечной устойчивости нередко сопровождается сходами и крушениями подвижного состава со значительным для холдинга «Российские железные дороги» экономическим ущербом, а при наиболее неблагоприятных исходах – человеческими жертвами [3].

Обзор существующих теорий и подходов к совершенствованию метода расчета устойчивости бесстыкового пути

Проблема совершенствования метода расчета устойчивости бесстыкового пути остается актуальной ввиду повышения требований к безопасной эксплуатации железнодорожной инфраструктуры.

В статье [4] О. А. Суслова и М. А. Гришиной предложен новый подход к расчету оптимальной температуры закрепления рельсовых пластинах с учетом многофакторного анализа эксплуатационных условий их укладки. Авторы подтверждают, что «в настоящее время при назначении норм температуры закрепления рельсовых пластинах не в полной мере учитываются факторы, влияющие на появление отказов бесстыкового пути» [4, с. 153]. Учет совокупности вариативных факторов (конструкции и состояния пути, климатических условий, типа подвижного состава, режима его движения и др.) с помощью программного комплекса позволяет достичь максимального эффекта от эксплуатации бесстыкового пути, сводя к минимуму риск потери его устойчивости.

В работе [5] профессор Г. М. Стоянович совместно с коллективом авторов обращает внимание на то, что в настоящих нормативных документах «не учитывается влияние на температурный выброс продольных сил при различных режимах торможения поездов». Он считает: «Эти силы часто превышают температурные силы в рельсах. <...> Оптимальный интервал закрепления должен быть назначен

индивидуально для различных климатических зон» [5, с. 36].

В публикациях последних лет часто поднимается вопрос пересмотра действующей Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. В частности, коллектив авторов во главе с профессором В. И. Новаковичем предлагает пересмотреть действующий документ, поскольку устаревшие положения приводят к ошибкам при расчете устойчивости пути [6]. Необходимость изменений вызвана изменениями в характеристиках подвижного состава и требованиями к точности расчетов.

Отдельное внимание исследователи обращают на воздействие новых видов тяговых единиц на железнодорожный путь. Работа профессора В. О. Певзнера и коллектива авторов [7] демонстрирует негативное влияние тягового подвижного состава с асинхронными двигателями на устойчивость пути. Показано, что вибраакустический эффект от этих двигателей создает дополнительную нагрузку на верхнее строение пути, ускоряя процессы старения и вызывая необходимость внесения поправок в расчеты устойчивости.

Современные подходы к расчету устойчивости железнодорожного пути ориентируются на учет многомерных факторов, начиная от температуры закрепления и заканчивая новыми видами тягового подвижного состава. Недостаточно учитывать отдельно взятые факторы – требуется комплексный подход, позволяющий добиться максимальной точности расчетов и повышения безопасности движения современных поездов.

Методы исследования

Представляется возможным в виде *гипотезы* настоящего исследования предположить, что локально возникающие при торможении поездов продольные силы могут быть инициированы в рельсовых плетях бесстыкового пути и оказывать влияние на резерв его устойчивости.

В работе [8] представлены результаты численного моделирования упругих перемещений концевого участка рельсовой плети при торможении современных локомотивов. Также выполнены расчеты упругих перемещений по методике, описанной в статье [2] и апробированной профессором Н. И. Карпушенко в работе [9]

по результатам натурных экспериментов. Даны рекомендации уточнить модель бесстыкового пути при воздействии тормозной нагрузки, проработав конечно-элементную сетку, физико-механические свойства материалов и граничные условия закрепления объектов [8].

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования упругих перемещений рельсовой плети при наличии фактора торможения. Значения упругих перемещений, зарегистрированные по результатам моделирования, сопоставлены с известными результатами проведенных ранее экспериментов [10], со значениями, рассчитанными по методике профессора Н. И. Карпушенко [9] и по усовершенствованной методике [2], в которой учтены план железнодорожной линии, вариативность значений коэффициента сцепления колеса и рельса, а также особенности режимов торможения поезда.

Численное моделирование упругих перемещений рельсовой плети реализовано в программном комплексе Ansys Mechanical. Моделью бесстыкового пути является реологическая модель упруго-вязкого тела (модель Максвелла) – упругий стержень (рельсовая плеть) в упруго-вязкой среде (щебеночный балласт). Узел промежуточного рельсового скрепления задан условно (с помощью ограничения перемещений в вертикальном и поперечном направлениях), допускается, что связь рельса и основания работает нормально. Нагрузки от локомотива – вертикальная от веса и горизонтальная тормозная – приняты распределенными в силу непродолжительности и повторяемости контакта системы колес локомотива с исследуемым участком рельсовой плети (рис. 1).

Элементы пути проявляют горизонтальную упругость даже при корректной работе связей между ними, поэтому данный аспект нельзя игнорировать.

Система «рельс – прокладка-амортизатор – шпала» является существенно нелинейной фрикционной системой, находящейся в сложных эксплуатационных условиях, которые могут значительно изменять характер и силы взаимодействия системы. При фрикционном взаимодействии элементов пути на поверхностях трения происходят сложные механические и физико-химические процессы: окисление, диффузионное перераспределение, фазовые и структурные преобразования, упругое и пласти-

ческое деформирование, разрушение структур и поверхностных слоев тел. Поэтому при моделировании железнодорожного пути необходимо учесть особенности контактирования поверхностей его элементов (рис. 2).

Контакты «рельс – прокладка-амортизатор» и «шпала – прокладка-амортизатор» приняты асимметричными (красным цветом показаны жесткие объекты, синим – пластичные). В первом

приближении, с целью упрощения расчетной модели, контакты приняты безразрывными, что значительно сокращает время расчета результатов численного моделирования.

Результаты

Представлены результаты численного моделирования упругих перемещений рельсовой пласти при торможении электровоза ВЛ10^У (рис. 3). Наибольшие значения перемещений

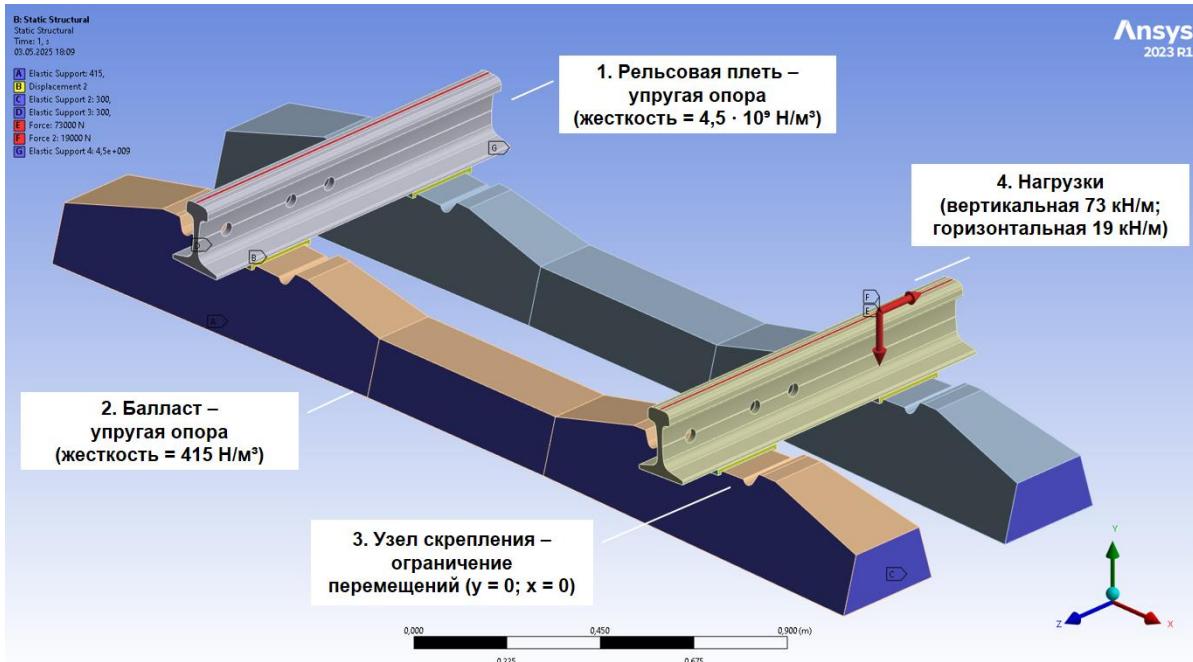


Рис. 1. Расчетная модель бесстыкового пути (условия нагружения и закрепления объектов)

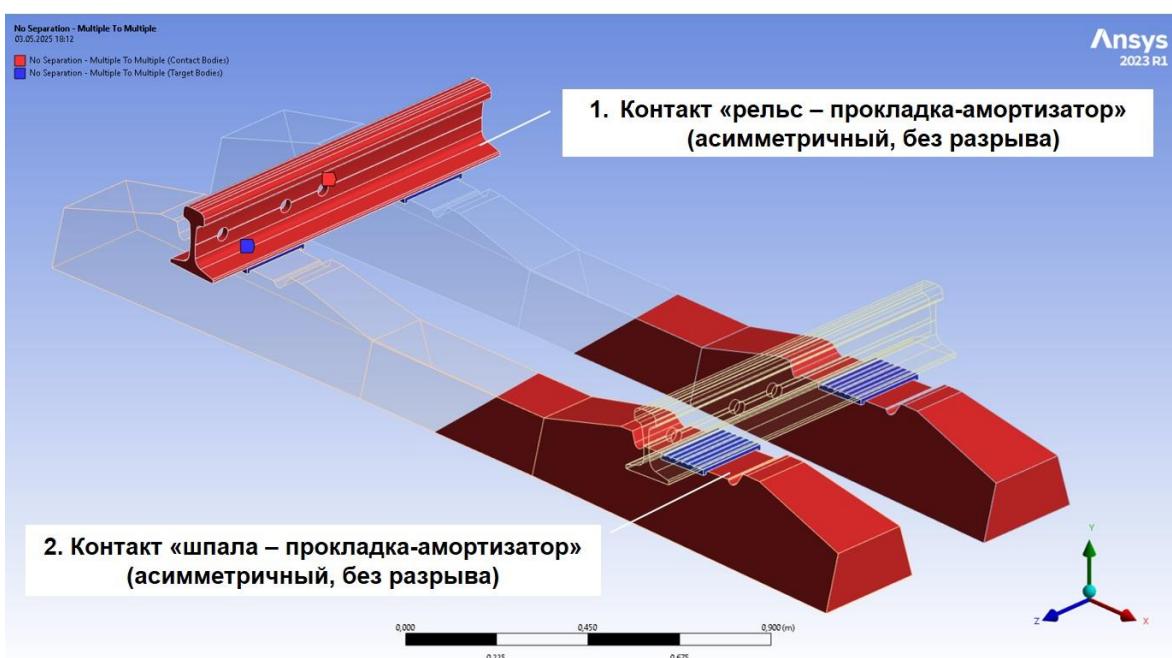


Рис. 2. Расчетная модель бесстыкового пути (контакт «рельс – прокладка-амортизатор – шпала»)

наблюдаются в точках подошвы рельсовой плети, что говорит об адекватности разработанной численной модели.

Для оценки точности разработанной численной модели выполнено сопоставление значений, полученных по методике Н. И. Карпушенко [9], с известными результатами проведенного ранее эксперимента [10] и результатами численного моделирования (рис. 4).

Разброс значений, найденных по результатам моделирования и эксперимента, находится в пределах 18 %, что говорит о достаточной точности модели. По абсолютным величинам максимальные значения упругих перемещений на 0,04 мм больше по расчетам, чем при моделировании. Разброс значений,

найденных по результатам эксперимента и расчета по методике [9], находится в пределах 30 %.

Усовершенствованная методика расчета [2], учитывающая план железнодорожной линии, вариативность коэффициента сцепления колеса с рельсом и особенности режимов торможения, наиболее точно отражает действительность.

С помощью моделирования методом конечных элементов представляется возможным оценить влияние отдельных факторов на резерв устойчивости бесстыкового пути и, кроме того, в первом приближении подобрать нагрузку для перспективных видов локомотивов, под которой минимизировано влияние упругих перемещений рельсовых плетей.

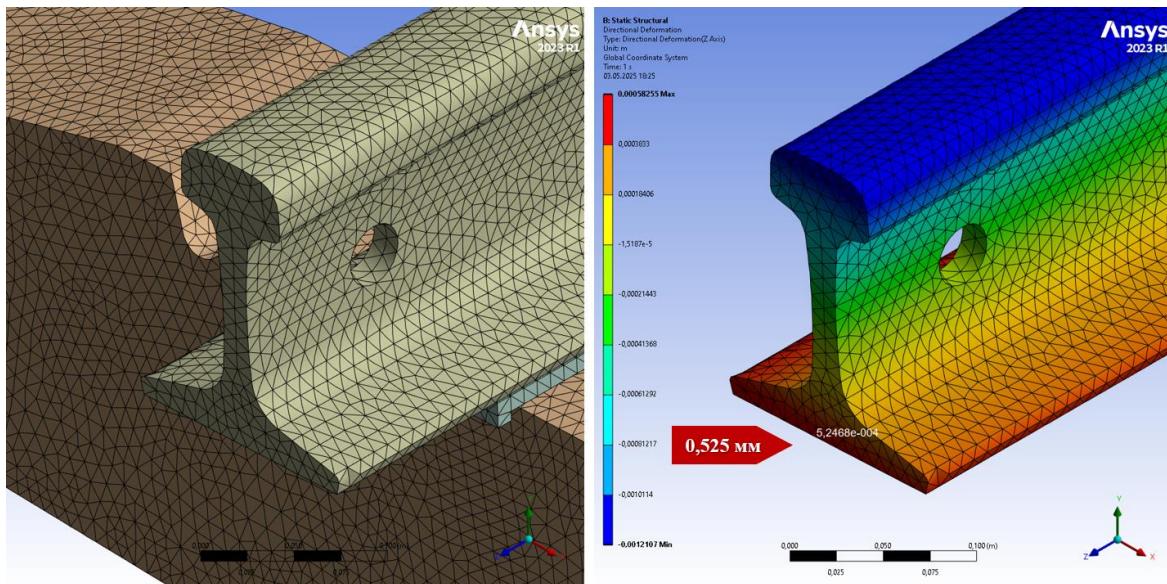


Рис. 3. Результаты численного моделирования упругих перемещений рельсовой плети

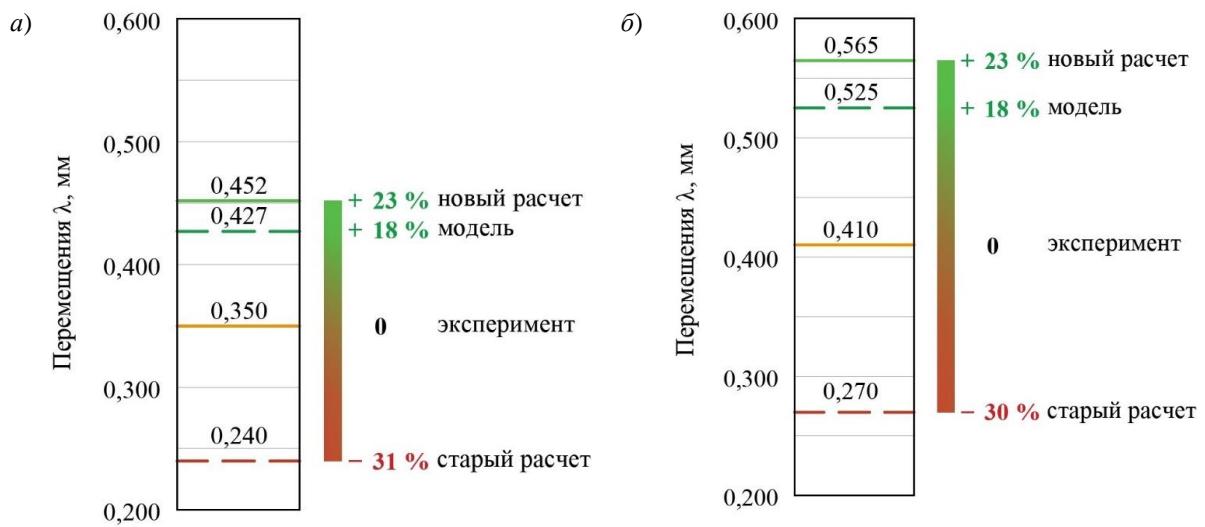


Рис. 4. Результаты валидации численной модели рельсовой плети при торможении локомотива:
а – служебном; б – экстренном

Выводы

Разработана и верифицирована численная модель рельсовой плети методом конечных элементов. Предложен теоретико-экспериментальный подход к оценке напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути при наличии фактора торможения с использованием метода конечных элементов.

Подтверждена гипотеза о том, что локально возникающие продольные силы инициируются тормозящим поездом в рельсовых плетях бесстыкового пути и оказывают влияние на резерв его устойчивости.

Рекомендуется учесть при актуализации нормативной документации, регламентирующй проектирование, строительство и техническое обслуживание бесстыкового пути [11], параметры, учитывающие фактор торможения поездов, как один из наиболее неблагоприятных факторов, оказывающих влияние на резерв устойчивости бесстыкового пути.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований

Необходимо интегрировать новые значения продольных тормозных сил и упругих перемещений в расчет параметра повышения температуры рельсовой плети, который будет учитывать фактор торможения поездов, и скорректировать расчетный интервал температуры закрепления ($\min t_3$).

Рекомендуется учесть, используя полученный параметр, фактор торможения поездов при разработке программных комплексов, реализующих расчет оптимальной температуры закрепления рельсовых плетей. Необходимо предложить рекомендации в Инструкцию по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути и другие нормативные документы, регламентирующие проектирование, строительство и эксплуатацию бесстыкового пути.

Список источников

1. Карпушенко Н. И., Ардышев И. К. Новые проблемы содержания бесстыкового пути на особогрузо-напряженных участках // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (64). С. 5–14.
2. Ардышев И. К. Продольные деформации рельсовых плетей при рекуперативном торможении поездов в суровых климатических условиях // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2 (69). С. 41–48.
3. Карпушенко Н. И., Ардышев И. К., Ермаканова Р. С. Устойчивость бесстыкового пути к поперечному сдвигу под поездом // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1 (56). С. 57–64.
4. Суслов О. А., Гришина М. А. Расчет оптимальной температуры закрепления рельсовых плетей на основе многофакторного анализа эксплуатационных условий его укладки // Вестник транспорта Поволжья. 2025. № 1 (109). С. 148–153.
5. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В., Гильмутдинов С. А. О температуре закрепления бесстыковых плетей на постоянный режим эксплуатации // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 4 (21). С. 36–39.
6. Пересмотреть Инструкцию по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути / В. И. Новакович, Г. В. Карпачевский, Н. И. Залавский [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 8. С. 32–33.
7. Воздействие на путь электровозов с асинхронными двигателями / В. О. Певзнер, Т. И. Громова, И. Б. Петропавловская [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 11. С. 2–5.
8. Ардышев И. К. Моделирование деформаций рельсовых плетей при торможении поезда в сложных эксплуатационных условиях Сибири // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2024. № 4 (15). С. 43–50.
9. Карпушенко Н. И. Надежность связей рельсов с основанием. Москва : Транспорт, 1986. 150 с.
10. Горох Н. А. Закрепление от угона звеньевого пути на деревянных шпалах при рекуперативном торможении поездов и температурных деформациях рельсов : специальность 05.22.06 «Железнодорожный путь и путевые машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горох Николай Андреевич ; Новосибирский ордена Трудового Красного Знамени институт инженеров железнодорожного транспорта. Новосибирск, 1988. 181 с.
11. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2544р : (ред. от 10.04.2023). Москва, 2023. 176 с.

References

1. Karpuschenko N. I., Ardynshev I. K. New problems of CWR maintaining in particularly heavy-duty tracks. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2023;(64):5–14. (In Russ.).
2. Ardynshev I. K. Longitudinal deformations of continuously welded rail track under recuperative braking of trains in inclement climatic conditions. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(69):41–48. (In Russ.).
3. Karpuschenko N. I., Ardynshev I. K., Ermakhanova R. S. Stability of continuous welded rails to lateral shear under the train. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2021;(56):57–64. (In Russ.).
4. Suslov O. A., Grishina M. A. Calculation of the optimal temperature for fixing continuous welded rails based on a multifactorial analysis of the laying operating conditions. *Volga Region Transport Bulletin*. 2025;(109):148–153. (In Russ.).
5. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V., Gilmutdinov S. A. Stress-free temperature of continuous welded rail on a regular operating mode. *Transport in the Asia-Pacific Region*. 2019;(21):36–39. (In Russ.).
6. Novakovich V. I., Karpachevsky G. V., Zalavsky N. I. [et al.]. Review the Instructions for the construction, laying, maintenance and repair of CWR. *Track and Track Facilities*. 2023;(8):32–33. (In Russ.).
7. Pevzner V. O., Gromova T. I., Petropavlovskaya I. B. [et al.]. Impact of electric locomotives with asynchronous motors on the track. *Track and Track Facilities*. 2022;(11):2–5. (In Russ.).
8. Ardynshev I. K. Modeling of longitudinal deformations of continuously welded rail track under train braking in difficult operating conditions of Siberia. *Fundamental and Applied Transport Issues*. 2024;(15):43–50. (In Russ.).
9. Karpuschenko N. I. Reliability of connections between rails and base. Moscow, Transport, 1986. 150 p. (In Russ.).
10. Gorokh N. A. Securing link track on wooden sleepers against theft during regenerative braking of trains and temperature deformations of rails. Speciality 05.22.06 ‘Railway track and track machines’: thesis for the degree of Candidate of Engineering. Gorokh Nikolay Andreevich; Novosibirsk Institute of Railway Engineers. Novosibirsk, 1988. 181 p. (In Russ.).
11. Instruction for the design, installation, maintenance and repair of continuously welded rail track: approved by Russian Railways dated April 10, 2023 No. 2544r. 176 p. (In Russ.).

Информация об авторе

И. К. Ардышев – преподаватель кафедры «Путь и путевое хозяйство» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the author

I. K. Ardynshev – Lecturer of the Track and Track Facilities Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 13.05.2025; одобрена после рецензирования 23.05.2025; принята к публикации 26.05.2025.

The article was submitted 13.05.2025; approved after reviewing 23.05.2025; accepted for publication 26.05.2025.

Информация для авторов

1. Предоставляемый материал должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

2. Статья предоставляется в электронном виде в форматах doc, docx или rtf и одновременно в бумажном виде, отпечатанном в формате А4 с полуторным интервалом (границы Times New Roman, кегль 14 pt; поля: верхнее и нижнее – 20, левое – 30, правое – 10 мм). Файл с текстом статьи должен быть назван фамилией автора (например: Иванов.doc).

3. Статья должна содержать:

- тип статьи (например, научная, обзорная, рецензия);
- УДК;
- название статьи;
- фамилию, имя и отчество каждого автора, место его работы/учебы, город, страну, ученую степень, звание, должность;
- аннотацию на русском и английском языках;
- ключевые слова на русском и английском языках;
- библиографический список на русском и английском языках.

4. Список источников составляется в порядке упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. Список должен содержать не менее 10 источников, из них собственных статей должно быть не более 30 %.

5. Графический материал должен быть выполнен в графических редакторах, поддерживающих векторную и растровую графику. Иллюстрации должны быть четкими, все подписи на рисунке должны хорошо читаться и иметь расшифровку. Если в тексте есть фотография, отсканированный рисунок, то они обязательно должны быть представлены также отдельным файлом в исходном графическом формате (например: jpeg, tiff).

6. Статья для опубликования в журнале и заявка отправляются по адресу: vestniksgups@sibgups.ru.

7. В редакцию предоставляются оригиналы документов: экспертное заключение о возможности опубликования статьи, статья и заявка.

8. Публикация статей в журнале бесплатная.

Более подробную информацию по вопросам опубликования статей и размещения другой информации в журнале можно найти на сайте издания.



www.stu.ru/science



vestniksgups@sibgups.ru



+7 383 328-04-36



630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук,
191, корп. 3, комн. 307



Главный редактор *А. Л. Манаков*
Заместитель главного редактора *А. Д. Абрамов*
Заместитель главного редактора *С. В. Карасев*
Ответственный секретарь *М. С. Галай*
Редактор перевода текста на английский язык *И. И. Степачкова*
Редактор *Е. Е. Рыжкова*
Корректор *А. А. Игумнов*
Макет, верстка *Ю. В. Борцовой*
Дизайн обложки *А. С. Петренко*

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения»

Адрес редакции

630049, Россия, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, корп. 3, комн. 307.
Телефон/факс: (383) 328-04-36.
E-mail: vestniksgups@sibgups.ru

Адрес издателя

630049, Россия, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191.
Телефон/факс: (383) 328-03-81.
E-mail: bvu@stu.ru

Подписано в печать 20.06.2025. Дата выхода в свет 23.06.2025

Тираж 350 экз. Формат 60×84/8
Объем 12,9 уч.-изд. л., 14,0 усл.-печ. л. Заказ № 4010

Цена свободная

Отпечатано в издательстве СГУПС.
630049, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191
Тел. (383) 328-03-81; e-mail: bvu@stu.ru



Издательство Сибирского государственного
университета путей сообщения

ISSN 1815-9265
Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения
2025. № 2 (74), 1–111