

Входит в перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный экспертными советами Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ

ISSN 1813-9108 (Print)

# Современные технологии системный анализ Моделирование

2024  
№ 1 (81)

Иркутский государственный  
университет путей сообщения

Машиностроение • Транспортные системы • Информационные технологии

Иркутский государственный университет путей сообщения • Irkutsk State Transport University • Иркутский государственный университет путей сообщения



2024 № 1 (81)  
No. 1 (81)

Machine Building • Transport Systems • Information Technology

# Modern technologies system analysis Modeling

2024  
No. 1 (81)

Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie

Подписной индекс  
в каталоге «Урал-Пресс» – 64556

Зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Modern technologies.  
System analysis. Modeling

Иркутский государственный университет путей сообщения • Irkutsk State Transport University • Иркутский государственный университет путей сообщения

**Современные технологии**  
**Системный анализ**  
**Моделирование**

**№ 1 (81)**

**2 0 2 4**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Главный редактор **А.П. Хоменко**  
Ответственный за выпуск **Д.В. Буторин**

---

## Приоритетные цели журнала

- передача знаний и опыта, накопленного мировым сообществом и научными школами университета;
- выработка новых знаний в области механики, машиностроения, информатики и транспорта для решения актуальных проблем современной техники;
- ознакомление читателей с передовым мировым опытом внедрения научных разработок по техническим наукам.

## Стратегические задачи

- предоставлять ученым возможность публиковать результаты своих исследований;
- привлекать внимание к наиболее актуальным перспективным и интересным направлениям научных исследований по тематике журнала;
- обмен мнениями между исследователями из разных регионов и государств.

## Учредитель и издатель

Иркутский государственный университет путей сообщения  
(664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)

## Главный редактор

А.П. Хоменко, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

## Заместители главного редактора

Д.В. Буторин, к.т.н., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

## Редакционный совет

А.И. Артюнин, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

И.В. Бычков, академик РАН, Иркутский государственный университет (Иркутск, Российская Федерация)

И.И. Галиев, д.т.н., проф., Омский государственный университет путей сообщения (Омск, Российская Федерация)

А.В. Лившиц, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

А.В. Крюков, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

М.И. Кузьмин, академик, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск, Российская Федерация)

Н.А. Махутов, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (Москва, Российская Федерация)

В.В. Москвичев, д.т.н., проф., Институт вычислительных технологий СО РАН (Красноярск, Российская Федерация)

В.Е. Гозбенко, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

А.В. Мурыгин, д.т.н., проф., Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва (Красноярск, Российская Федерация)

С.И. Носков, д.т.н., проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (Иркутск, Российская Федерация)

С.М. Овчаренко, д.т.н., доц., Омский государственный университет путей сообщения (Омск, Российская Федерация)

П.М. Огар, д.т.н., проф., Братский государственный университет (Братск, Российская Федерация)

Та Зуи Фыонг, к.ф.-м.н., доц., Ханойский институт математики (Вьетнам)

Р. Энхбат, д.ф.-м.н., проф., Монгольский национальный университет (Монголия)

Здислав Якиевич, д.т.н., проф., Университет штата Аризона (США)

А.С. Янюшкин, д.т.н., проф., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (Чебоксары, Российская Федерация)

**Адрес редакции:** 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

**Телефон:** +7(3952) 63-83-74

**Сайт:** <http://ojs.irgups.ru/index.php/stsam>

**e-mail:** [stsam@irgups.ru](mailto:stsam@irgups.ru)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Подписной индекс в каталоге «Урал-Пресс» – 64556.

Включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ); Ulrich's Periodicals Directory; ВИНТИ РАН.

Входит в перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный экспертными советами Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования РФ по группам научных специальностей: машиностроение; транспортные системы.

# Modern technologies System analysis Modeling

ISSN 1813-9108 (Print)

20234  
No. 1 (81)  
Published quarterly

Founded in 2004

## Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie

### Aims and Scope

- transfer of knowledge and experience gained by the world community and schools of thought of the university;
- development of new knowledge in the field of mechanics; mechanical engineering; computer science; transport to solve topical problems of modern technology;

- acquaint the readers with the world's best practices in the implementation of scientific developments in technical sciences.
- provide scientists with an opportunity to publish the results of their researches;
- attract attention to the most relevant and promising areas of research on the subject of the journal;
- exchange of opinions between researchers from different regions and states.

### Founder and publisher

Irkutsk State Transport University  
(Office G-302, 15, Str. Chernyshevskogo, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

### Editor-in-Chief

A.P. Khomenko, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

### Deputy Editor-in-Chief

D.V. Butorin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Prof, Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

### Editorial council

A.I. Artyunin, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

I.V. Bychkov, Member of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk State University (Irkutsk, Russian Federation)

I.I. Galiev, D.Sc. in Engineering, Prof., Omsk State Transport University (Omsk, Russian Federation)

A.V. Livshits, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

A.V. Kryukov, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

M.I. Kuzmin, Academician, Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

N.A. Makhutov, D.Sc. in Engineering, Prof., Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

V.V. Moskvichyov, D.Sc. in Engineering, Prof., Institute of Computational Technologies, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russian Federation)

V.E. Gozbenko, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

A.V. Murygin, D.Sc. in Engineering, Prof., Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies (Krasnoyarsk, Russian Federation)

S.I. Noskov, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

S.M. Ovcharenko, D.Sc. in Engineering, Assoc. Prof., Omsk State Transport University (Omsk, Russian Federation)

P.M. Ogar, D.Sc. in Engineering, Prof., Bratsk State University (Bratsk, Russian Federation)

Ta Zui Fuong, Ph.D. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Hanoi Institute of Mathematics (Vietnam)

R. Enkhb, D.Sc. in Physics and Mathematics, Prof., Mathematics of National University of Mongolia (Mongolia)

Zdislav Yakievich, D.Sc. in Engineering, Prof., Arizona State University (USA)

A.S. Yanyushkin, D.Sc. in Engineering, Prof., Ulyanov Chuvash State University (Cheboksary, Russian Federation)

**Адрес редакции:** 15, Str. Chernyshevskogo, Irkutsk, 664074, Russia

**Tel.:** +7(3952) 63-83-74

**Web-Site:** <https://ojs.irgups.ru/index.php/stsam>

**e-mail:** [stsam@irgups.ru](mailto:stsam@irgups.ru)

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-66109 от June 20, 2016

The subscription index in the Russian catalogue «Ural-Press» is 64556.

Has been included in the Russian Science Citation Index (RSCI); Ulrich's Periodicals Directory.

The journal is included in the list of leading scholarly journals

and editions in which the main results of dissertations for the scientific degree of a doctor and candidate of sciences, approved by the expert councils of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for groups of scientific specialties:

- Mechanical engineering;
- Transport systems.

## СОДЕРЖАНИЕ

## Транспорт

<b>Попова Т.А., Петров Г.И., Филиппов В.Н.</b> Эволюция систем опирания кузова восьмиосного вагона на ходовые части .....	10
<b>Феоктистова М.В., Подвербный В.А.</b> Коллективный выбор оптимального варианта трассы железнодорожной линии .....	22
<b>Булохова Т.А., Дукачева В.В.</b> Совершенствование механизма взаимодействия между структурными подразделениями дирекций центрального подчинения при планировании капитального ремонта пути .....	35
<b>Григорьева Н.Н.</b> Расчет норм управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) в дирекции по тепловодоснабжению .....	45
<b>Чубарова И.А.</b> Изменение технологии обращения локомотивов грузового движения на Восточном полигоне .....	59
<b>Власова Н.В., Архит Буяннэмэх</b> Перспективы развития транспортно-логистических центров на основе внедрения проекта создания грузового сервиса «ЦМ-Авто» .....	72
<b>Крюков А.В., Черепанов А.В., Фесак И.А.</b> Применение линий электропередачи с резервными проводами в системах электроснабжения железных дорог .....	82
<b>Отока А.Г., Холодилов О.В.</b> Повышение эффективности иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар подвижного состава .....	94
<b>Оленцевич В.А., Горшков В.В., Брытков В.С.</b> Современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы России .....	103
<b>Ковенькин Д.А.</b> Исследование причин появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка .....	113
<b>Осколков А.А., Асалханова Т.Н.</b> Влияние различных скоростей движения поездов на силовое взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути в условиях высокой грузонапряженности .....	126
<b>Пультяков А.В., Аношин В.А.</b> Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест .....	138

**Информационные технологии, управление и обработка**

<b>Гришкова Д.Ю., Чуйкова О.Ю.</b> Развитие бережливой производственной системы на примере завода .....	150
<b>Казарина В.В.</b> Математические методы принятия оптимальных решений в проектировании железных дорог .....	163

## CONTENTS

## Transport

<b>Popova T.A., Petrov G.I., Filippov V.N.</b> Evolution of systems for supporting the body of an eight-axle wagon on the running gear .....	10
<b>Feoktistova M.V., Podverbnyi V.A.</b> Collective choice of the optimal railway route option .....	22
<b>Bulokhova T.A., Dukacheva V.V.</b> Improvement of the interaction mechanism between structural divisions of directorates of central subordination in the planning of major repairs of the track .....	35
<b>Grigor'eva N.N.</b> Calculation of controllability standards for masters of production sites, supervisors (exempt) in the Directorate for heat and water supply .....	45
<b>I.A. Chubarova</b> Changing the technology for handling freight locomotives at the Eastern Polygon .....	59
<b>Vlasova N.V., Arkhit Buyannemekh</b> Prospects for the development of transport and logistics centers based on the implementation of the project of creating «TsM-Avto» cargo service .....	72
<b>Kryukov A.V., Cherepanov A.V., Fesak I.A.</b> Application of power lines with backup wires in railway power supply systems .....	82
<b>Otoka A.G., Kholodilov O.V.</b> Improving the efficiency of immersion ultrasonic testing of the rims of solid-rolled wheels during scheduled wheel set repairs of rolling stock .....	94
<b>Olentsevich V.A., Gorshkov V.V., Brytkov V.S.</b> The current state and development problems of the transport and logistics system of Russia .....	103
<b>Koven'kin D.A.</b> Research into causes of the appearance and development of rail inspection unsuitability in the mountainous area from Bol'shoy Lug station to Slyudyanka station .....	113
<b>Oskolkov A.A., Asalkhanova T.N.</b> The influence of different train speeds on the force interaction of rolling stock and railway track under high freight intensity .....	126
<b>Pul'tyakov A.V., Anoshin V.A.</b> Ways to increase the efficiency of technical operation of railway automation and telemechanics devices when implementing mobile workplaces .....	138

**Information technology, management and processing**

<b>Grishkova D.Yu., Chuikova O.Yu.</b> The development of a lean production system using the example of a plant .....	150
<b>Kazarina V.V.</b> Mathematical methods for making optimal decisions in designing railways .....	163

**Требования к статьям, принимаемым к публикации**

Рукописи статей представляются в электронном и распечатанном виде.

Рекомендуемый объем статей 9-12 стр.

1. К статье прилагается:

- акт экспертизы;
- заявка на опубликование (от каждого автора).

2. Статья включает в себя:

- индекс УДК;
- сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения (кафедры), контактный телефон и E-mail;
- аннотация (реферат) к статье должна быть (на русском и английском языках): информативной (не содержать общих слов); оригинальной; содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований); структурированной (следовать логике описания результатов в статье); компактной (укладываться в объем от 180 до 250 слов).
- ключевые слова (5-10 ключевых слов на русском и английском языках);
- библиографический список (необходимо упоминание не менее 18 источников, в том числе 25% на зарубежные источники). Библиографический список к статье оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Текст статьи предоставляется в виде файла с расширением \*.doc – документа, построенного средствами Microsoft Word, и распечаткой на стандартных листах формата А4 (210x297 мм) в две колонки, заверенной подписью авторов.

Статья должна быть **структурирована** (введение, 2 и более пункта разделов, заключение).

3. При наборе статьи в Microsoft Word с учетом формата издания рекомендуются следующие установки:

- параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2,5 см; слева и справа – 1,75 см; табуляция – 1 см; ориентация – книжная;
- шрифт – Times New Roman, размер – 11, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- текст статьи разбивается в две колонки с помощью команды "Форматирование -> Колонки" со следующими параметрами: ширина колонки: 8,5 см, промежуток: 0,5 см.

При вставке формул использовать только Microsoft Equation 3 с параметрами:

- элементы формулы для греческих букв и символов шрифт Symbol, для остальных элементов – шрифт Times New Roman (использование букв русского алфавита в формуле нежелательно);
- размер символов: обычный – 10 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 11 пт. Все экспликации элементов формул в тексте также необходимо выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст статьи, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 150 мм, высота 245 мм, представлены в виде файла с расширением \*.jpg, \*.tif и распечаткой на стандартных листах формата А4, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров.

В журнал **не принимаются** статьи с таблицами, развернутыми по вертикали (альбомная ориентация), а также имеющими аббревиатуры в названии и аннотации. Если по тексту статьи не делаются ссылки на номера формул, то формулы не нумеруются.

Статьи, представляемые в журнал, проходят обязательное рецензирование.

Самоцитирование журнала в статьях **запрещено**.

Пример оформления статьи представлен на сайте журнала: ojs.irgups.ru

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Редакция оставляет за собой право отклонить статью, не отвечающую указанным требованиям или не прошедшую обязательное рецензирование.

По вопросам публикации статей обращаться: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Иркутский государственный университет путей сообщения. Аудитория Г-304. Каимов Евгений Витальевич.

Телефон: 8(3952) 63-83-74. Факс: 8(3952) 38-76-72. E-mail: stsam@irgups.ru

**Современные технологии**

**Системный анализ**

**Моделирование**

**ТРАНСПОРТ**

**TRANSPORT**

## Эволюция систем опирания кузова восьмиосного вагона на ходовые части

Т.А. Попова✉, Г.И. Петров, В.Н. Филиппов

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

✉tatiana241187@gmail.com

### Резюме

В работе рассмотрены различные конструкции опорных устройств ходовых частей большегрузных восьмиосных вагонов и этапы их модернизации. Подробно изучены ходовые части многоосных тележек, которые отвечают за равномерное распределение нагрузки, обеспечивая устойчивость большегрузного подвижного состава. Показано, что ввиду поддержания необходимого уровня грузоперевозок наиболее рационально эксплуатировать восьмиосные грузовые вагоны, устанавливаемые на четырехосные тележки. Изучены конструктивные особенности опорных узлов различных систем четырехосных тележек, а также вопросы балансирных систем опирания на скользуны двухосных тележек, которые гарантируют устойчивость вагонов при прохождении больших неровностей в прямых и криволинейных участках пути, горбов сортировочных станций и аппарелей паромных переправ. Были проанализированы решения систем опирания на пятники соединительной балки четырехосной тележки и различные модернизации, при которых балансирные системы могут представлять собой подпружиненные элементы, гидравлические и клиновидные конструкции, опорные роликовые балансирные узлы. В статье обозначены оригинальные конструктивные решения, при которых кузов (котел) большегрузного вагона опирается на скользуны двухосных тележек с заменой тяжелой соединительной балки четырехосной тележки на облегченную связывающую балку с балансирной системой. Это значительно снизило массу тары вагона и воздействие на верхнее строение пути, сократило износ опорных узлов и ходовых частей, повысило грузоподъемность вагона, базу четырехосной тележки и погонную нагрузку на путь, увеличило динамические ходовые качества и запас устойчивости колес против схода в прямых и криволинейных участках пути. Поезда из таких вагонов везут в 1,5–2 раза большую массу грузов при той же длине и могут значительно поднять провозную и пропускную способности без удлинения станционных и сортировочных путей.

### Ключевые слова

восьмиосный вагон, четырехосная тележка, скользуны, балансирные системы

### Для цитирования

Попова Т.А. Эволюция систем опирания кузова восьмиосного вагона на ходовые части / Т.А. Попова, Г.И. Петров, В.Н. Филиппов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 10–21. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).10-21.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 05.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 14.03.2024 г.; принята к публикации: 15.03.2024 г.

## Evolution of systems for supporting the body of an eight-axle wagon on the running gear

Т.А. Popova✉, G.I. Petrov, V.N. Filippov

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, the Russian Federation

✉tatiana241187@gmail.com

### Abstract

The work considers the stages of modernization and various designs of the supporting devices of the of heavy-duty eight-axle wagons' running gear. The running gear of multi-axle bogies, which is responsible for uniform load distribution, ensuring the stability of heavy-duty rolling stock, has been studied in detail. It is shown that to keep the necessary level of freight transportation, the operation of eight-axle freight wagons mounted on four-axle bogies appears the most rational. The design features of the support units of various four-axle bogie systems are considered as well as the issues of balancing systems of support on the slides of two-axle bogies, which ensure the stability of wagons when passing large irregularities in straight and curved sections of the track, humps of marshalling yards and ramps of ferry crossings, were studied. The solutions for the systems of supporting on the footplates of connecting beams of the four-axle bogie were analyzed, as well as various upgrades in which the balancing systems can be spring-loaded elements, hydraulic and wedge-shaped structures, support roller balancing units. The paper highlights unorthodox design solutions in which the body (boiler) of a heavy-duty wagon rests on the slides of two-axle bogies, with the replacement of a heavy connecting beam of a four-axle bogie by a lightweight connecting beam with a balancing system. This significantly reduced the weight of the wagon container and the impact on the upper structure of the track, the wear of the support

units and running gear, increased its load capacity of the wagon, the base of the four-axle trolley and the linear load on the track, dynamic driving characteristics and the margin of stability of the wheels against derailment in straight and curved sections of the track. Trains of such wagons carry 1,5–2 times the mass of goods at the same length and can significantly increase the carrying capacity and throughput without increasing the length of station and marshalling tracks.

### Keywords

eight-axle wagon, four-axle bogies, sliders, balancing systems

### For citation

Popova T.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Evolyutsiya sistem opiraniya kuzova vos'miosnogo vagona na khodovye chasti [Evolution of systems for supporting the body of an eight-axle wagon on the running gear]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 10–21. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).10-21.

### Article Info

Received: October 5, 2023; Revised: March 14, 2024; Accepted: March 15, 2024.

### Введение

Возможности механизации и автоматизации при строительстве железных дорог, обеспечении движения, строительстве и ремонте вагонов, а также составлении и разгрузке поездов зависят от функций конструкционных решений. Тенденции обеспечения максимального грузоперемещения за минимальный срок и наименьшими ресурсами приводит к желанию реализовать вагоны с повышенной грузоподъемностью. Однако при перегрузке обычных вагонов наблюдается не только износ деталей подвижного состава, возможны деформация и повреждения верхнего строения пути, порча основной площадки земляного полотна участков, на которых проходит эксплуатация вагонов с повышенной грузоподъемностью и тарой.

Цель данной работы – рассмотрение различных модификаций шести- и восьмиосных вагонов для выявления наиболее оптимального конструктивного решения, обеспечивающего равномерное распределение нагрузки на верхнее строение пути при различных условиях эксплуатации. Варианты основаны на изменении количества точек контакта корпуса вагона и тележек, что позволяет достичь более равномерной нагрузки на головки рельсов и снизить показатели веса на единицу площади пути.

### Разновидности конструкций грузовых вагонов

Одной из рассматриваемых модификаций является фитинг – платформа для транспортировки тяжеловесных грузов, модель 13-7024. Ходовая часть представляет собой две двухосных тележки. Данная модель обладает высокой грузоподъемностью, однако основным ее недо-

статком является невозможность перевозить одновременно четыре 20-футовых контейнера, загруженных до предельного веса (24 т). Для решения этой проблемы рекомендуется рассмотреть возможность увеличения числа осей [1].

Еще один вариант – грузовая платформа для транспортировки рельсов длиной 25 м, состоящая из специальных четырехосных тележек, каждая из которых представляет собой объединение двух двухосных частей с удлиненной рамой сварной конструкции. На средней части соединительной балки установлен подпятник увеличенного диаметра, который поддерживает раму кузова. Дополнительно предусмотрены скользуны, амортизирующие нагрузку в случае действия боковых сил.

Узел сопряжения рамы вагона с тележками представляет собой слабое звено из-за трещин, которые появляются на соединительной балке в концевой зоне при эксплуатации. Имеется возможность установки общей рамы сочлененного вагона на две крайние и одну среднюю тележки, соединенные шарнирным узлом.

В работе [2] была продемонстрирована альтернативная модель: платформа для перевозки грузов на железнодорожном транспорте с увеличенным межосевым расстоянием, которое способствует распределению нагрузки и увеличению устойчивости платформы. Конструкция отличается тем, что в центре платформы размещается устройство с тележкой, имеющей возможность передвижения, сопряженной с пятником шкворнем-адаптера рамы. Это нововведение позволяет повысить грузоподъемность и увеличить нагрузку на длинную вагон-платформу путем установки дополнительного количества колесных пар. Благодаря шкворнем-адаптеру цен-

тральная часть рамы может отклоняться от тележки, что обеспечивает отличную проходимость вагона по извилистым участкам железнодорожного пути.

Помимо перечисленных вариантов необходимо рассмотреть конструктивную особенность вагонов-цистерн. Например, модель 15-871: цистерна восьмиосная для перевозки светлых и темных нефтепродуктов с объемом котла 140 м<sup>3</sup>.

Особого внимания требует опора котла. Именно через нее проходят основные нагрузки от цистерны на тележку. Опора, которая одновременно выполняет функцию консольной части рамы, обладает усиленными хребтовой и шкворневой балками. В месте их пересечения располагается усиление пятников.

В ходовых частях восьмиосных цистерн используются четырехосные тележки, которые соединены соединительной балкой. Балка снизу в концевых частях оборудована пятниками и скользунами, опирающимися на подпятники и скользуны надрессорных балок двухосных тележек. Сложная форма соединительной балки тележки обусловлена необходимостью восприятия больших вертикальных нагрузок при ограниченных размерах для размещения.

### **Балансирные системы опирания и сочленения**

Балансирующие узлы и системы опирания и сочленения несущего кузова (котла) восьмиосного вагона на две четырехосные и четыре двухосные тележки играют важную роль в распределении нагрузок от колесных пар на железнодорожный путь. Эти узлы способны обеспечить стабильность и безопасность движения поезда, а также увеличить проходимость на сложных участках пути. В данной статье рассмотрены принципы работы балансирующих систем, основные типы их конструкции, а также преимущества использования данного технического решения.

Балансирные узлы соединяют главный кузов вагона с его тележками, обеспечивая равенство нагрузки на каждую ось. Ввиду того, что для разных моделей двухосных тележек есть ограничения по нагрузке каждой колесной пары на рельсы – менее 23,5 (или 25) тс, увеличение числа осей вагона позволяет решить вопрос повышения грузоподъемности и, как следствие, грузооборота. Особенно это актуально

для грузовых поставок в регионы восточной части нашей страны и Сибири.

Существует несколько типов балансирных узлов опирания и сочленения кузова восьмиосного вагона и четырехосных тележек: механические, гидравлические и гидромеханические. Каждый из них имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретной ситуации. Однако независимо от типа узла его задачей является обеспечение оптимального распределения нагрузки на путь и поддержание устойчивости движения вагона в поезде в прямых и криволинейных участках пути.

Использование балансирных узлов несет в себе ряд незаменимых условий:

- повышается безопасность движения поезда, так как предотвращается перегрузка осей или опасное неравномерное распределение нагрузки на путь;

- снижается износ ходовых частей и рельсовых путей, так как компенсируются неровности пути и минимизируется воздействие динамических нагрузок;

- балансирные узлы опирания вагона на скользуны тележек позволяют повысить проходимость поезда на сложных участках пути, что особенно важно при движении на участках железнодорожных путей удовлетворительного технического состояния.

В ряде работ [3–5] рассмотрена специфика и конструктивные особенности исполнения ходовых частей вагонных тележек, обеспечивающих безопасность движения подвижного состава.

Балансирные узлы сочленения представляют собой элементы железнодорожной тележки, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузки от кузова на скользуны надрессорных балок двухосных тележек. Благодаря этому достигается максимальная плавность передвижения поезда. Одной из главных функций балансирующих узлов является компенсация вертикальных перемещений при прохождении поезда больших неровностей пути при движении через горб сортировочных станций и аппарелей паромных переправ и вагоноопрокидывателей. Балансирные узлы позволяют снизить воздействие таких неровностей пути и предотвратить возникновение опасных перемещений и возможных повреждений.

Особенностью балансирных узлов опирания и сочленения является их конструкция. Они

обычно состоят из нескольких элементов, которые работают синхронно для обеспечения нормальной работы всего узла. Для выбора оптимальной конструкции и рациональных параметров необходимо проведение компьютерного моделирования движения таких вагонов в прямых и криволинейных участках пути по магистральным и промышленным путям различного технического состояния в диапазоне эксплуатационных и конструкционных скоростей движения [6, 7].

К задачам динамики, выдвигаемым в связи с ростом осевых нагрузок на первый план, необходимо отнести проблемы определения оптимальных (рациональных) геометрических, инерционных, жесткостных и фрикционных параметров ходовых частей, балансирных узлов опирания и сочленения тележек, а также вопросы обеспечения безопасности движения и устойчивости таких вагонов.

#### Четырехосные тележки

В нашей стране были проведены исследования по вводу в эксплуатацию многоосных большегрузных вагонов. На сегодняшний день разработаны такие конструкции трехэлементных двухосных тележек: модель 18-9889 и модель 18-9890, унифицированные по таким узлам, как скользуны, пружины рессорных комплектов, клинья, буксовые узлы, тормозная рычажная передача и балки авторежима. Конструктивные различия тележек обусловлены их грузоподъемностью и заключаются в разном диаметре подпятникового узла в надрессорной балке и в конфигурации направляющих (ограничителей) рессорного комплекта [8].

Однако с точки зрения динамики наилучшим образом себя зарекомендовали тележки с кратным двум числом осей. При рассмотрении многоосных вагонов наиболее оптимальным является именно восьмиосный вагон на четырехосных тележках [8].

Роль четырехосных тележек в балансировании узлов сочленения вагона заключается в компенсации перемещений, различных динамических сил и моментов, возникающих при движении по неровностям пути в прямых и криволинейных участках. Например, при движении в крутых кривых с отклонениями в содержании рельсовой колеи в плане и профиле одна сторона тележки испытывает большую нагрузку, чем другая. Четырехосная тележка способна автоматически распределить нагрузку

между осями таким образом, чтобы минимизировать перегрузку на одну из сторон.

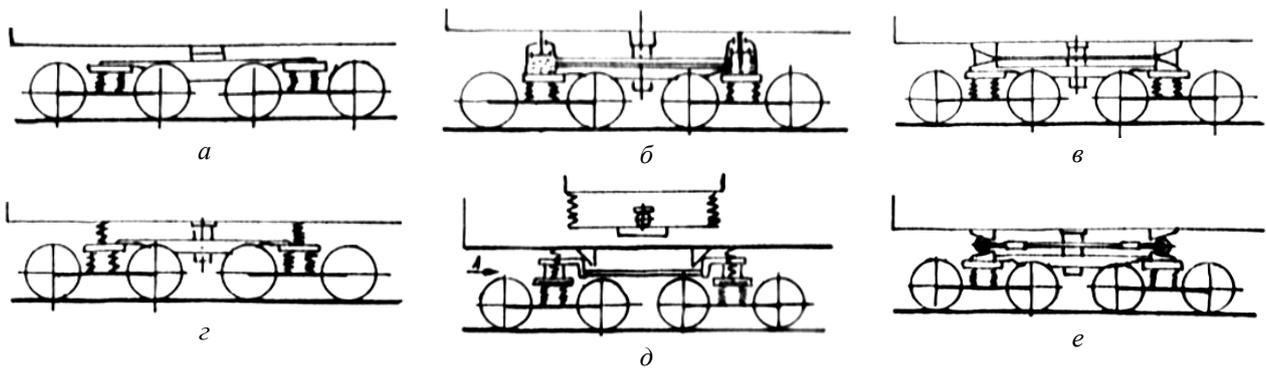
На сегодняшний день известны (некоторые реализованы и испытаны) следующие схемы опирания кузова восьмиосного вагона на скользуны двухосных тележек:

- опирание кузова на штампованную или литую несущую конструкцию соединительной балки четырехосной тележки – типовая стандартная схема опирания кузовов восьмиосных полувагонов, цистерн, думпкаров и транспортеров, разработанные в Московском институте инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ);
- гидравлическое опирание кузова на скользуны двухосных тележек;
- рычажно-клиновое устройство опирания кузова на скользуны двухосных тележек (МИИТ);
- пружинное опирание кузова на скользуны двухосных тележек (МИИТ);
- рычажно-балансирное устройство опирания кузова, разработанное во Всесоюзном научно-исследовательском институте вагоностроения;
- рычажно-роlikовое устройство опирания кузова (МИИТ).

Конструкции опирания кузова на скользуны двухосных тележек рассматриваются в работе [9]. Некоторые варианты представлены на рис. 1.

Проблематика разработки конструктивных схем и балансирующих систем вагонов до сих пор одна из наиболее актуальных. Для нахождения оптимальных конструктивных решений для снижения металлоемкости конструкции при повышении ее грузоподъемности необходимо определить рациональные геометрические, жесткостные, фрикционные и инерционные параметры балансирных систем и их опорных устройств. Применительно к двухосным грузовым тележкам использование раздельного способа передачи вертикальных и горизонтальных нагрузок от кузова на ходовые части дает существенное преимущество для улучшения динамических качеств и снижения металлоемкости конструкции [10].

Одной из базовых конструктивных особенностей четырехосных тележек является система, состоящая из двух блоков, связанных с помощью соединительной балки, представляющей собой жесткую конструкцию. Основная задача соединительной балки – обеспечить



**Рис. 1.** Варианты конструкций опорных элементов восьмиосного вагона:

*a* – опирание кузова при помощи соединительной балки; *б* – гидравлическое опирание кузова на скользуны двухосной тележки; *в* – рычажно-клиновое устройство опирания кузова на скользуны двухосных тележек; *г* – пружинное опирание кузова на скользуны двухосных тележек; *д* – рычажно-балансирующее опирание кузова; *е* – рычажно-роликное устройство опирания кузова

**Fig. 1.** Design options for supporting elements of an eight-axle wagon:

*a* – supporting the body using a connecting beam; *b* – hydraulic support of the body on the sliders of a two-axle bogie; *c* – lever-wedge device for supporting the body on the sliders of biaxial bogies; *d* – spring support of the body on the sliders of biaxial bogies; *e* – lever-balance support of the body; *f* – lever-roller device for supporting the body

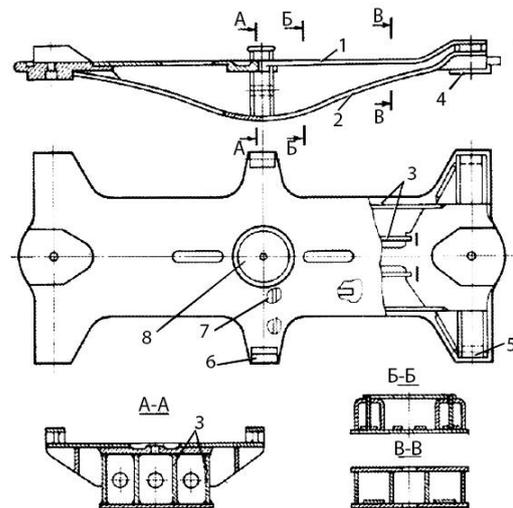
равномерное распределение нагрузки между осевыми группами тележек и поддерживать стабильность положения каждого из узлов сочленения. Для этого предъявляются повышенные требования к прочности и массе. Важно отметить, что конструкция соединительной балки должна обеспечивать возможность регулировки положения узлов сочленения. Это необходимо для компенсации износа и снижения вибрации при движении по рельсам.

Для погашения колебаний вагонов на соединительную балку жестко устанавливаются пятники, на которые приходятся все механические воздействия от вагонов.

Система амортизации тележки поглощает удары и вибрацию при движении по неровным путям, снижая вертикальные нагрузки. Кроме того, наличие сухого трения позволяет снизить как горизонтальные, так и вертикальные нагрузки.

Соединительная балка массивна и состоит из двух штампованных элементов верхнего листа 1 толщиной 16 мм, нижнего листа 2 толщиной 20 мм, четырех опор крайних скользунов 5, двух крайних пятников 4 и одного центрального подпятника 8. Подпятник приваривается к верхнему листу балки, а крайние пятники – к нижнему. Крайними пятниками 4 балка опирается на подпятники двухосных тележек. Центральный подпятник 8 тележки со шкворневым отверстием является главной опорой пятника рамы вагона. Балка усилена продольными 3 и поперечны-

ми 7 ребрами жесткости. По бокам средней части балки приварены центральные скользуны 6, которые являются дополнительными опорами кузова при вписывании вагона в кривые участки пути или при проходе стрелочных переводов. Кроме штампованной соединительной балки в четырехосных тележках встречаются балки литой конструкции. Балка отливается из мартеновской стали пустотелой формы. Конструкция соединительной балки показана на рис. 2.



**Рис. 2.** Конструкция соединительной балки

четырёхосной тележки из двух двухосных тележек восьмиосного вагона с опорами на подпятники

**Fig. 2.** Design of the connecting beam of a four-axle bogie composed from two biaxial bogies of an eight-axle wagon with supports on thrust bearings

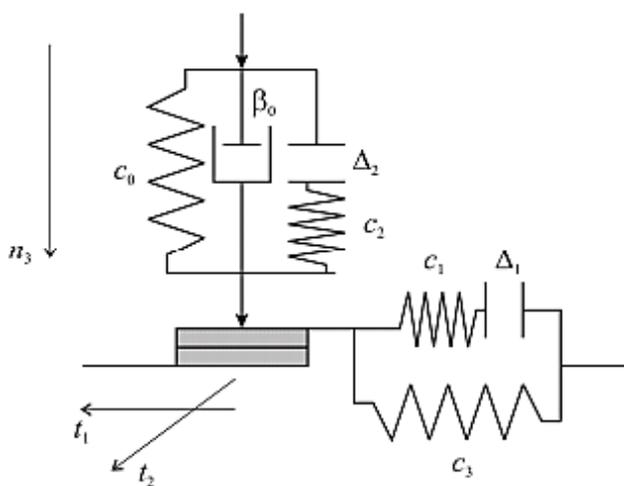
Пятники соединительной балки являются одним из ключевых элементов конструкции. Пятники – специальные узлы, которые предназначены для распределения нагрузки от кузова вагона на соединительную балку и на две двухосные тележки.

Для обеспечения надежности опоры пятников необходимо правильно подобрать размеры и материалы, из которых они изготавливаются. Необходимое условие – выдерживать нагрузку от вагона и передавать ее на соединительную балку без деформаций или повреждений.

Конструктив балок, а также пути ее модернизации поднимались в работе [11].

Важным аспектом при проектировании пятников является также расстояние между осями и высота опоры. Оптимальное расстояние между осями позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки на весь вагон, а правильная высота опоры позволяет поддерживать соединительную балку в горизонтальном положении для обеспечения стабильности движения.

В работе [12] подробно описана механика передачи усилий в узлах «пятник – подпятник» между вагоном и двумя четырехосными тележками, состоящими из двух двухосных тележек каждая. Представлена модель вагона с упрощенным описанием подвешивания и заданием полных нелинейных силовых характеристик связей «пятник – подпятник» и боковых скользунов, показанных на рис. 3.



**Рис. 3.** Механическая схема, моделирующая связь «пятник – подпятник» и боковых скользунов  
**Fig. 3.** Mechanical diagram simulating the «heel – thrust» and side sliders connections

При анализе данного узла необходимо учитывать такие параметры, как жесткость поджимающей пружины ( $c_0$ ), действие силы трения ( $t$ ), величины зазоров ( $\Delta$ ) [13].

В случае, когда кузов опирается на жесткие опоры боковых скользунов тележек, движение менее устойчиво.

Одним из способов модернизации и повышения надежности была предложена замена технологического исполнения соединительной балки, показанная в работе [14]. Требуемый технический результат становится возможным благодаря тому, что в четырехосной тележке грузового вагона в качестве соединительной устанавливалась несущая соединительная литая балка.

### Конструктивное исполнение скользунов между кузовом и тележкой вагона

Как показано в работе [15], установка жестких скользунов с зазором вместо упругих способствует снижению темпа износа гребней колес до 24 % в прямых большого радиуса и увеличению темпа износа поверхностей катания до 104 % в прямых и кривых большого радиуса, а также росту темпа износа поверхностей катания до 64 % в кривых малого радиуса, но это относится к четырехосным вагонам с короткой базой.

Применение в тележках упруго-фрикционной связи колесных пар с боковыми рамами в сочетании со скользунами с корректно подобранным моментом трения способствует уменьшению темпов износа гребней колес в кривых малого радиуса до 17 %, поверхностей катания для всех участков пути – до 135 % по сравнению с таковыми для тележки с жестким буксовым узлом и скользунами с зазором (тележка модели 18-100) [15].

Упруго-катковый скользящий используется для оснащения двухосных тележек грузовых вагонов. Он состоит из коробчатого корпуса с плотными бортами и частично закрытыми торцевыми отверстиями, двух одинаковых упругих опор из полимерного материала, которые устанавливаются в корпусе и имеют скошенные верхние торцы с углублениями, металлического колпачка с профилем, близким к равнобедренному треугольнику. Конструктивные выступы на скошенных боковинах помещаются в углубления упругих опор. Также к элементам скользуна относят плоские площадки, которые

должны быть стойкими к износу, и цилиндрические катки, расположенные на поверхности катания внутри корпуса. Ось катка практически перпендикулярна бортам корпуса, а его боковая поверхность в исходном положении выступает над этими бортами, но остается ниже плоской площадки колпачка.

Корпус скользуна представляет собой цельнолитое изделие с поперечной перегородкой, разделяющей конструкцию на два отсека. Упругие опоры устанавливаются в первом отсеке, а верхняя часть торцевого отверстия этого отсека закрыта дополнительной перегородкой, которая выполняется вместе с корпусом. Каток помещается на поверхность катания во втором отсеке [16]. Еще одним из способов повышения устойчивости стало применение пружинных опор, обеспечивающих демпфируемость системы и применявшихся в качестве опытных опорных устройств восьмиосного полувагона. Конструкционное исполнение представлено на рис. 4.

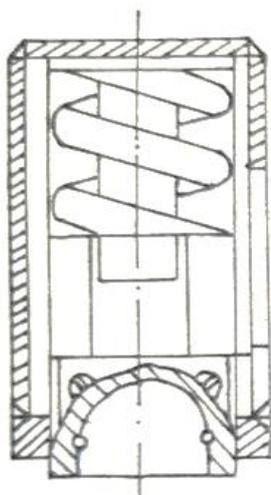


Рис. 4. Схема пружинной опоры  
Fig. 4. Spring support diagram

### Клиновые опоры

Опора опытного образца восьмиосного полувагона на рычажно-клиновое балансирующее устройство двухосных тележек является одной из ключевых составляющих его конструкции. Эта система позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки на все оси вагона и гарантировать его стабильность при движении по рельсам.

Рычажно-клиновое балансирующее устройство состоит из специальных сочленений, которые сопрягают вагон и тележку. Они

выполняют функцию передачи вертикальных нагрузок от вагона на тележку и обратно. Каждое сочленение имеет свою уникальную форму, позволяющую компенсировать неравномерное распределение нагрузки между осями (рис. 5).

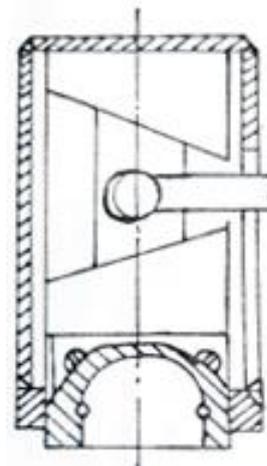


Рис. 5. Схема клиновой опоры  
Fig. 5. Wedge support diagram

Одной из особенностей этой системы является использование клиновых элементов. Клин представляет собой треугольную форму, которая используется для создания опорной точки между вагоном и тележкой. Когда вагон движется по рельсам, вертикальные нагрузки передаются через клины с помощью рычажных механизмов.

Основное распределение нагрузок осей вагона на тележку определяется геометрией клинового соединения между ними.

При клиновой опоре вагона на тележку нагрузка передается от вагона на оси тележки с помощью клинов и клиноприемников. Каждый клин имеет свое назначение и нагрузку, которую он принимает. Нагрузка распределяется пропорционально коэффициентам клиноопоры, который зависит от геометрии клинов и клиноприемников. Такой конструктив позволяет снизить боковые силы, возникающие при движении по кривым участкам пути и обеспечивает равномерное распределение нагрузок между осями тележки.

В работе [17] подробно изучено применение клиновидных опор для балансировки кузова восьмиосного вагона и четырехосных тележек. Схема механических воздействий показана на рис. 6, где  $X$  и  $Z$  – смещение по горизонтальному и вертикальному направлениям

соответственно. Следует отметить, что существуют потери на трение при клиновидной опоре  $F_2$ .

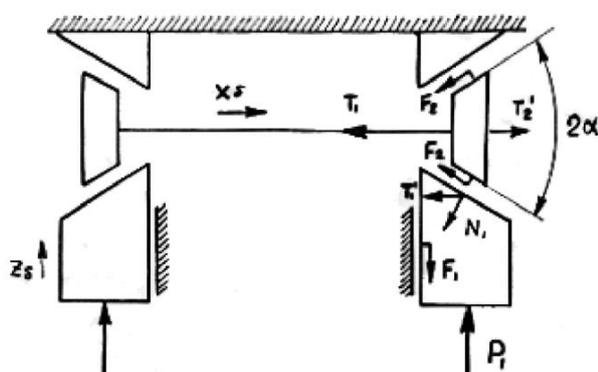


Рис. 6. Распределение нагрузок при клиновидной опоре  
Fig. 6. Load distribution with wedge support

### Опора вагона на ролико-катковые опоры тележек

Дальнейшая модификация вагонных тележек привела к установке ролико-катковых механизмов, которая направлена на снижение сил трения в процессе механического взаимодействия кузова восьмиосных вагонов и вагонных тележек.

Ролико-катковые опоры состоят из цилиндрических роликов, расположенных на неподвижной основе, а также катков, которые могут свободно вращаться. Ролики поддерживают вес вагона и передают его на катки, обеспечивая плавное скольжение по поверхности.

Преимуществом данной конструкции является возможность компенсации неровностей пути. При движении по дороге с неровностями или перегибами тележки могут колебаться и изменять положение относительно опорного узла. Благодаря роликам и каткам опорная система может подстраиваться под эти изменения, обеспечивая стабильность и равномерное распределение нагрузки.

Важным аспектом в использовании ролико-катковых опор является правильная настройка и обслуживание. Ролики должны быть установлены таким образом, чтобы они равномерно распределяли нагрузку и не причиняли излишнего износа поверхности тележек. Также необходимо периодическое смазывание катков для снижения трения и улучшения работоспособности. Конструктивные варианты ролико-катковых опор представлены на рис. 7.

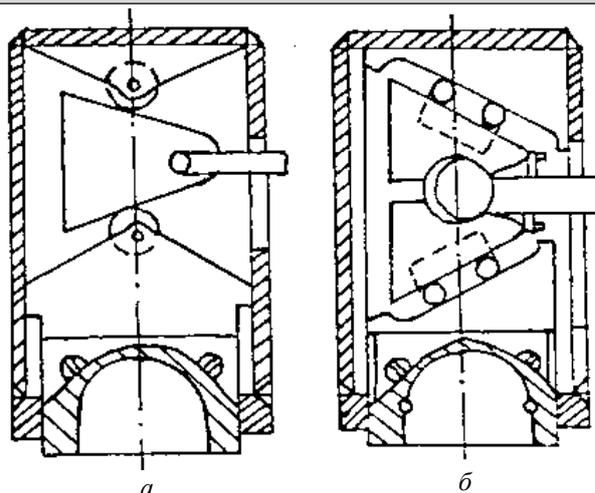


Рис. 7. Боковая опора с использованием роликов:  
а – опора на пару упругих роликов;  
б – опора на пару сдвоенных роликов

### Fig. 7. Side support using rollers:

а – support on a pair of elastic rollers;  
б – support on a pair of doubled rollers

### L-образный рычаг балансирующей системы

L-образный рычаг является одной из основных деталей балансирующей системы восьмиосного вагона. Он выполняет важную функцию обеспечения горизонтального и вертикального равновесия при движении поезда.

В состав L-образного рычага входят две части: горизонтальная и вертикальная. Горизонтальная часть рычага связывает сочленение вагона с тележками, а вертикальная – горизонтальную часть с осью колеса. Благодаря такой конструкции L-образный рычаг позволяет распределять нагрузку между осями колес и поддерживать стабильность движения.

В процессе движения поезда при изменении условий загрузки или скорости возникают дополнительные неравномерности нагрузки на оси колес, которые могут привести к нестабильности и повреждению тележек или вагона. В этом случае балансирующая система с помощью L-образного рычага автоматически корректирует наклонность и положение каждой тележки для обеспечения оптимальной равномерной нагрузки на все оси.

L-образный рычаг имеет регулируемые соединения, которые позволяют изменять его длину и угол наклона. Это помогает адаптировать балансирующую систему под различные условия эксплуатации и требования перевозимого груза. Также регулировка L-образного

рычага может быть необходима при замене колес или тележек.

Важным элементом L-образного рычага является его жесткость. Она должна быть достаточной для обеспечения стабильности, но в то же время не слишком высокой, чтобы предотвратить возникновение избыточных напряжений и повреждений. При разработке и производстве L-образного рычага используются специальные материалы и технологии, которые обеспечивают оптимальную жесткость и прочность этой детали.

### Выбор оптимального конструктивного решения

На основе обзоров различных вариантов конструктивных решений наиболее перспективным можно назвать использование четырехосных тележек, представляющих собой две двухосные тележки, соединенные облегченной балкой, на которую через скользящие опоры опирается кузов восьмиосного вагона.

Конструкция опорного узла предусматривает выравнивание вертикальных нагрузок при помощи рычагов, соединенных между собой продольными тягами, которые в свою очередь закреплены шарнирно на кронштейнах рамных балок. Данные рычаги выполняются геометрически несимметричными, а угол изгиба их горизонтальных плеч зависит от величины базы четырехосной тележки и расстояния между опорными устройствами. Различные перекосы, которые возникают при перемещении элементов опорного механизма, выравниваются в рамках катка, и по существу представляют собой классический шарнир Гука. Для снижения уровня рамных сил в данной системе предполагается применение катковых опор на скользящие.

### Опора на боковые скользящие тележки с заменой соединительной балки

В работе [9] рассмотрена конструкция балансирующего механизма, реализованного на применении облегченной соединительной балки с опорой кузова вагона на скользящие четырехосных тележек. Данный вариант позволяет получить наиболее оптимальное распределение нагрузки с точки зрения контактного поглощения механических воздействий как вертикально, так и горизонтально направленных (рис. 8).

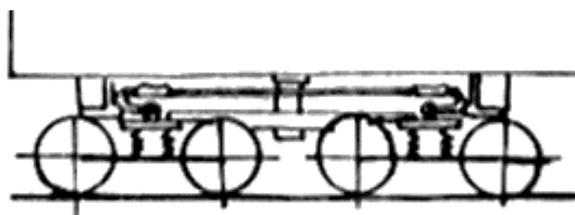


Рис. 8. Балансировочный механизм на скользящие двухосных тележек при замене соединительной балки на облегченную

Fig. 8. Balancing mechanism for sliders of biaxial bogies when replacing the connecting beam with a lightweight one

Одним из наиболее важных вопросов является нахождение оптимальных геометрических размеров зазоров между скользящими. В работе [18] была разработана математическая модель для определения наиболее оптимальных параметров.

При этом необходимо учитывать, что при прохождении кривых опора опирается на кромку подпятника, а не на центральную его часть (рис. 9).



Рис. 9. Принцип работы участков узла «пятник – подпятник» при наклонах

Fig. 9. The principle of operation of the node sections «heel – thrust» when tilting

Вопросы по учету перевалки кузова подробно затронуты в работе [19]. В зоне контакта «пятник – подпятник» нагрузка от кузова может распределяться равномерно или неравномерно. При этом неравномерная нагрузка может распределяться как по всей площади под упорной поверхностью пятника, так и по ее отдельным частям (при отрыве края пятника от подпятника).

Для подтверждения правильности выбора конструкции предполагается проведение численного компьютерного моделирования и оценки сил, действующих на рамные конструкции, а также контактных сил «колесо – рельс».

Любая тележка проходит этапы контроля на соответствие техническим нормам и требо-

ваниям, что отражено в [20]. Все тележки подвергаются обязательному выходному контролю, существует строгий регламент на мероприятия, проводимые в ходе деповского и капитального ремонтов.

### Заключение

В заключении необходимо отметить, что на основе анализа эволюции систем опирания следует, что балансирующие узлы опирания и сочленения восьмиосного вагона и четырехосных тележек играют важную роль в железнодорожной индустрии. Они обеспечивают лучшую стабильность и безопасность движения именно для восьмиосного вагона в поезде, а также повышают запас устойчивости против схода его с рельсов и проходимость на особо сложных участках пути. Правильный выбор типа узла и его эффективное использование могут значительно повысить эффективность работы железнодорожного транспорта. Конструктивные особенности восьмиосных вагонов с опиранием кузова на скользуны двухосных тележек также определяют уникальную способность такой системы автоматически подавлять опасные колебания. Большегрузные вагоны с опиранием кузова на скользуны двухосных тележек имеют более эффективную систему подвески и демпфирования, чтобы предотвратить излишние колебания при проезде по опасным неровностям пути или при изменении скорости.

Опоры восьмиосного вагона на рычажно-клиновое или рычажно-катковое балансирующее устройство опирания на скользуны двухосных тележек играет важную роль в обеспечении лучшей стабильности и равномерного распределения нагрузки при движении по рельсам

с неровностями в прямых и криволинейных участках пути с худшими параметрами содержания. Благодаря использованию клиновых или катковых элементов и сочетанию с рычажными механизмами балансировки нагрузок данная система способна эффективно автоматически компенсировать неравномерность нагрузки на двухосные тележки. Однако есть необходимость контроля и обслуживания этой системы для ее надежной работы. Для этого требуется проведение исследований по определению рациональных геометрических, жесткостных, фрикционных и инерционных параметров узлов и деталей таких вагонов, проведение компьютерного моделирования динамических и ходовых режимов движения всех видов с постройкой опытных образцов и их натурных статических, динамических и ударных испытаний.

Постановка на тележку упругих скользящих и частичная передача вертикальной нагрузки от кузова приводит к улучшению динамических качеств вагона в горизонтальном направлении. При движении по пути с перекосами у порожних восьмиосных вагонов с пружинами и опорами на скользуны рамные силы ниже, чем у подобных вагонов с клиновой балансирующей системой.

Для того чтобы тележки обеспечивали требуемые ходовые качества вагона, они должны иметь рациональную конструктивную схему и оптимальное значение параметров рессорного подвешивания. В опорах кузова на тележки должно быть достаточное трение, необходимое для гашения колебаний виляния и ограничения поворота тележки относительно кузова.

### Список литературы

1. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм : альбом-справочник 002И-2009 ПКБ ЦВ (ремонт) / Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства филиал ОАО «РЖД». М., 2009. URL: <http://scbist.com/vagony-i-vagonnoe-hozyaistvo/51805-gruzovye-vagony-kolei-1520mm-albom-spravochnik-002i-2009-pkb-cv.html> (Дата обращения 25.09.2023).
2. Пат. 2754932. Рос. Федерация. Длиннобазовая железнодорожная вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров / В.В. Тюньков, В.Н. Железняк, Ю.В. Воронова и др. № 2020131535 ; 24.09.2020 ; опублик. 08.09.2021, Бюл. № 25. 12 с.
3. Анализ центрального подвешивания тележки вагона метрополитена / Г.И. Петров, В.В. Писаренко, О.И. Паначев и др. // Безопасность движения поездов : материалы XVII науч.-практ. конф. М., 2016. С. II-100–II-102.
4. Ефимов В.П., Пранов А.А., Павлюков А.Э. Тележки для перспективных грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. 2002. № 4. С. 46–49.
5. Турутин И.В., Рудакова Е.А., Конструкция тележек моделей 18-9889 и 18-9890 для инновационных четырех и шестиосных грузовых вагонов // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 3 (46). С. 10–12.
6. Wheel-rail contact : handbook of Railway Vehicle Dynamics / ed. by S. Iwnicki. Boca Raton : London, New York: CRC Press, 2006. 552 p.
7. Тибилов Т.А. Нелинейные задачи динамики рельсовых экипажей // Проблемы механики железнодорожного транспорта : тезисы докл. всесоюз. конф. Днепропетровск, 1980. С. 137–138.

8. Бороненко Ю.П., Рудакова Е.А., Орлова А.М. Инновации в тележках грузовых вагонов: реальность и перспективы // Наука и транспорт. 2009. № 5. С. 14–17.
9. Петров Г.И. Динамика многоосных грузовых вагонов с опиранием кузова на скользуны : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 308 с.
10. Types of bogies // Trackopedia : site. URL: <https://www.trackopedia.com/en/encyclopedia/railway-vehicles/types-of-bogies> (Дата обращения 25.09.2023).
11. Романова А.А. Повышение ресурса соединительной балки // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2004. № 1. С. 63–66.
12. Орлова А.М. Влияние конструктивных схем и параметров тележек на устойчивость, ходовые качества и нагруженность грузовых вагонов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. 34 с.
13. Орлова А.М., Саидова А.В., Разработка математических моделей вагона на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес // Наука и прогресс транспорта. Вестн. Днепропетров. нац. ун-та ж.-д. трансп. 2013. № 2 (44). С. 118–123.
14. Пат. Рос. Федерация 216548. Четырехосная тележка для грузового вагона / С.А. Раловец, А.В. Маненков, А.В. Григорьев. № 2023101278 ; заявл. 23.01.2023 ; опубл. 14.02.2023, Бюл. № 5. 8 с.
15. Саидова А.В. Влияние характеристик буксового узла и боковых скользунов тележки грузового вагона на износ колес // Бюл. результатов научных исследований. 2014. № 1 (10). С. 170–176.
16. Пат. Рос. Федерация 29020. Упруго-катковый скользящий / В.Ф. Ушкалов, Брюс Г. Гатнарек, Денис Л. Рен. № 2002124396/20 ; заявл. 19.09.2002 ; опубл. 27.04.2003, Бюл. № 12. 7 с.
17. Филиппов В.Н. Особенности расчета, анализа и пути улучшения динамических показателей перспективных большегрузных вагонов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1986. 384 с.
18. Иванов Д.В. Влияние технического состояния ходовых частей грузовых вагонов на безопасность движения и износ в системе колесо-рельс : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 203 с.
19. Бороненко Ю.П., Житков Ю.Б. Уточнение силовой характеристики связи кузова вагона с тележками при перевалке на плоских пятниках // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2016. Т. 13. № 2 (47). С. 133–145.
20. Ремонт тележек грузовых вагонов. Руководящий документ. РД 32 ЦВ 052-2009 : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества 14.05.2010, протокол № 52. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

### References

1. Gruzovye vagony zheleznykh dorog kolei 1520 mm: al'bom-spravochnik 002I-2009 PKB TsV (remont) [Freight wagons of railways of 1520 mm gauge: Album-reference book 002I-2009 PCB TsV (repair)]. Available at: <http://scbist.com/vagony-i-vagonnoe-hozyaistvo/51805-gruzovye-vagony-kolei-1520mm-albom-spravochnik-002i-2009-pkb-cv.html> (Accessed September 25, 2023).
2. Tyun'kov V.V., Zheleznyak V.N. Voronova Yu.V., Martynenko L.V. Romashov A.V., Ushkov M.G., Lebedev I.N. Patent RU 2754932 C1, 08.09.2021.
3. Petrov G.I., Pisarenko V.V., Panachev O.I., Sokolov A.M. Analiz tsentral'nogo podveshivaniya telezhki vagona metropolitena [Analysis of the central suspension of the trolley of the subway wagon]. *Materialy XVII nauchno-prakticheskoi konferentsii «Bezopasnost' dvizheniya poezdov»* [Proceedings of the XVII Scientific and Practical Conference «Train safety»]. Moscow, 2016, pp. II-100–II-102.
4. Efimov V.P., Pranov A.A., Pavlyukov A.E. Telezhki dlya perspektivnykh gruzovykh vagonov [Trolleys for perspective freight wagons]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2002, no. 4, pp. 46–49.
5. Turutin I.V., Rudakova E.A., Konstruktsiya telezhki modelei 18-9889 i 18-9890 dlya innovatsionnykh chetyrekh i shestiosnykh gruzovykh vagonov [Construction of bogies of models 18-9889 and 18-9890 for innovative four- and six-axle freight wagons]. *Transport Rossiiskoi Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2013, no. 3 (46), pp. 10–12.
6. Wheel-rail contact: handbook of Railway Vehicle Dynamics / ed. by S. Iwnicki. Boca Raton : London, New York: CRC Press, 2006. 552 p.
7. Tibilov T.A. Nelineinye zadachi dinamiki rel'sovykh ekipazhei [Nonlinear problems of dynamics of rail crews]. Tezisy dokladov vsesoyuznoi konferentsii «Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta» [Theses of reports of the All-Union conference «Problems of mechanics of railway transport»]. Dnepropetrovsk, 1980, pp. 137–138.
8. Boronenko Yu.P., Rudakova E.A., Orlova A.M. Innovatsii v telezhkakh gruzovykh vagonov: real'nost' i perspektivy [Innovations in freight wagons: reality and prospects]. *Nauka i transport* [Science and Transport], 2009, no. 5, pp. 14–17.
9. Petrov G.I. Dinamika mnogoosnykh gruzovykh vagonov s opiraniem kuzova na skol'zuny [Dynamics of multi-axle freight wagons with the body resting on sliders]. Ph.D.'s theses. Moscow, 1986, 308 p.
10. Railway vehicles and components / Types of bogies (Electronic resource). Available at: <https://www.trackopedia.com/en/encyclopedia/railway-vehicles/types-of-bogies>. (Accessed September 25, 2023).
11. Romanova A.A. Povyshenie resursa soedinitel'noi balki [Increasing the life of the connecting beam]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2004, no. 1, pp. 63–66.
12. Orlova A.M. Vliyanie konstruktivnykh skhem i parametrov telezhki na ustoychivost', khodovye kachestva i nagruzhenost' gruzovykh vagonov [Influence of design schemes and parameters of bogies on stability, driving performance and loading of freight wagons]. Doctor's theses. Saint Petersburg. 2008, 34 p.
13. Orlova A.M., Saidova A.V., Razrabotka matematicheskikh modelei vagona na telezhkakh 18-9810 i 18-9855 dlya issledovaniya iznosov koles [Development of mathematical models of a wagon on trolleys 18-9810 and 18-9855 for the study of wheel wear]. *Nauka ta progres transportu* [Science and Progress for Transport], 2013, no. 2 (44), pp. 118–123.

14. Ralovets S.A., Manenkov A.V., Grigor'ev A.V. Patent RU 216548 U1, 14.02.2023.
15. Saidova A.V. Vliyanie kharakteristik buksovogo uzla i bokovykh skol'zunov teleshki gruzovogo vagona na iznos kole [The influence of the characteristics of the axle box and the side slides of a freight wagon trolley on wheel wear]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research], 2014, no. 1 (10), pp. 170–176.
16. Ushkalov V.F., Gatnarek Bryus G., Ren Denis L. Patent RU 29020 U1, 27.04.2003.
17. Filippov V.N. Osobennosti rascheta, analiza i puti uluchsheniya dinamicheskikh pokazatelei perspektivnykh bol'shegruznykh vagonov [Features of calculation, analysis and ways to improve the dynamic performance of promising heavy-duty wagons]. Doctor's theses. Moscow, 1986. 384 p.
18. Ivanov D.V. Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya khodovykh chastei gruzovykh vagonov na bezopasnost' dvizheniya i iznos v sisteme koleso-rel's [The influence of the technical condition of the running gear of freight wagons on traffic safety and wear in the wheel-rail system]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2010, 203 p.
19. Boronenko Yu.P., Zhitkov Yu.B. Utochnenie silovoi kharakteristiki svyazi kuzova vagona s teleshkami pri perevalke na ploskikh pyatnikakh [Clarification of the power characteristics of the connection of the wagon body with trolleys during transshipment on flat center plates]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2016, vol. 13, no. 2 (47), pp. 133–145.
20. Rukovodyashchii dokument «Remont teleshkek gruzovykh vagonov RD 32 TsV 052-2009»: utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva 14.05.2010, protokol no 52 [Guidance document «Repair of trucks of freight wagons RD 32 CV 052-2009»: approved By the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States on May 14, 2010, Protocol no 52].

### Информация об авторах

**Попова Татьяна Александровна**, старший преподаватель кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: tatiana241187@gmail.com.

**Петров Геннадий Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: petrov-gi@gmail.com.

**Филиппов Виктор Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: filippov.vn@edu.rut-miit.ru.

### Information about the authors

**Tat'yana A. Popova**, Assistant Professor of the Department of Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: tatiana241187@gmail.com.

**Gennadii I. Petrov**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Head of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: petrovgi@gmail.com.

**Victor N. Filippov**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: filippov.vn@edu.rut-miit.ru.

## Коллективный выбор оптимального варианта трассы железнодорожной линии

М.В. Феоктистова✉, В.А. Подвербный

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉feoktistova\_mv@irgups.ru

### Резюме

Сложность выбора оптимального варианта трассы железнодорожной линии связана с рядом факторов. Принятие решений при многих критериях позволяет учитывать экономический, экологический и социальный аспекты строительства новой железнодорожной линии по одному из запроектированных вариантов трассы. Коллективное принятие решений предполагает объединение знаний и опыта различных людей для поиска ответов на сложные задачи. В коллективе разные мнения и взгляды на проблему помогают учесть всю необходимую информацию и прийти к наиболее оптимальному заключению. Для анализа полученного результата важно видеть обоснование предпочтений каждого эксперта. В работе рассмотрены три модели принятия коллективных решений: модель Кондорсе, модель Борда и линейная многокритериальная модель. Модель Кондорсе относительно проста для понимания и применения, что делает ее привлекательной при коллективном выборе. Однако при использовании этой модели бывают ситуации, когда решение не может быть принято из-за возникновения нетранзитивности предпочтений на множестве альтернатив. В этом случае следует воспользоваться обобщенным правилом Борда. В задачах, где важен многокритериальный подход, нужно применять линейную многокритериальную модель, позволяющую оценить множество критериев одновременно с учетом их веса. В статье приведен пример использования рассмотренных моделей при коллективном выборе оптимального варианта трассы железнодорожной линии.

### Ключевые слова

множество альтернатив, комитет, экспертная группа, ранжирование, многокритериальность, квалификация экспертов, важность критерия, функция предпочтительности, линейные свертки, формализация данных, выбор варианта трассы

### Для цитирования

Феоктистова М.В. Коллективный выбор оптимального варианта трассы железнодорожной линии / М.В. Феоктистова, В.А. Подвербный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 22–34. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).22-34.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 13.12.2023 г.; поступила после рецензирования: 05.03.2024 г.; принята к публикации: 06.03.2024 г.

## Collective choice of the optimal railway route option

M.V. Feoktistova✉, V.A. Podverbnyi

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

✉feoktistova\_mv@irgups.ru

### Abstract

The difficulty of choosing the optimal route for a railway line is related to a number of factors. Decision-making under many criteria makes it possible to take into account the economic, environmental and social aspects of the construction of a new railway line according to one of the projected route options. Collective decision-making involves combining the knowledge and experience of different people to find solutions to complex tasks. In the team, different opinions and views on the problem help to take into account all the necessary information and come to the most optimal conclusion. To analyze the result obtained, it is important to see the rationale for each expert's preferences. The paper considers three models of collective decision-making: the Condorcet model, the Board model and the linear multi-criteria model. The Condorcet model is relatively easy to understand and apply, which makes it attractive for collective selection. However, when using this model, situations may arise when a decision cannot be made due to the occurrence of non-transitivity of preferences on a set of alternatives. In this case, one should use the generalized Board rule. In tasks where a multi-criteria approach is important, it is necessary to apply a linear multi-criteria model that allows to evaluate many criteria simultaneously, taking into account their weightiness. The article provides an example of the use of the considered models in the collective selection of the optimal route of a railway line.

### Keywords

multiple alternatives, committee, expert group, ranking, multi-criteria, expert qualifications, criterion importance, preference function, linear convolution, data formalization, choosing a route option

**For citation**

Feoktistova M.V., Podverbnyi V.A. Kollektivnyi vybor optimal'nogo varianta trassy zheleznodorozhnoi linii [Collective choice of the optimal railway route option]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 22–34. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).22-34.

**Article info**

Received: December 13, 2023; Revised: March 5, 2024; Accepted: March 6, 2024.

**Введение**

Стремительное развитие технологий ставило вопросы, ответом на которые стали научные подходы. К ним относится теория принятия решений, предпосылки возникновения которой обоснованы следующими факторами:

– увеличение «стоимости ошибки»: чем сложнее, значительнее и амбициознее план, тем меньше допустимы волевые решения, и тем больше потребность в научных методах для предварительного анализа последствий каждого решения;

– ускорение научно-технического прогресса: жизненный цикл технологических решений стал короче, «опыт» не успевает накапливаться, требуется применение математических методов в проектировании;

– появление и развитие компьютеров, что ускорило решение задач одновременно с необходимостью широкого использования аналитических методов [1, 2].

Коллективное решение может быть более эффективным, чем индивидуальное, поскольку оно позволяет использовать знания и опыт всех участников процесса оценки и обсуждения проекта. В процессе поиска коллективного решения можно учесть различные точки зрения и найти наиболее оптимальное решение, которое будет учитывать все аспекты ситуации.

Задача коллективного решения – это задача, в которой группа экспертов должна принять решение на основе индивидуальных предпочтений.

Одной из особенностей коллективного принятия решений является то, что мнения и предпочтения отдельных участников могут не совпадать. В таких случаях необходимо искать компромиссы или принимать решения, с которыми соглашается большинство участников коллектива.

Для постановки задачи коллективного решения на заданном множестве альтернатив необходимо определить следующие параметры:

- множество альтернатив  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ;
- предпочтения каждого  $i$ -го участника  $>$

$i, i = 1, \dots, m$ ;

– функцию полезности  $U$ , которая отображает предпочтения участников в числовую шкалу;

– численные значения  $k$ -го частного критерия  $j$ -й альтернативы  $C_k^j, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, r$ ;

–  $r$  – количество частных критериев.

Лицо, принимающее решение (ЛПР), представляет собой двухуровневую структуру, состоящую из рабочей группы экспертов (ГЛПР) и ответственного лица (ОЛПР), принимающего или не принимающего окончательное решение и отправляющего проект на доработку [3, 4];

Для принятия коллективных решений используют одну из представленных ниже моделей.

Комитет – это группа экспертов, которые собираются вместе для принятия решений по определенному вопросу или задаче. Члены комитета могут иметь разные мнения и приоритеты, но они должны работать вместе, чтобы достичь консенсуса по решению. Комитеты могут быть эффективными в ситуациях, когда для оценки вариантов решения требуется максимально широкий диапазон в различных областях знаний и при этом итоговое решение должно быть основано на консенсусе, когда за решение проголосовало определенная доля экспертов (половина коллектива экспертов плюс один эксперт или две трети экспертов, или другая утвержденная доля). В качестве зрительного образа модели комитета можно предложить круглый совещательный стол, за которым работают все эксперты.

Иерархия – это модель, в которой проект с вариантами решений продвигается по иерархической цепочке снизу вверх. Эксперты знакомятся с проектом последовательно. Проект отклоняется, как только его отклоняет эксперт в заданной цепочке иерархии. Таким образом, в централизованной иерархической модели коллективного принятия решения проект оценивается экспертом более высокого уровня иерархии только в том случае, если он одобрен экспертами на нижестоящих уровнях. Окончательный вариант решения принимается (утвер-

ждается) самым важным экспертом в уровне иерархии. В качестве зрительного образа модели иерархии можно предложить вертикальный конвейер-лифт, по которому решение продвигается к вышестоящему эксперту только если его пропустил эксперт нижнего уровня иерархии. В задаче выбора варианта трассы железнодорожной линии из  $n$  разработанных вариантов все эксперты должны проголосовать за один и тот же вариант трассы, только тогда он станет «победителем».

Полиархия – это модель, которая предполагает, что проект с вариантами решения направляется на рассмотрение случайно выбранному эксперту в коллективе, и принимается то решение, которое рекомендовал данный эксперт, или проект отклоняется (отправляется на доработку), если эксперт не одобрил ни один из вариантов решения. В полиархии случайно выбранный эксперт становится ЛПР от имени всей группы экспертов. В качестве зрительного образа такой модели можно представить сервисный центр, в окна приема документов которого сидят эксперты, единолично принимающие решения по поводу проекта, «поданного» в окно эксперту. Все эксперты равноценны по своей квалификации и равнозначны по своим полномочиям. В отличие от модели комитета (коллегиальной модели) и модели иерархии (модели последовательного рассмотрения проектов), модель полиархии является моделью параллельного рассмотрения проектов и значительно повышает производительность (пропускную способность) такой формы организации коллективного принятия решений.

Описанные модели коллективного принятия решений допускают комбинирование [5–7].

Для принятия решения по выбору оптимального варианта трассы железнодорожной линии наиболее приемлема модель комитета, так как при рассмотрении и обсуждении преимуществ и недостатков протрассированных вариантов необходимо личное общение экспертов, их взаимообогащение информацией, знакомство с точкой зрения каждого из экспертов, являющихся специалистами в своих областях знания, поскольку каждый из них при оценке и сравнении вариантов отстаивает общественно значимые приоритеты. Именно модель комитета и будет рассмотрена далее.

При коллективном выборе оптимального варианта трассы железнодорожной линии ре-

шение принимается с учетом различных обобщенных факторов, таких как экономические, экологические и социальные.

В процессе принятия решений участвуют различные специалисты, включая инвесторов, инженеров-проектировщиков, экологов, представителей муниципалитетов и общественных организаций и других экспертов. Оценка рисков и экономическая эффективность являются важными аспектами при выборе оптимального варианта.

Целью данной статьи является рассмотрение возможности применения трех моделей принятия коллективных решений в рамках комитета (модели Кондорсе, модели Борда, линейной многокритериальной модели), которые, по мнению авторов, могут быть использованы для решения задачи по коллективному выбору оптимального варианта трассы железнодорожной линии.

Исследование выполнено по тестовой задаче изучения трех вариантов трассы новой железнодорожной линии, рассматриваемых коллективно.

В качестве экспертов рабочей ГЛПР и ОЛПР выступали авторы статьи, другие эксперты к решению задачи не привлекались.

#### Описание тестовой задачи

По топографической карте масштаба 1:50 000 проектной организацией «К» запроектированы три варианта трассы железнодорожной линии третьей категории с различными руководящими уклонами от станции А до направления Б. Топографическая карта с планами трех вариантов трассы представлена на рис. 1.

В строительстве железной дороги заинтересованы два инвестора.

Сначала был запроектирован вариант по Южному направлению с руководящим уклоном  $i_p = 8\%$  – альтернатива  $x_1$ , план трассы показан зеленым цветом, длина трассы составила 98 км.

Затем был запроектирован второй вариант трассы по Центральному направлению с  $i_p = 10\%$  – альтернатива  $x_2$ , план которой показан на карте бирюзовым цветом, длина трассы составила 93 км.

Наконец, для значительного сокращения длины железнодорожной линии был запроектирован третий вариант трассы по Северному направлению с  $i_p = 12\%$  – альтернатива  $x_3$ , план показан на карте фиолетовым цветом,

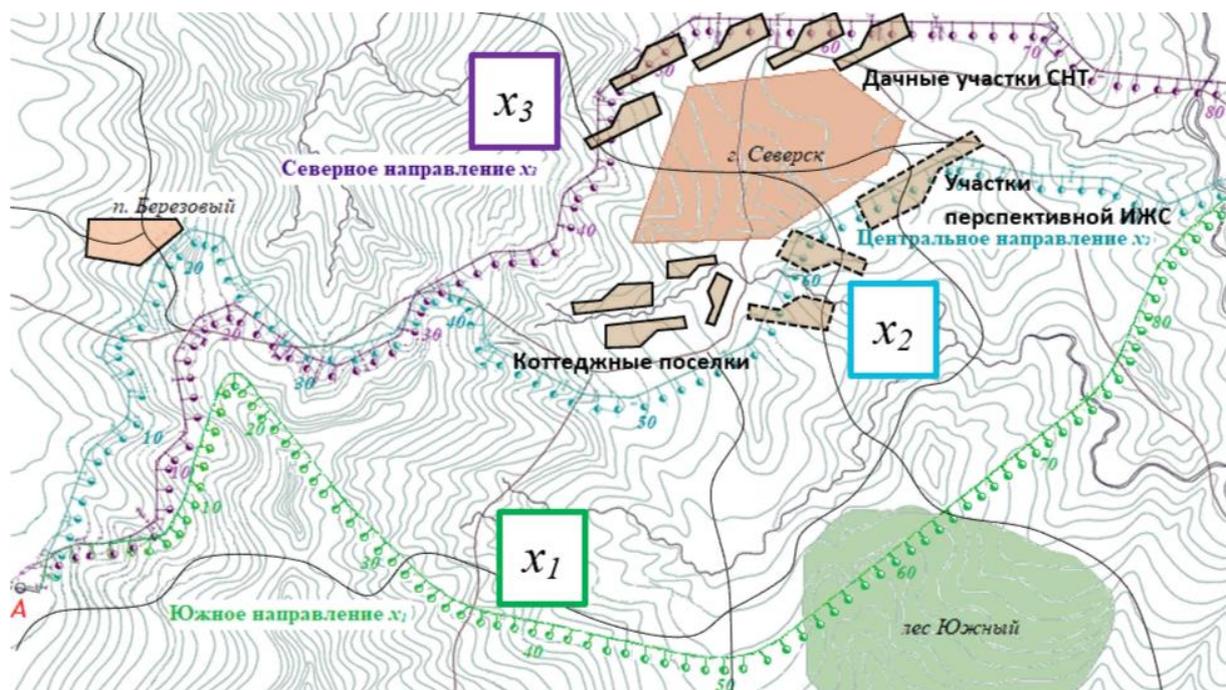


Рис. 1. Топографическая карта с планами трех вариантов трассы

Fig. 1. Topographic map with plans of three route options

длина трассы составила 85 км.

Вариантное проектирование железных дорог используется как на предпроектной стадии, так и в последующем на всех этапах проектирования [8, 9].

На начальных стадиях проектирования вполне вероятна ситуация, когда решение приходится принимать в условиях неопределенности и в нечеткой среде [10, 11].

Технико-экономическое сравнение вариантов трассы железнодорожной линии, как и скоростного рельсового транспорта, является задачей многокритериальной [12].

Многокритериальный подход позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант с уче-

том различных факторов, таких как чистый дисконтированный доход, приведенные строительно-эксплуатационные затраты, срок строительства, экологические, социальные факторы.

Все это позволяет принимать более обоснованные решения и учитывать различные интересы и требования заинтересованных сторон.

Технико-экономические показатели вариантов представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что по приведенным затратам нет значительного преимущества какого-либо варианта, все варианты равноценны между собой по данному показателю в пределах точности расчетов. Поэтому для сравнения необходимо привлечь критерии, отражающие потенциальные

Таблица 1. Технико-экономические показатели вариантов

Table 1. Technical and economic indicators of options

Показатель Indicator	Альтернативы железнодорожных линий Railway track alternatives		
	1 вариант ( $x_1$ ) 1 <sup>st</sup> option	2 вариант ( $x_2$ ) 2 <sup>nd</sup> option	3 вариант ( $x_3$ ) 3 <sup>d</sup> option
Направление Direction	Южное Southern	Центральное Central	Северное Northern
Руководящий уклон, ‰ Guiding bias, ‰	8	10	12
Длина трассы, км Route length, km	98	93	85
Приведенные затраты, млрд руб. Presented costs, billion rubles	10	9,9	9,8

выгоды инвесторов, улучшение транспортной инфраструктуры и влияние железной дороги на развитие региона, минимизацию воздействия на окружающую среду, влияние на население региона, так как строительство будет затрагивать важные общественные интересы.

Многокритериальная постановка задачи будет рассмотрена в третьей модели.

Для организации процесса принятия решений был сформирован комитет, состоящий из семи экспертов.

В табл. 2 перечислены должности, отражающие сферу интересов экспертов и обоснование их предпочтений, выразившихся в ранжировании альтернатив.

**Таблица 2.** Состав экспертной группы с обоснованием предпочтения каждого эксперта

**Table 2.** Expert group and rationale for each expert's preference

№ п/п	Эксперт Expert	Обоснование предпочтения Preference justification	Ранжирование альтернатив Ranking of alternatives
1	Инвестор 1 Investor 1	Для инвестора 1 предпочтителен вариант с наименьшими приведенными затратами For investor 1, the preferred option is the one with the lowest present costs	$x_3 > x_2 > x_1$
2	Инвестор 2 Investor 2	Инвестор 2 при ранжировании вариантов трассы отдавал предпочтение варианту с минимальными рисками. По его мнению, северное и центральное направления проходят вблизи г. Северск, в связи с чем есть риски затягивания согласования санитарно-защитной зоны вблизи города и в пригородных дачных районах, и районах, в которых планируется активное развитие индивидуального жилищного строительства. Инвестор 2 также опасается общественного резонанса и сложностей, связанных с необходимостью сноса неприватизированной существующей застройки на севере от г. Северска, попадающей в полосу отвода трассы по северному направлению. Поэтому инвестор 2 предпочел бы, чтобы трасса обходила город с глубоким обходом, на расстоянии 15–20 км от г. Северска по южному направлению Investor 2, when ranking route options, preferred the option with minimal risks. In his opinion, the northern and central directions pass near the city of Seversk, and therefore there is a risk of delaying the approval of the sanitary protection zone near the city and in suburban summer house areas, and areas in which the active development of individual housing construction is planned. Investor 2 is also afraid of public outcry and difficulties associated with the need to demolish an existing non-privatized building in the north of the city of Seversk, which falls within the right-of-way of the highway in the northern direction. Therefore, investor 2 would prefer that the route bypass the city with a deep bypass, at a distance of 15–20 km from the city of Seversk in a southern direction	$x_1 > x_2 > x_3$
3	Главный инженер проекта проектной организации «К» Chief project engineer of the design organization «K»	Главный инженер проекта выполнял ранжирование вариантов в пользу менее протяженной трассы The Chief project engineer ranked options in favor of a shorter route	$x_3 > x_2 > x_1$
4	Эксперт по вопросам	Для эколога самым непривлекательным вариантом	$x_2 > x_3 > x_1$

	экологии Ecology expert	является трасса по южному направлению, так как она проходит через лес Южный, который является важным объектов экосистемы района проектирования. По оценке эксперта, строительство дороги через Южный лес может привести к нарушению ареала обитания парнокопытных животных (косулей и кабанов). Центральное направление трассы предпочтительнее северного, так как преимущественное направление ветров в регионе – северное For an ecologist, the most unattractive option is the route in the southern direction, since it passes through the Yuzhny forest, which is an important object in the ecosystem of the design area. According to the expert, the construction of a road through the Southern Forest could lead to disruption of the habitat of artiodactyl animals (roe deer and wild boars). The central direction of the route is preferable to the north, since the predominant wind direction in the region is north	
5	Общественный представитель мэрии г. Северск Seversk mayor's office public representative	Эксперт проранжировал варианты данным образом исходя из того, чтобы железнодорожная линия не проходила вблизи участков перспективной индивидуальной жилой застройки, а также для эксперта важным является то, чтобы железная дорога прошла недалеко от города и появился Северский железнодорожный вокзал The expert ranked the options in this way based on the fact that the railway line does not pass near areas of promising individual residential development, and it is also important for the expert that the railway passes close to the city and the Seversk railway station appears	$x_3 > x_1 > x_2$
6	Глава местного самоуправления пос. Березовый Head of village Berezovyi local government	Эксперт заинтересован в том, чтобы трасса проходила вблизи пос. Березового (таким вариантом является $x_2$ ), так как по железной дороге возможна организация пригородного движения электропоездов, остановочная платформа электричек будет размещена напротив пос. Березовый The expert is interested in the route passing near the village Berezovyi (this option is $x_2$ ), since it is possible to organize suburban traffic of electric trains by rail; the stopping platform for electric trains will be located opposite the village Berezovyi	$x_2 > x_3 > x_1$
7	Отраслевой представитель ОАО «РЖД» Branch representative of JSC «Russian Railways»	Эксперт заинтересован в том, чтобы весовая норма поезда на построенной линии была наибольшей, поэтому ранжирование выполнено с учетом руководящего уклона – более предпочтителен вариант трассы с меньшим уклоном The expert is interested in ensuring that the weight standard of the train on the constructed line is the greatest, so the ranking is carried out taking into account the guideline slope - a route with a lower slope is more preferable	$x_1 > x_2 > x_3$

Предпочтения экспертов и ранжирование альтернатив в рассматриваемой задаче предложено авторами статьи.

Обоснование предпочтений экспертов при коллективном принятии решений важно по

нескольким причинам, которые сформулированы по результатам изучения работ [13, 14] и перечислены ниже:

1. Улучшение качества решения: обоснование предпочтений экспертов помогает опре-

делить, какие факторы и критерии наиболее важны для эксперта и влияют на его расстановку альтернатив по предпочтениям.

2. Повышение прозрачности процесса принятия решения: когда предпочтения экспертов обоснованы, это делает процесс принятия решения более объективным и понятным для всех участников, а также снижает вероятность возникновения разногласий и конфликтов, в результате чего возрастает доверие к результатам принятия решения.

3. Обеспечение легитимности и авторитетности экспертов: обоснование экспертных предпочтений помогает экспертам подтвердить их профессиональный опыт и знания, что делает их мнение более авторитетным и легитимным для других участников процесса.

4. Стимулирование активного участия экспертов в процессе принятия решений: если предпочтения эксперта обоснованы и признаны важными всеми членами экспертной группы, это стимулирует его активное участие в процессе принятия решения. Чем более эксперт вовлечен в процесс, тем более качественным и эффективным будет итоговое решение.

5. Создание основы для обучения и развития: обоснование экспертных предпочтений может служить основой для анализа и оценки различных подходов к принятию решений, а также для выявления областей, требующих улучшения.

## Методы решений

### Модель Кондорсе

Модель Кондорсе была разработана французским математиком Мари Антуаном Никола де Кондорсе в конце XVIII в. Он использовал ее для решения проблемы коллективного выбора, когда несколько альтернатив конкурируют за предпочтения группы людей. Модель основана на идее, что каждый человек имеет уникальное предпочтение, и цель состоит в том, чтобы найти решение, которое будет наилучшим для всех.

Это один из простейших и наиболее часто встречающихся на практике способов принятия коллективных решений. Он используется для определения победителя на выборах.

Для применения модели Кондорсе необходимо провести парные сравнения всех альтернатив и определить, какая из них является наиболее предпочтительной. Если ни одна из

альтернатив не является абсолютно предпочтительной, то выбор может быть сделан на основе других критериев, таких как количество голосов за каждую альтернативу.

Используем модель Кондорсе к рассматриваемой задаче.

На основании полученных от экспертов результатов ранжирования альтернатив, представленных в табл. 2, подсчитывается число экспертов  $l(x_j, x_k)$ , считающих альтернативу  $x_j$  более предпочтительной, чем  $x_k$ .

Если соблюдается условие:

$$l(x_j, x_k) > l(x_k, x_j), \quad (1)$$

то альтернатива  $x_j$  признается более предпочтительной, чем  $x_k$ .

Используем выражение (1) и определим предпочтительность альтернатив.

Поскольку  $l(x_1, x_2) = 3 < l(x_2, x_1) = 4$  – три эксперта (под номерами 2, 5, 7) считают, что альтернатива  $x_1$  предпочтительней  $x_2$ , а четыре эксперта (1, 3, 4, 6) считают наоборот. Принимаем  $x_2 > x_1$ .

Поскольку  $l(x_1, x_3) = 2 < l(x_3, x_1) = 5$  – два эксперта (под номерами 2, 7) считают, что альтернатива  $x_1$  предпочтительней  $x_3$ , а эксперты 1, 3, 4, 5, 6 считают наоборот, принимаем  $x_3 > x_1$ .

И, наконец,  $l(x_2, x_3) = 4 < l(x_3, x_2) = 3$  – четыре эксперта (под номерами 2, 4, 6, 7) считают, что альтернатива  $x_2$  предпочтительней  $x_3$ , а эксперты 1, 3, 5 считают наоборот. Принимаем  $x_2 > x_3$ .

В результате парного сравнения коллективное ранжирование альтернатив имеет вид  $x_2 > x_3 > x_1$ , а наилучшей альтернативой является альтернатива  $x_2$  – второй вариант трассы, запроектированный по центральному направлению с руководящим уклоном  $i_p = 10\%$ .

Основным недостатком данной модели является то, что в некоторых ситуациях при голосовании может возникнуть ситуация, когда три или более альтернатив не могут быть упорядочены с помощью голосования, даже если каждый голосующий имеет уникальное предпочтение.

Другими словами, если группа предпочитает вариант А варианту В, вариант В предпочитает варианту С, а вариант С предпочтительнее варианта А, то получается патовая ситуация, которую называют «парадокс Кондорсе», и выбор невозможно сделать.

Этот парадокс является результатом не-транзитивности групповых предпочтений, и ко-

гда мнения экспертов сильно различаются, вероятность возникновения парадокса Кондорсе увеличивается.

В такой ситуации следует использовать более сложные модели, например модель Борда [15].

#### Модель Борда

Модель Борда была разработана в XIX в. французским математиком Жан-Шарлем де Борда. Он использовал эту модель для определения результатов в спортивных соревнованиях, таких как гонки на яхтах и скачки. Позже модель стала широко использоваться в других сферах, включая спорт, образование, науку и многоэтапные выборы.

Преимуществом данной модели является то, что всегда существует наилучшая альтернатива, или несколько наилучших альтернатив, если они набирают одинаковое количество баллов. При этом, если решение по модели Кондорсе существует, то оно, как правило, совпадает с решением по модели Борда, или шире него, т.е. имеет кроме альтернативы, оптимальной по модели Кондорсе, еще несколько оптимальных альтернатив.

Для определения лучшей альтернативы по данной модели необходимо ввести функцию Борда  $b(x_j)$  следующим образом:

$$b(x_i) = \sum_{i,k=1}^n [l(x_1, x_k) - l(x_k, x_j)],$$

где  $l(x_j, x_k)$  – число экспертов, считающих альтернативу  $x_j$  более предпочтительной, чем  $x_k$ .

На практике чаще используют обобщенное правило Борда: за первое место при попарном сравнении альтернатив присуждается  $n$  баллов, за второе  $n - 1$  и т.д. После этого подсчитывается сумма баллов для каждой альтернативы. Лучшей считается та альтернатива, которая набирает большую сумму баллов [16]:

$$b(x_i) = \sum_{i,N=1}^n [l_{x_i=N} \cdot n_N], \quad (2)$$

где  $l_{x_i=N}$  – число экспертов, поставивших альтернативу  $x_i$  на  $N$ -е место при ранжировании;  $n_N$  – число баллов, начисляемых за  $N$ -е место при ранжировании.

Определим значение функции Борда по формуле (2) для рассматриваемой задачи.

За первое место при ранжировании альтернатив будет присуждаться 3 балла ( $n_{N=1} = 3$ ), за второе место – 2 балла ( $n_{N=2} = 2$ ), за третье место – 1 балл ( $n_{N=3} = 1$ ). Произведем подсчет экспертов, проголосовавших за каждый вариант ранжирования альтернатив, в табл. 3.

Определим значения функции Борда:

**Таблица 3.** Результат ранжирования альтернатив  
**Table 3.** Result of ranking the alternative

Вариант сравнения Comparison variant	Число экспертов, проголосовавших за данный вариант Number of experts voting for this option	Кто проголосовал Those voted	Предпочтение экспертов
1	2	Инвестор 2 Investor 2 Отраслевой представитель ОАО «РЖД» Branch representative of JSC «Russian Railways»	$x_1 > x_2 > x_3$
2	–	–	$x_1 > x_3 > x_2$
3	–	–	$x_2 > x_1 > x_3$
4	2	Эксперт по вопросам экологии Environmental expert Глава местного самоуправления пос. Березовый Head of local government of the village Berezovyi	$x_2 > x_3 > x_1$
5	1	Общественный представитель мэрии г. Северск Public representative of the mayor's office of Seversk	$x_3 > x_1 > x_2$
6	2	Инвестор 1 Investor 1 Главный инженер проекта проектной организации «К» Chief project engineer of the design organization «K»	$x_3 > x_2 > x_1$

$$b(x_1) = 2 \cdot 3 + 1 \cdot 2 + (2+2) \cdot 1 = 12 \text{ баллов,}$$

$$b(x_2) = 2 \cdot 3 + (2+2) \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 15 \text{ баллов,}$$

$$b(x_3) = (1+2) \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 15 \text{ баллов.}$$

Значит, по модели Борда две лучших альтернативы:  $x_2$  – второй вариант трассы, запроектированный по центральному направлению с руководящим уклоном  $i_p = 10\%$  и  $x_3$  – третий вариант трассы, запроектированный по северному направлению с руководящим уклоном  $i_p = 12\%$  и для окончательного выбора можно рекомендовать к использованию линейную многокритериальную модель группового принятия решений.

#### Линейная многокритериальная модель

Описанные выше модели Кондорсе и Борда не принимают во внимание многоаспектность (многокритериальность) сравнения при сопоставлении вариантов. Иными словами, в них не учитываются экспертные предпочтения в контексте каждой альтернативы, которая определяется совокупностью частных критериев эффективности. Одним из известных и распространенных методов многокритериального выбора является линейная многокритериальная модель.

Многокритериальность – это подход к принятию решений, который учитывает множество различных критериев или показателей при выборе наилучшего варианта.

Суть метода состоит в назначении коэффициентов для каждого критерия в линейной функции и ее последующей максимизации или минимизации, в зависимости от цели задачи. Важно привести все критерии к единой шкале для успешного использования линейной свертки, т.е. нормализовать частные критерии [17, 18].

Пусть количество допустимых альтернатив равно  $n$ , число экспертов –  $m$ . Количество частных критериев эффективности, характеризующих альтернативы по различным показателям, равно  $r$ .

Используем следующие обозначения:  $\beta_k^i, j = 1 \dots m, k = 1 \dots r$ , – оценка квалификации  $j$ -го

эксперта по  $k$ -му критерию;  $\lambda_j^i$  – предпочтения каждого  $j$ -го эксперта на множестве альтернатив  $X = \{x_i\}, i = 1 \dots n$ ;  $v_k$  – значимость (важность)  $k$ -го частного критерия эффективности;  $C_k^i$  – численное значение  $k$ -го частного критерия для  $i$ -й альтернативы.

Будем считать, что наилучшее решение для некоторого  $k$ -го частного критерия достигается при его максимальном значении. Если же наилучшее решение достигается при его минимальном значении, то всегда от максимума можно перейти к минимуму путем расчета по формуле (3):

$$C_k^i = 1 - \frac{C_k^i}{\max(C_k^i)_{i,k}}. \quad (3)$$

Теперь для  $i$ -й альтернативы введем функцию предпочтительности  $pr(x_i)$  следующим образом:

$$pr(x_i)_{i=1}^n = \sum_{j=1}^m \lambda_j^i \left( \sum_{k=1}^r \beta_k^j v_k \cdot C_k^i \right). \quad (4)$$

Произведем выбор наилучшего коллективного решения по многокритериальной линейной модели в предположении, что квалификация экспертов не связана с экономическим смыслом частных показателей качества альтернативы [15, 19].

Тогда расчет функции предпочтительности может быть выполнен по формуле (5):

$$pr(x_i)_{i=1}^n = \sum_{j=1}^m \lambda_j^i \left( \sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i \right). \quad (5)$$

Используем линейную многокритериальную модель (4) в рассматриваемой задаче.

Для частных критериев эффективности заданы оценки значимости, приведенные в табл. 4.

Численно все значения показателей качества альтернатив и значимости частных критериев задаются в диапазоне от 0 до 1, от наихудшего (наименее значимого) до наилуч-

**Таблица 4.** Оценки значимости частных критериев эффективности  
**Table 4.** Assessment of the significance of particular performance criteria

№ п/п	Критерий оценивания Evaluation criterion	Значимость критерия $v_k$ Criterion significance $v_k$
1	Экономический аспект Economy aspect	0,50
2	Экологический аспект Environmental aspect	0,25
3	Социальный аспект Social aspect	0,25

шего (наиболее значимого).

В табл. 5 приведена оценка каждой альтернативы по выбранным критериям и выполнен расчет  $\sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i$ .

В табл. 6 приведены предпочтения каждого эксперта на множестве альтернатив в виде значений  $\lambda_j^i$ , изменяющихся от 0 до 1 и дающих в сумме 1.

**Таблица 5.** Значения показателей качества  $C_k^i$   $i$ -ой альтернативы по  $k$ -му частному

критерию эффективности и расчет значения  $\sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i$

**Table. 5** The values of the quality indicators  $C_k^i$  of the  $i$ -th alternative according

to the  $k$ -th particular efficiency criterion and the calculation of the value of  $\sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i$

№ п/п	Наименование альтернативы Name of alternative	Экономический аспект $v_1 = 0,50$ Economic aspect $v_1 = 0,50$	Экологический аспект $v_2 = 0,25$ Environmental aspect $v_2 = 0,25$	Социальный аспект $v_3 = 0,25$ Social aspect $v_3 = 0,25$	$S^i = \sum_{k=1}^r v_k \cdot C_k^i$
$x_1$	Южное направление Southern direction	0,00	0,19	0,34	0,13
$x_2$	Центральное направление Central direction	0,01	0,53	0,65	0,30
$x_3$	Северное направление Northern direction	0,02	0,47	0,75	0,31

**Таблица 6.** Результат расчета лучшей альтернативы по линейной многокритериальной модели

**Table 6.** Result of calculating the best alternative using a linear multicriteria model

№ п/п	Эксперт Expert	Альтернативы Alternatives						Предпочтения Preferences
		$x_1$		$x_2$		$x_3$		
		$\lambda_j^1$	$\lambda_j^1 S^1$	$\lambda_j^2$	$\lambda_j^2 S^2$	$\lambda_j^3$	$\lambda_j^3 S^3$	
1	Инвестор 1 Investor 1	0,05	0,007	0,25	0,075	0,70	0,217	$x_3 > x_2 > x_1$
2	Инвестор 2 Investor 2	0,70	0,091	0,20	0,060	0,10	0,031	$x_1 > x_2 > x_3$
3	Главный инженер проекта проектной организации «К» Chief project engineer of the design organization «K»	0,20	0,026	0,35	0,105	0,45	0,140	$x_3 > x_2 > x_1$
4	Эксперт по вопросам экологии Environment expert	0,00	0,000	0,55	0,165	0,45	0,140	$x_2 > x_3 > x_1$
5	Общественный представитель мэрии г. Северск Public representative of the mayor's office of Seversk	0,50	0,065	0,00	0,000	0,50	0,155	$x_3 > x_1 > x_2$
6	Глава местного самоуправления пос. Березовый Head of local government of the village Berezovyi	0,03	0,004	0,90	0,270	0,07	0,022	$x_2 > x_3 > x_1$
7	Отраслевой представитель ОАО «РЖД» Branch representative of JSC «Russian Railways»	0,75	0,098	0,15	0,045	0,10	0,031	$x_1 > x_2 > x_3$
	Значения функции предпочтительности по многокритериальной линейной модели $pr(x_i)_{i=1}^n$ Values of the preference function according to the multicriteria linear model	–	0,291	–	0,720	–	<b>0,736</b>	–

После суммирования значений  $\lambda_j^i \cdot S^i$  в каждом из трех столбцов в конечной строке таблицы приведено итоговое значение функции предпочтительности по многокритериальной линейной модели для сравниваемых альтернатив – вариантов трассы железнодорожной линии  $pr(x_i)_{i=1}^n$ .

### Обсуждение результатов

По результатам расчета по линейной многокритериальной модели лучшим коллективным решением является альтернатива  $x_3$ , так как  $pr(x_3) = 0,736 = \max$ , что уточняет решение по модели Борда.

Принятие решений при многих критериях позволило явно учитывать несколько различных критериев, отражающих экономический, экологический и социальный аспекты строительства новой железнодорожной линии по одному из трех запроектированных вариантов трассы.

Для анализа полученного результата при коллективном принятии решения важно видеть обоснование предпочтений каждого эксперта.

Следует отметить, что при коллективных решениях существует опасность манипулиро-

вания результатами оценок, из-за чего могут произойти ошибки в процессе формирования коллегиального решения [20].

### Заключение

Коллективное принятие решений является важным процессом при выборе оптимального варианта трассы железнодорожной линии. Оно позволяет учесть мнение всех заинтересованных сторон и найти наиболее приемлемый вариант для всех экспертов.

Модель Кондорсе относительно проста для понимания и применения, что делает ее привлекательной при коллективном выборе. Однако при использовании этой модели возникает ситуация, когда коллективное решение не может быть принято из-за ситуации нетранзитивности предпочтений на множестве альтернатив. В этом случае следует использовать модель Борда с использованием обобщенного правила обобщенное правило Борда.

В задачах, где важен многокритериальный подход, применяют линейную многокритериальную модель, позволяющую оценить множество критериев одновременно с учетом их веса. Какую модель выбрать, зависит от конкретной ситуации и целей.

### Список литературы

1. Завалищин Д.С., Гончарь П.С., Тимофеева Г.А. Теория принятия решения. Екатеринбург : УрГУПС, 2019. 84 с.
2. Ростовцев В.С. Теория принятия решений. Киров : ВятГУ, 2021. 192 с.
3. Колбин В.В. Математические методы коллективного принятия решений. СПб. : Лань, 2022. 256 с.
4. Быков И.Г., Кириллов М.И. Определение процесса коллективного принятия решения в комплексной системе поддержки принятия решений (КСППР) // Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационно-общества. 2004. № 1. С. 186–187.
5. Санников А.А., Кузубина Н.В. Системный анализ при принятии решений. Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. 137 с.
6. Веприкова М.Я. Коллективные методы принятия решений в современных организациях, их эффективность // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 9А. С. 353–360.
7. Sah R.K., Stiglitz J.E. Committees, hierarchies and polyarchies // The Economic Journal. 1988. Vol. 98. № 391. P. 451–470.
8. Предпроектные соображения по строительству железнодорожного пути по направлению «Окино-Ключевское месторождение угля – Гусиноозерская ГРЭС» / И.В. Благоразумов, К.А. Кирпичников, Е.В. Непомнящих и др. // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2013. № 1. С. 39–42.
9. Казарина В.В., Подвербный В.А. Принятие решения по выбору варианта трассы железнодорожной линии // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 140–151.
10. Андрейчиков А.В. Методы и интеллектуальные системы анализа и синтеза новых технических решений. М. : РИОР, 2019. 544 с.
11. Подвербный В.А. Выбор варианта железной дороги на основе критерия нечеткой полезности // Транспортное строительство. 2000. № 7. С. 10–13.
12. Скоростной рельсовый транспорт для обеспечения пассажирских перевозок в Иркутской агломерации / В.А. Подвербный, О.В. Подвербная, А.В. Подвербный и др. // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации российских железных дорог : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 2007. Т. 2. С. 85–105.
13. Карелин В.П. Моделирование коллективного интеллекта в системах управления и поддержки принятия решений // Актуальные проблемы современной экономики. Математические методы, модели и информационные технологии : сб. докл. XVIII науч.-практ. конф. преподавателей, студентов, аспирантов и молодых ученых. Таганрог, 2017. С. 129–135.
14. Тюшняков В.Н., Челашов Д.А. Исследование парадокса циклического голосования при принятии коллективных решений // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7-3. С. 91–92.

15. Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Экспертные системы поддержки принятия коллективных решений. Пермь : ПНИПУ, 2017. 38 с.
16. Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 4. С. 73–82.
17. Ганичева А.В., Ганичев А.В. Моделирование коллективного принятия решений // Научный журнал КубГАУ : политемат. сетевой электрон. науч. журн. 2021. № 174 (10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2021/10/pdf/07.pdf>. (Дата обращения 18.03.2023).
18. Борисов В.И. Метод свертки критериев для решения задачи многокритериальной оптимизации // Проблемы и тенденции научных исследований в системе образования : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2019. Ч. 1. С. 25–26.
19. Вожаков А.В., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Модели принятия коллективных решений в производственных системах // Управление большими системами. 2015. № 58. С. 161–178.
20. Gibbard A. Manipulation of Voting Schemes: A General Result // The Econometrica. 1973. Vol. 41. Iss. 4. P. 587–601.

### References

1. Zavalishchin D.S., Gonchar' P.S., Timofeeva G.A. Teoriya prinyatiya resheniya [Decision theory]. Ekaterinburg: UR-GUPS Publ., 2019. 84 p.
2. Rostovtsev V.S. Teoriya prinyatiya reshenii [Decision Theory]. Kirov: VyatGU Publ., 2021. 192 p.
3. Kolbin V.V. Matematicheskie metody kolektivnogo prinyatiya reshenii [Mathematical methods of collective decision-making]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2022. 256 p.
4. Bykov I.G., Kirillov M.I. Opredelenie protsessa kolektivnogo prinyatiya resheniya v kompleksnoi sisteme podderzhki prinyatiya reshenii (KSPPR) [Definition of the process of collective decision-making in the integrated decision support system (IDSS)]. *Problemy kachestva, bezopasnosti i diagnostiki v usloviyakh informatsionnogo obshchestva* [Problems of quality, safety and diagnostics in the information society], 2004, no. 1, pp. 186–187.
5. Sannikov A.A., Kutsubina N.V. Sistemy analiz pri prinyatii reshenii [System analysis in decision-making]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2015. 137 p.
6. Veprikova M.Ya. Kollektivnye metody prinyatiya reshenii v sovremennykh organizatsiyakh, ikh effektivnost' [Collective decision-making methods in modern organizations, their effectiveness]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: yesterday, today, tomorrow], 2018, vol. 8, no. 9A (82), pp. 353–360.
7. Sah R.K., Stiglitz J.E. Committees, hierarchies and polyarchies. *The Economic Journal*, 1988, vol. 98, no. 391, pp. 451–470.
8. Blagorazumov I.V., Kirpichnikov K.A., Nepomnyashchikh E.V., Klochkov Ya.V., Podverbnyi V.A., Podverbnyaya O.V. Predproektnye soobrazheniya po stroitel'stvu zhelezнодорожного пути по направлению «Окино-Клычевское месторождение угля – Гусиноозерская ГРЭС» [Pre-design considerations for the construction of a railway track in the direction «Okino-Klyuchevskoye coal deposit – Gusinozerskaya State District Power Plant»]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog* [Designing the development of a regional railway network], 2013, no. 1, pp. 39–42.
9. Kazarina V.V., Podverbnyi V.A. Prinyatie resheniya po vyboru varianta trassy zhelezнодорожной линии [Decision-making on the choice of the route of the railway line]. *Mir transporta* [World of Transport], 2019, vol. 17, no. 3 (82), pp. 140–151.
10. Andreichikov A.V. Metody i intellektual'nye sistemy analiza i sinteza novykh tekhnicheskikh reshenii [Methods and intelligent systems for analysis and synthesis of new technical solutions]. Moscow: RIOR Publ., 2019. 544 p.
11. Podverbnyi V.A. Vybora varianta zhelezнодорожной дороги на основе критерия нечеткой полезности [Choosing a railway option based on the criterion of fuzzy utility]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction], 2000, no. 7, pp. 10–13.
12. Podverbnyi V.A., Podverbnyaya O.V., Podverbnyy A.V., Belyaev D.B., Malykh A.A. Skorostnoi rel'sovyi transport dlya obespecheniya passazhirskikh perevozok v Irkutskoi aglomeratsii [High-speed rail transport for passenger transportation in the Irkutsk agglomeration]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy i perspektivy izyskaniya, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii Rossiiskikh zheleznykh dorog»* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Problems and prospects of survey works, design, construction and operation of Russian railways»]. Irkutsk, 2007, vol. 2, pp. 85–105.
13. Karelin V.P. Modelirovanie kolektivnogo intellekta v sistemakh upravleniya i podderzhki prinyatiya reshenii [Modeling of collective intelligence in management systems and decision support]. *Sbornik dokladov XVIII nauchno-prakticheskoi konferentsii prepodavatelei, studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennoi ekonomiki. Matematicheskie metody, modeli i informatsionnye tekhnologii»* [Proceedings of the XVIII scientific and practical conference of researches, students, postgraduates and young scientists «Actual problems of modern economics. Mathematical methods, models and information technologies»]. Taganrog, 2017, pp. 129–135.
14. Tyushnyakov V.N., Chelashov D.A. Issledovanie paradoksa tsiklicheskogo golosovaniya pri prinyatii kolektivnykh reshenii [Investigation of the paradox of cyclic voting in collective decision-making]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2014, no. 7-3, pp. 91–92.
15. Gitman M.B., Stolbov V.Yu. Ekspertnye sistemy podderzhki prinyatiya kolektivnykh reshenii [Ex-pert systems to support collective decision-making]. Perm': PNIPU Publ., 2017. 38 p.
16. Nogin V.D. Lineinaya svertka kriteriev v mnogokriterial'noi optimizatsii [Linear convolution of criteria in multi-criteria optimization]. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii* [Artificial intelligence and decision-making], 2014, no. 4, pp. 73–82.
17. Gancheva A.V., Ganchev A.V. Modelirovanie kolektivnogo prinyatiya reshenii [Modeling of collective decision-making]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific Journal of the Kuban State Agrarian University], 2021, no. 174, pp. 64–69.

18. Borisov V.I. Metod svertki kriteriev dlya resheniya zadachi mnogokriterial'noi optimizatsii [The method of criteria convolution for solving the problem of multi-criteria optimization]. *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy i tendentsii nauchnykh issledovaniy v sisteme obrazovaniya»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Problems and trends of scientific research in the education system»]. Tyumen', 2019, part 1, pp. 25–26.

19. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Yu. Modeli prinyatiya kollektivnykh reshenii v proizvodstvennykh sistemakh [Models of collective decision-making in production systems]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Management of large systems], 2015, no. 58, pp. 161–178.

20. Gibbard A. Manipulation of Voting Schemes: A General Result. *The Econometrica*, 1973, vol. 41, iss. 4, pp. 587–601.

#### Информация об авторах

**Феоктистова Маргарита Владимировна**, аспирант кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: bambuk09990@gmail.com.

**Подвербный Вячеслав Анатольевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: vpodverbniy@mail.ru.

#### Information about the authors

**Margarita V. Feoktistova**, Ph.D. Student of the Department of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: bambuk09990@gmail.com.

**Vyacheslav A. Podverbnyi**, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: vpodverbniy@mail.ru.

## Совершенствование механизма взаимодействия между структурными подразделениями дирекций центрального подчинения при планировании капитального ремонта пути

Т.А. Булохова<sup>1</sup>✉, В.В. Дукачева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры – структурное подразделение Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, Российская Федерация

✉677623@mail.ru

### Резюме

В последние десятилетия наблюдается рост объемов перевозок к портам Дальнего Востока, для освоения которых требуется подготовленная железнодорожная инфраструктура, в том числе пути как основного ее объекта. В связи с этим Правительством Российской Федерации принята программа развития ОАО «РЖД» до 2025 г., предусматривающая целевое финансирование капитального ремонта пути за счет инвестиционной составляющей в тарифе, что выдвигает повышенные требования к точности планирования объемов ремонта и их стоимости. В результате реформирования железнодорожного транспорта, были выделены три дирекции центрального подчинения, отвечающие за содержание путевого комплекса, что, безусловно, отразилось на управлении процессами путевого хозяйства, в частности на планировании расходов на ремонт пути. Проведенный в статье анализ бюджета и плановой стоимости ремонта пути за 2020–2023 гг. показал, что существующая система планирования программы капитального ремонта пути имеет ряд недостатков. Совершенствование процесса формирования стоимости капитального ремонта пути позволит снизить нагрузку на инфраструктурную составляющую в расходах ОАО «РЖД» от перевозок. В связи с этим авторами выдвинуто предложение об изменении организационной структуры Дирекции инфраструктуры с включением в ее состав Дирекции по ремонту пути, что позволит избежать экономические и производственные потери при планировании ремонтно-путевых работ и несогласованности действий в рамках их проведения, поспособствует увеличению заинтересованности сторон в своевременном и качественном выполнении работ, балансодержателем которых они будут являться, а также поможет более оптимально распределять персонал.

### Ключевые слова

транспортная инфраструктура, капитальный ремонт пути, планирование затрат, себестоимость ремонта, накладные расходы

### Для цитирования

Булохова Т.А. Совершенствование механизма взаимодействия между структурными подразделениями дирекций центрального подчинения при планировании капитального ремонта пути / Т.А. Булохова, В.В. Дукачева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 35–44. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).35-44.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 06.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 09.03.2024 г.; принята к публикации: 12.03.2024 г.

## Improvement of the interaction mechanism between structural divisions of directorates of central subordination in the planning of major repairs of the track

T.A. Bulokhova<sup>1</sup>✉, V.V. Dukacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>The East Siberian Directorate of Infrastructure – Structural Division of the Central Directorate of Infrastructure – Branch of JSC «Russian Railways», Irkutsk, the Russian Federation

✉677623@mail.ru

### Abstract

Over the past decades, there has been a positive increase in the volume of traffic to the ports of the Far East, whose development requires a prepared railway infrastructure, including tracks, as its main object. In this regard, the Government of the Russian Federation has adopted a Long-term Development Program of JSC «Russian Railways» until 2025, which provides targeted financing for major repairs of the track at the expense of the investment component in the tariff, which puts forward increased requirements for the accuracy of repair volumes planning and their cost. In addition, as a result of the reform of railway transport, three directorates of central subordination were allocated responsible for the maintenance of the track complex, which, of course, affected the management of track facilities processes, in particular, the planning of track repair costs. The analysis of the budget and planned cost of track

repairs for 2020–2023 carried out in the article showed that the existing system of planning a major track repair program has a number of flaws. Improving the process of forming the cost of capital repairs of the track will reduce the burden on the infrastructure component in the expenses of JSC «Russian Railways» from transportation. In this regard, the authors made a proposal to change the organizational structure of the Infrastructure Directorate with the inclusion of the Track Repair Directorate in its composition, which will allow to avoid economic and production losses when planning track repair work and inconsistency of actions within the framework of the work performed, as well as increase the interest of the parties in timely and high-quality work, whose balance holder they will become, and will also allow optimal use of personnel on different work fronts.

### Keywords

transport infrastructure, major repairs of the track, cost planning, cost of repairs, overhead costs

### For citation

Bulokhova T.A., Dukacheva V.V. Sovershenstvovanie mekhanizma vzaimodeistviya mezhdu strukturnymi podrazdeleniyami direktsii tsentral'nogo podchineniya pri planirovanii kapital'nogo remonta puti [Improving the interaction mechanism between structural divisions of directorates of central subordination when planning major repairs of the track]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 35–44. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).35-44.

### Article Info

Received: February 6, 2024; Revised: March 9, 2024; Accepted: March 12, 2024.

### Введение

Один из самых масштабных реализуемых национальных проектов за последнее десятилетие – развитие Байкало-Амурской (БАМ) и Транссибирской (Транссиб) магистралей, осуществляемого в рамках Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры. Пропускная способность БАМа и Транссиба к 2025 г., согласно второму этапу развития Восточного полигона, должна увеличиться в 1,5 раза, до 180 млн т в год, что должно обеспечить освоение перспективного грузопотока из Кузбасса в направлении Тайшет – Дальний Восток. Сроки доставки транзитных контейнерных грузов на направлении «восток – запад» сократятся до семи суток, а их объем увеличится в 4 раза [1–3]. Реализация поставленных стратегических целей требует подготовленной транспортной инфраструктуры, в том числе пути как основного ее объекта, от состояния которого зависит рост объемов и качества железнодорожных перевозок [4–6]. Однако, как показал анализ, существует проблема недофинансирования работ по капитальному ремонту верхнего строения пути в сравнении с фактической потребностью (табл. 1) [7, 8].

Из табл. 1 видно, что количество отремонтированных километров пути в 4 раза меньше, чем фактическая потребность. Для стабилизации ситуации Правительством РФ были приняты решения в сфере грузовых перевозок, одно из которых – включение дополнительной целевой надбавки в размере 2 % на выполнение капитального ремонта железнодорожной инфраструктуры (табл. 2) [1].

Возрастающая доля капитального ремонта пути, финансируемого за счет дополнительной целевой надбавки, выдвигает повышенные требования к точности планирования объемов ремонта и их стоимости. На этом фоне остро встает проблема взаимодействия дирекций центрального подчинения, отвечающих за содержание путевого комплекса при планировании расходов на ремонт пути.

На основании сказанного целью данного исследования является анализ объема работ и затрат на капитальный ремонт пути, определение «узких» мест в технологии планирования объемов ремонта и их стоимости, а также разработка на этой основе определенных рекомендаций.

**Таблица 1.** Объемы проведенного и просроченного капитального ремонта пути в 2020–2023 гг.

**Table 1.** Volumes of accomplished and overdue major repairs of the track in 2020–2023

Наименование показателя Indicator name	2020	2021	2022	2023
Капитальный ремонт, км пути Major repair, km of track	330,0	274,8	324,4	362,8
Просроченный капитальный ремонт, км пути Overdue major repair, km of track	1 450,9	1 430,0	1 430,0	1 430,0

**Таблица 2.** Динамика целевой надбавки на капитальный ремонт пути в стоимости тарифа до 2025 г.  
**Table 2.** Dynamics of the target surcharge for the overhaul of the track in the cost of the tariff until 2025

Наименование показателя Indicator name	2021	2022	2023	2024	2025
Целевая надбавка Target surcharge	2 %	3 %	5 %	7 %	7 %
Программа ремонта пути, тыс. км Track repair program, thousand km	4,9	4,6	5	5,5	5,1

### Анализ объемных и стоимостных показателей

В табл. 3 представлены объемы капитального ремонта пути по видам работ за 2020–2023 гг., в том числе выполняемого за счет средств дополнительной надбавки к тарифам на перевозку грузов:

- капитальный ремонт железнодорожного пути с применением новых материалов (КРН);
- капитальный ремонт железнодорожного пути с применением старогодных материалов (КРС);
- сплошная замена рельсов в период между капитальными ремонтами пути, сопровождаемая работами в объемах среднего ремонта пути (РС);
- сплошная замена рельсов новыми, по обеим нитям, сопровождаемая работами в объемах подъемочного ремонта (РП).

Анализ показывает, что за последние три года произошел рост объемов ремонта пути, особенно в 2022–2023 гг. в рамках реализации программы развития Восточного полигона и в связи с необходимостью увеличения провозной способности БАМа и Транссиба. Рост объема ремонта за счет средств целевого финансирования за 2020–2023 гг. составляет от 3 до 72 %. Однако, как было рассмотрено, объем просроченного капитального ремонта остается выше, чем произведенный ремонт.

Выполнение работ по капитальному ремонту верхнего строения пути осуществляется за счет двух бюджетов: по перевозочным видам деятельности и бюджета инвестиций [9].

В табл. 4 представлен анализ инвестиционного бюджета за 2020–2023 гг.

С 2021 г. наблюдается рост финансирования ремонта инфраструктуры от 12 до 52 %. Аналогично растет бюджет за счет средств це-

**Таблица 3.** Объемные показатели капитального ремонта пути за 2020–2023 гг.  
**Table 3.** Volume indicators of track overhaul for 2020–2023

Вид ремонта Type of repair	2020	2021	2022	2023
КРН, км пути major repairs of the railway track using new materials, km of track	220,3	173,4	206,5	254,147
в том числе за счет бюджета целевого финансирования, км пути including from the targeted funding budget, km of track	74,8	49,9	130,6	191,04
КРС, км пути major repairs of the railway track using old materials, km of track	30,0	31,5	30,5	66,952
РС, км пути complete replacement of rails during the period between major track repairs, accompanied by work in the scope of average track repairs, km of track	79,7	49,8	37,9	20,9
в том числе за счет бюджета целевого финансирования, км пути including from the targeted funding budget, km of track	20,4	48,3	37,9	20,9
РП, км пути complete replacement of rails with new ones, along both lines, accompanied by work in the scope of lifting repairs, km of track	0,0	20,1	49,5	20,818
<b>Всего, км пути Total, km of track</b>	<b>330,0</b>	<b>274,8</b>	<b>324,4</b>	<b>362,8</b>
в том числе за счет бюджета целевого финансирования, км пути including from the targeted funding budget, km of track	95,2	98,2	168,5	211,9

левого финансирования. Кроме того, следует отметить, что основную долю расходов составляют расходы Дирекции по ремонту пути (ДРП) как основного исполнителя работ (2020 – 83 % от общего бюджета, 2021 – 78 %; 2022 – 79 %; 2023 – 80 %).

#### Схемы планирования капитального ремонта пути и их недостатки

До 2020 г. планирование стоимости капитального ремонта пути осуществлялось в соответствии с проектно-сметной документацией (ПСД), разрабатываемой проектным институтом на объект, при этом разработка проектов проводилась несвоевременно, в резуль-

тате чего годовой бюджет формировался на основании технических заданий с дальнейшей корректировкой после получения ПСД на объект (рис. 1) [10, 11].

В результате сказанного, выполнение работ по ремонту пути выполнялось без проектов и корректировалось в зависимости от готовности ПСД на ремонтируемый объект, что влекло за собой риск несоответствия плановой и фактической стоимости ремонта объекта.

В марте 2022 г. был утвержден порядок взаимодействия подразделений и филиалов ОАО «РЖД» при проведении капитального ремонта железнодорожного пути, предусмотренного инвестиционной программой ОАО

Таблица 4. Темпы изменения инвестиционного бюджета за 2020–2023 гг.

Table 4. Dynamics of the investment budget for 2020–2023

Инвестиционный бюджет	2021 г. к 2020 г.	в том числе дирекция по ремонту пути including track repair directorate	2022 г. к 2021 г.	в том числе дирекция по ремонту пути including track repair directorate	2023 г. к 2022 г.	в том числе дирекция по ремонту пути including track repair directorate
КРН major repairs of the railway track using new materials	0,82	0,80	1,59	1,58	1,18	1,19
в том числе бюджет целевого финансирования including from the targeted funding budget, km of track	0,70	0	3,30	0,00	1,78	0
КРС major repairs of the railway track using old materials	1,70	1,69	2,16	2,17	0,95	0,94
РС complete replacement of rails during the period between major track re- pairs, accompanied by work in the scope of average track repairs, km of track	0,74	0,72	0,87	0,83	0,62	0,65
в том числе бюджет целевого финансирования including from the targeted funding budget	2,55	0	0,89	0	0,74	0
РП complete replacement of rails with new ones, along both lines, accompanied by work in the scope of lifting repairs	0,00	0,00	0,50	0,21	2,80	9,33
Всего Total	0,88	0,82	1,53	1,54	1,12	1,13
в том числе бюджет целевого финансирования including from the targeted funding budget	0,94	0	2,44	0	1,65	0

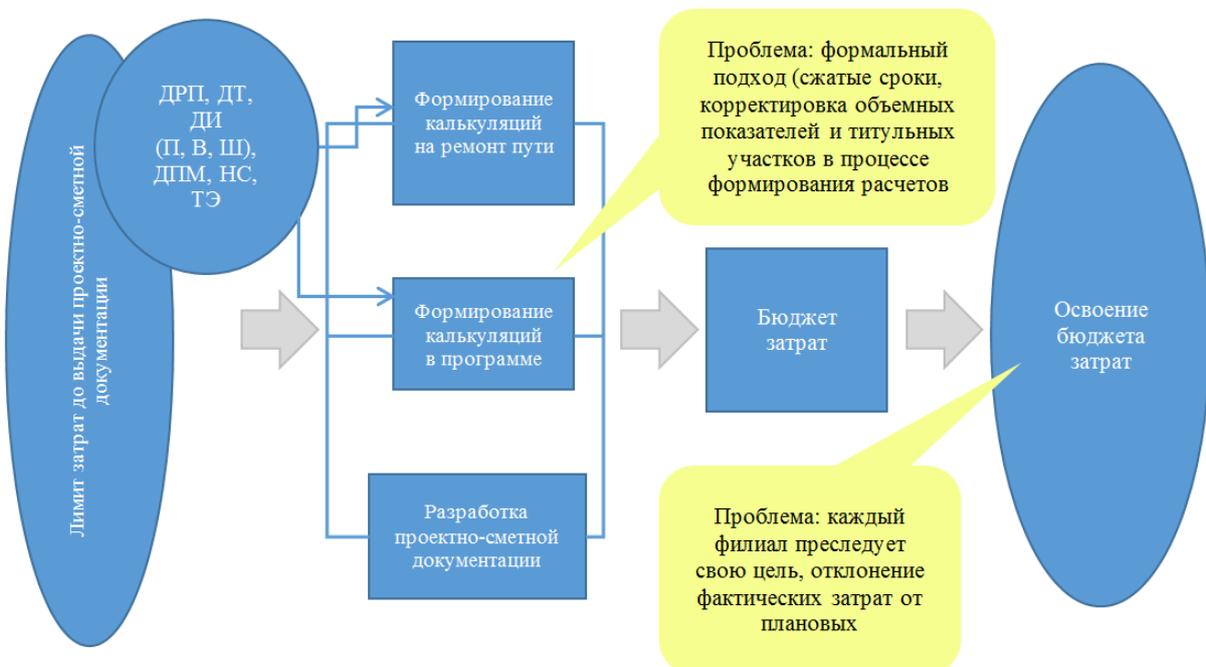
«РЖД», выполняемого хозяйственным способом № 564/р [12], согласно которому исполнители работ рассчитывают плановую единичную стоимость ремонта пути на 1 км и на каждый объект с дальнейшим направлением расчетов в курирующее управление или дирекцию для проверки и согласования расчетов, а также балансодержателю объектов (рис. 2).

Планирование объемов и формирование перечня объектов меняются в течение года, а также непосредственно в процессе формирования бюджетов, что влечет за собой затягивание

сроков формирования лимитов на год. Также в процессе проверки ответственными исполнителями, согласно установленному порядку, представленных расчетов структурных подразделений – исполнителей работ, не входящих в состав одного филиала, неоднократно возникают разногласия, механизм устранения которых не соответствует разработанной методике в связи с ограничением времени и отсутствием необходимого количества трудовых ресурсов на их выполнение.



**Рис. 1.** Схема планирования капитального ремонта пути до внедрения калькулирования затрат  
**Fig. 1.** The scheme of planning the overhaul of the path before the introduction of cost calculation



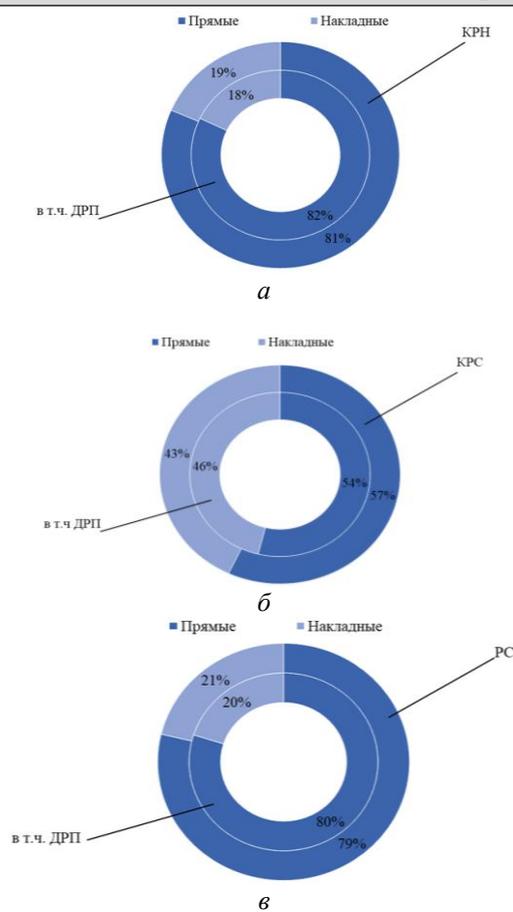
**Рис. 2.** Схема планирования расходов после внедрения способов калькулирования расходов на выполнение путевых работ

**Fig. 2.** Cost planning scheme after the introduction of methods for calculating travel expenses

Все перечисленное приводит к тому, что планирование сводится к формальному подходу, так как затягивание сроков проверки влечет за собой несвоевременное формирование годового (квартального, месячного) бюджета затрат, а соответственно, и процесс дальнейшего производства работ.

Таким образом, фактическая стоимость выполнения работ складывается со значительным отклонением от ранее рассчитанных параметров и требует в дальнейшем производства корректировки годового лимита с учетом корректировки программы капитального ремонта, производимого за счет средств целевой надбавки, что накладывает дополнительные обязанности и ответственность за своевременное и качественное выполнение ремонта пути в рамках выделенных лимитов для ОАО «РЖД» (табл. 5).

Плановая стоимость каждого вида ремонта пути зависит от технологии выполнения производимых работ и определяет наиболее весомую долю расходов в общей стоимости. Самая высокая стоимость ремонта у КРН, что объясняется более трудоемкой и материалоемкой технологией выполнения работ [13]. Как показал анализ прямых и накладных затрат в общей стоимости ремонта на 1 км пути, в том числе ДРП, доля прямых затрат составляет 50–82 %; накладных расходов – 19–46 %. В структуре накладных расходов главного исполнителя работ – ДРП – расходы на содержание аппарата управления составляют 17 % от всех накладных расходов (рис. 3).



**Рис. 3.** Структура прямых и накладных расходов капитального ремонта пути: а – с применением новых материалов; б – с применением старогодних материалов; в – в объемах среднего ремонта пути

**Fig. 3.** Structure of direct and overhead costs of major track repairs: а – using new materials; б – using old materials; в – in the volume of average track repairs

**Таблица 5.** Анализ освоения затрат на капитальный ремонт пути за 2020–2022 гг.

**Table 5.** Analysis of the cost mastering of major repairs of the track for 2020–2022

Год	Объемы оздоровления пути ВСЖД на начало года, км пути Volumes of improvement of the Eastern Siberian Railway track at the beginning of the year, km of track	Первоначальный план, млн руб. Initial plan, million rubles	План по калькуляциям исполнителей, млн руб. Plan according to calculations by performers, million rubles	Объемы оздоровления пути ВСЖД на конец года, км пути Volumes of improvement of the Eastern Siberian Railway track at the end of the year, km of track	План, с учетом годовых корректировок млн руб. Plan, taking into account per annum adjustments, million rubles	Факт, млн руб. Fact, mln rouble	% от плана % from the plan
2020	383,4	12,2	10,3	330,1	10,2	10,2	99,7
2021	254,1	7,3	8,3	274,9	8,3	8,3	100,4
2022	338,2	11,9	12,7	324,1	11,1	11,3	101,8

Как видно из приведенного анализа прямых и накладных расходов в плановой стоимости капитального ремонта пути, накладные расходы занимают существенную долю. Так, в 2022 г. плановые накладные расходы на КРН, КРС, РС и РП составляли 1,8 млрд руб. или 14,6 % от общего бюджета инвестиций, в том числе на ДРП приходится 1,6 млрд руб.

Как показал проведенный анализ расходов на капитальный ремонт пути, затраты на проведение данного вида ремонта ежегодно увеличиваются, также растет и его государственное финансирование, что связано с необходимостью решения поставленных Правительством РФ задач перед отраслью. Поэтому возникает необходимость поиска путей оптимизации данных затрат [14].

### Пути оптимизации затрат

Наиболее эффективный способ снижения себестоимости капитального ремонта верхнего строения пути заключается в сокращении доли накладных расходов, которые не повлекут за собой нарушения технологии выполняемых работ.

С введением вертикально интегрированной структуры управления в ОАО «РЖД», возник ряд проблемных вопросов в механизме взаимодействия участников процесса выполнения программы капитального ремонта пути, основные из них, по мнению авторов, перечислены далее:

- подчиненность исполнителей работ разным курирующим филиалам, которые при выполнении работ в первую очередь ориентируются на свой производственный процесс и выполнение собственных показателей;

- существенное отклонение фактических расходов от плановых параметров;

- несогласованность позиций подразделений ОАО «РЖД» при формировании бюджета производства и бюджета затрат;

- несоответствие сроков выполнения и проверки расчетов затрат на капитальный ремонт пути регламенту;

- формальный подход к формированию калькуляций на капитальный ремонт пути;

- изменение объемов, титульных участков и графиков ремонта пути в год выполнения работ;

- отсутствие ПСД за два года до выполнения строительно-монтажных работ [12].

Одним из наиболее важных, с точки зре-

ния авторов, является подчиненность исполнителей работ разным курирующим филиалам.

С целью эффективного и слаженного взаимодействия подразделений – исполнителей работ при капитальном ремонте пути предлагается внести изменения в организационную структуру Центральной дирекции по ремонту пути и Центральной дирекции инфраструктуры с передачей Восточно-Сибирской дирекции по ремонту пути (ВСДРП) в подчинение Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры (ВСДИ) в рамках масштабного проекта реконструкции Восточного полигона.

Изменение организационной структуры ВСДИ с включением в ее состав Дирекции ВСДРП позволит избежать экономические и производственные потери при планировании ремонтно-путевых работ и несогласованность действий в рамках выполняемых работ. Кроме того, позволит увеличить заинтересованность сторон в своевременном и качественном выполнении работ, балансодержателем которых они будут являться.

Так, в 2017 г. из состава ВСДИ были исключены Дирекция по эксплуатации и ремонту путевых машин и Центр диагностики пути с численностью 2,5 тыс. чел., при этом состав аппарата управления ВСДИ сокращен не был, что создало резерв для включения в состав ВСДИ дополнительного контингента. Таким образом, при включении ВСДРП в состав ВСДИ будет возможно провести оптимизацию аппарата управления ДРП собственной численностью. Внесение изменений в организационно-штатное расписание ДРП позволит произвести оптимизацию аппарата управления за счет сокращения штата специалистов, дублирующих обязанности, которые смогут выполнять специалисты службы пути, что приведет к сокращению расходов на содержание аппарата управления.

Реструктуризация дирекций, участвующих в капитальном ремонте пути, позволит уменьшить нагрузку на инфраструктурную составляющую и сократить стоимость ключевых видов ремонта за счет снижения накладных расходов и более эффективного распределения персонала при выполнении работ и исключит подчиненность исполнителей работ разным курирующим филиалам, которые ориентируются на свой производственный процесс и выполнение собственных показателей, в результате чего

реализация общей программы ремонта отходит на второй план.

### Заключение

Меняющиеся условия ведения путевого хозяйства вызывают изменения в организации ремонтно-путевых работ и текущего содержания железнодорожного пути [15, 16]. Стабильная работа железнодорожного пути является основной задачей путевого хозяйства и должна обеспечиваться наличием и рациональным использованием основных и финансовых средств, трудовых ресурсов, экономических и производственных взаимоотношений между подразделениями – исполнителями работ.

Однако, как было рассмотрено, на сегодняшний день в связи с формированием вертикально-интегрированного холдинга ОАО «РЖД» произошло нарушение «горизонтального» взаимодействия между структурными подразделениями, выстраивание определенных «барьеров», что негативно сказывается в том числе на взаимодействии исполнителей работ при планировании затрат на ремонт железнодорожного пути [17, 18].

С целью эффективного и слаженного взаимодействия подразделений – исполнителей

работ при капитальном ремонте пути предлагается внести изменения в организационную структуру Центральной дирекции по ремонту пути и Центральной дирекции инфраструктуры с передачей ВСДРП в подчинение ВСДИ в рамках масштабного проекта реконструкции Восточного полигона.

Изменение организационной структуры ВСДИ с включением в ее состав ВСДРП позволит избежать экономические и производственные потери при планировании ремонтно-путевых работ и несогласованность действий в рамках выполняемых работ. Кроме того, поможет увеличить заинтересованность сторон в своевременном и качественном выполнении работ, балансодержателем которых они будут являться.

Внесение изменений в организационно-штатное расписание ВСДРП позволит произвести оптимизацию аппарата управления за счет сокращения штата специалистов, дублирующих обязанности, которые смогут выполнять специалисты службы пути, что приведет к сокращению расходов на содержание аппарата управления.

### Список литературы

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19.03.2019 № 466-р (ред. 13.10.2022). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
2. РЖД развивают инфраструктуру Восточного полигона // РЖД : сайт. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=207215> (Дата обращения 23.01.2024).
3. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р // Министерство транспорта Рос. Федерации : офиц. интернет-ресурс. URL: <https://mintrans.gov.ru/ministry/targets/187/191/documents> (Дата обращения 22.01.2024).
4. Булохова Т.А., Оленевич В.А. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в условиях реализации транзитного потенциала государств-членов ЕАЭС // Железная дорога: путь в будущее : сб. материалов I Междунар. научной конф. аспирантов и молодых ученых. М., 2022. С. 358–363.
5. Булохова Т.А., Григорьева Н.Н., Оленевич В.А. Пути повышения прибыльности транзитных перевозок на Восточном полигоне Транссибирской магистрали // Baikal Research Journal. 2021. Т. 12. № 2. DOI: 10.17150/2411-6262.2021.12(2).21.
6. Головищikov В.О., Огнев Д.В., Петрякова Е.А. Проблемы и перспективы развития Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожных магистралей // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию БГУ и 45-летию ИрГУПС. Иркутск, 2020. С. 23–36.
7. Каутц В.Э., Алексеева М.Н. Проблема источников финансирования для своевременного ремонта пути на примере Восточно-Сибирской железной дороги // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. Т. 2. С. 100–103.
8. Пути программы неисповедимы // Коммерсантъ : сайт. URL : <https://www.kommersant.ru/doc/5758828> (Дата обращения 22.01.2024).
9. Об утверждении документов, регламентирующих формирование и реализацию инвестиционной программы ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 26.06.2023 № 1597/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
10. Бельтюков В.П. Оптимизация среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 3 (34). С. 71–74.
11. Бельтюков В.П., Андреев А.В. Особенности определения стоимости жизненного цикла верхнего строения пути на участках с различными условиями эксплуатации // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2016. Т. 13. № 3 (48). С. 314–320.

12. Об утверждении Порядка взаимодействия подразделений и филиалов ОАО «РЖД» при проведении капитального ремонта железнодорожного пути, предусмотренного инвестиционной программой ОАО «РЖД», выполняемого хозяйственным способом : распоряжение ОАО «РЖД» №564/р от 09.03.2022. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
13. Сольская И.Ю., Беломестных С.В. Управление затратами путевого хозяйства инфраструктуры железнодорожного транспорта // Политранспортные системы : материалы X Междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2018. С. 234–237.
14. Рубченко Д.С. Управление затратами при организации ремонта и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе нормативного метода // Бюл. ученого совета АО «ИЭРТ». 2018. № 3. С. 66–71.
15. Стручкова Е.В., Безрученков В.И. Совершенствование организации производственного процесса и взаимодействия подразделений инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» в части эксплуатации путевых машин // Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте : сб. тр. по результатам V Междунар. науч.-практ. конф. М., 2020. Т. 19. С. 352–355.
16. Сольская И.Ю., Беломестных С.В. Экономические предпосылки использования критерия оценки деятельности по ремонту инфраструктуры // Современные экономические проблемы развития и эксплуатации транспортной инфраструктуры : Тр. II Междунар. науч.-практ. конф. М., 2020. С. 113–117.
17. Коваленко Е.А. Развитие рынка ремонта пути в условиях реструктуризации ОАО «РЖД» // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2008. № 4 (32). С. 112–118.
18. Об утверждении регламента взаимодействия Центральной дирекции инфраструктуры и Центральной дирекции по ремонту пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 1540/р от 20.07.2018 (ред. 23.03.2022). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

### References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 19.03.2019 № 466 (red. 13.10.2022) «Dolgosrochnaya programma razvitiya ОАО «RZHD» do 2025 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation. Federation dated March 19, 2019 No 466 (ed. October 13, 2022) «Long-term development program of JSC «Russian Railways» until 2025»].
2. RZHD razvivayut infrastrukturu Vostochnogo poligona (Elektronnyi resurs) [Russian Railways is developing the infrastructure of the Eastern Polygon (Electronic Resource)]. Available at: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=207215> (Accessed January 23, 2024).
3. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021]. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577> (Accessed January 22, 2024).
4. Bulokhova T.A., Olentsevich V.A. Problemy i perspektivy razvitiya transportnoi infrastruktury v usloviyakh realizatsii tranzitnogo potentsiala gosudarstv-chlenov EAES [Problems and prospects of transport infrastructure development in the context of realizing the transit potential of the EAEU Member States]. *Sbornik materialov I Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii aspirantov i molodykh uchennykh «Zheleznaya doroga: put' v budushchee»* [Proceedings of the I International Scientific Conference of Ph.D. Students and Young Scientists «Railway: the way to the future»]. Moscow, 2022. pp. 358–363.
5. Bulokhova T.A., Grigor'eva N.N., Olentsevich V.A. Puti povysheniya pribyl'nosti tranzitnykh perevozok na Vostochnom poligone Transsibirskoi magistrali [Ways to improve the efficiency of transit traffic on the Eastern slope of the Trans-Siberian Railway]. *Baikal Research Journal*, 2021, vol. 12, no. 2. DOI: 10.17150/2411-6262.2021.12(2).21.
6. Golovshchikov V.O., Ognev D.V., Petryakova E.A. Problemy i perspektivy razvitiya Transsibirskoi i Baikalo-Amurskoi zhelezno-dorozhnykh magistrali [Problems and prospects of development of the Trans-Siberian and Baikal-Amur railway lines]. *Materialy XI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu BGU i 45-letiyu IrGUPS «Aktivizatsiya intellektual'nogo i resurnogo potentsiala regionov»* [Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Baikal State University and the 45th anniversary of the Irkutsk State Transport University «Activation of intellectual and resource potential of regions»]. Irkutsk, 2020, pp. 23–36.
7. Kautts V.E., Alekseeva M.N. Problema istochnikov finansirovaniya dlya svoevremennogo remonta puti na primere Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [The problem of sources of financing for timely track repairs on the example of the East Siberian Railway]. *Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference «Transport Infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2019, vol. 2, pp. 100–103.
8. Puti programmy neispovedimy (Elektronnyi resurs) [The program's ways are inscrutable (Electronic resource)]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5758828> (Accessed January 22, 2024).
9. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 26.06.2023 № 1597/r «Ob utverzhdenii dokumentov, reglamentiruyushchikh formirovanie i realizatsiyu investitsionnoi programmy ОАО «RZHD» [Order of JSC «Russian Railways» dated June 26, 2023 no 1597/r «On approval of documents regulating the formation and implementation of the investment program of JSC «Russian Railways»].
10. Bel'tyukov V.P. Optimizatsiya srednesrochnykh perspektivnykh planov remontov zheleznodorozhnogo puti [Optimization of medium-term perspective plans for railway track repairs]. *Transport Rossiiskoi Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2011, no. 3 (34), pp. 71–74.
11. Bel'tyukov V.P., Andreev A.V. Osobennosti opredeleniya stoimosti zhiznennogo tsikla verkhnego stroeniya puti na uchastkakh s razlichnymi usloviyami ekspluatatsii [Features of determining the cost of the life cycle of the upper structure of the track in areas with different operating conditions]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2016, vol. 13, no. 3 (48), pp. 314–320.
12. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» №564/r ot 09.03.2022 «Ob utverzhdenii Poryadka vzaimodeistviya podrazdelenii i filialov ОАО «RZHD» pri provedenii kapital'nogo remonta zheleznodorozhnogo puti, predusmotrennogo investitsionnoi program-

мои ОАО «РЖД», выполняемого khozyaistvennym sposobom» [Order of JSC «Russian Railways» No 564/r dated March 9, 2022 «On approval of the Procedure for interaction of divisions and branches of JSC «Russian Railways» during the overhaul of the railway track provided for by the investment program of JSC «Russian Railways», performed by an economic method»].

13. Sol'skaya I.Yu., Belomestnykh S.V. Upravlenie zatratami putevogo khozyaistva infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta [Cost management of track facilities of railway transport infrastructure]. *Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Politransportnye sistemy»* [Proceedings of the X International Scientific and Technical Conference «Polytransport systems»]. Novosibirsk, 2018, pp. 234–237.

14. Rubchenko D.S. Upravlenie zatratami pri organizatsii remonta i rekonstruktsii ob'ektov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta na osnove normativnogo metoda [Cost management in the organization of repair and reconstruction of railway transport infrastructure facilities based on the normative method]. *Byulleten' uchenogo soveta AO «Institut ekonomiki i razvitiya transporta»* [Bulletin of the Scientific Council of JSC «Institute of Economics and Transport Development»], 2018, no. 3, pp. 66–71.

15. Struchkova E.Yu., Bezruchenkov V.I. Sovershenstvovanie organizatsii proizvodstvennogo protsessa i vzaimodeistviya podrazdelenii infrastruktornogo kompleksa ОАО «РЖД» v chasti ekspluatatsii putevykh mashin [Improvement of the organization of the production process and interaction of departments of the infrastructure complex of JSC «Russian Railways» in terms of the operation of track machines]. *Sbornik trudov po rezul'tatam V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Korporativnoe upravlenie ekonomicheskoi i finansovoi deyatel'nosti'yu na zheleznodorozhnom transporte»* [Proceedings based on the results of the V International Scientific and Practical Conference «Corporate management of economic and financial activities in railway transport»]. Moscow, 2020, vol. 19, pp. 352–355.

16. Sol'skaya I.Yu., Belomestnykh S.V. Ekonomicheskie predposylki ispol'zovaniya kriteriya otsenki deyatel'nosti po remontu infrastruktury [Economic prerequisites for using the criterion for evaluating infrastructure repair activities]. *Trudy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye ekonomicheskie problemy razvitiya i ekspluatatsii transportnoi infrastruktury»* [Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Modern economic problems of development and operation of transport infrastructure»]. Moscow, 2020, pp. 113–117.

17. Kovalenko E.A. Razvitie rynka remonta puti v usloviyakh restrukturizatsii ОАО «РЖД» [Development of the track repair market in the conditions of restructuring of JSC «Russian Railways»]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2008, no. 4 (32), pp. 112–118.

18. Rasporyazhenie ОАО «РЖД» № 1540/r ot 20.07.2018 «Ob utverzhdenii reglamenta vzaimodeistviya Tsentral'noi direktsii infrastruktury i Tsentral'noi direktsii po remontu puti» (red. 23.03.2022) [Order of JSC «Russian Railways» no 1540/r dated July 20, 2018 «On approval of the rules of interaction between the Central Directorate of Infrastructure and the Central Directorate for Track Repair» (ed. March 23, 2022)].

#### Информация об авторах

**Булохова Татьяна Александровна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: 677623@mail.ru.

**Дукачева Валентина Вячеславовна**, заместитель начальника отдела планирования ремонта основных фондов, экономического нормирования и договорных цен службы экономики Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск; e-mail: di\_DukachevaVV@esrr.rzd.

#### Information about the authors

**Tat'yana A. Bulokhova**, PhD in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economy and Management in Railway Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: 677623@mail.ru.

**Valentina V. Dukacheva**, Deputy Head of the Department for Planning the Repair of Fixed Assets, Economic Rationing and Contractual Prices of the Economics Service of the East Siberian Directorate of Infrastructure – a structural unit of the Central Directorate of Infrastructure – a branch of JSC «Russian Railways», Irkutsk; e-mail: di\_DukachevaVV@esrr.rzd.

## Расчет норм управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) в дирекции по тепловодоснабжению

Н.Н. Григорьева✉

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉zolotkina@mail.ru

### Резюме

Успешное развитие любого предприятия в современных экономических условиях определяется уровнем не только его технического оснащения и прогрессивностью применяемых технологий, но и организацией производства и труда. Одна из главных проблем заключается в том, что последние десятилетия в экономике нашего государства нормированию труда не уделялось достаточного внимания, и специалисты в этой сфере не были в должной мере обеспечены соответствующей нормативно-правовой базой. На многих предприятиях по-прежнему используются нормативы, разработанные для производственных процессов, не соответствующих текущим технологическим и трудовым операциям, отсюда и нерациональное использование трудовых ресурсов. Разработанные ранее нормы не учитывают новые технологии, стандарты, современное оборудование, виды работ, инструментальные средства, механизацию и автоматизацию рабочих мест, оптимизированные бизнес-процессы предприятий. Принимая во внимание актуальность нормирования труда при организации производственного процесса в дирекции по тепловодоснабжению, целью настоящей статьи является расчет норм управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных), поскольку решение имеющихся проблем в дальнейшем позволит оптимизировать указанные процедуры, определить точность норм и обеспечить специалистов, отвечающих за нормирование труда на предприятии, соответствующим эффективным инструментарием. У работника появится возможность реализовывать свои трудовые способности за счет повышения интереса к более эффективному использованию своего рабочего времени. Кроме того, это обеспечит соблюдение требований к нормальным условиям и организации труда, оптимальной его напряженности, установленной на базе объективно рассчитанных затрат. Таким образом, в современных условиях роста экономики железнодорожного транспорта и его перехода на инновационный путь развития повышается необходимость возрождения и формирования основ научной организации труда, ее главных направлений применительно к условиям конкретной организации независимо от форм собственности и структур управления.

### Ключевые слова

нормирование труда, нормы управляемости, нормы численности, научная организация труда, производственный процесс, технологический процесс

### Для цитирования

Григорьева Н.Н. Расчет норм управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) в дирекции по тепловодоснабжению / Н.Н. Григорьева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 45–58. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).45-58.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 25.01.2024 г.; поступила после рецензирования: 09.03.2024 г.; принята к публикации: 11.03.2024 г.

## Calculation of controllability standards for masters of production sites, supervisors (exempt) in the Directorate for heat and water supply

N.N. Grigor'eva✉

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

✉zolotkina@mail.ru

### Abstract

The successful development of any enterprise in modern economic conditions is determined not only by the level of their technical equipment and the progressiveness of the technologies used, but also by the organization of production and labor. One of the problems of labor rationing is that in recent decades in the economy of our state, insufficient attention has been paid to the processes of labor rationing and rationing specialists have not been adequately provided with an appropriate regulatory framework. Many enterprises still use standards developed for production processes that do not correspond to current technological and labor processes, and this is where the irrational use of labor resources is laid down. The norms developed earlier do not take into account new technologies, standards, new equipment, new types of work, tools, mechanization and automation of workplaces, optimized business processes of enterprises. Taking into account the relevance of the issue of modern labor rationing in the organization of the production process in the heat and water supply directorate, the author of the article proposes the calculation of manageability standards for masters of production sites, foremen (released), since solving existing problems in labor rationing in

the future will optimize the procedures for rationing modern production processes, the accuracy of standards, and also ensures specialists responsible for labor rationing at the enterprise, appropriate effective tools. An employee will have the opportunity to realize his labor abilities by increasing interest in more efficient use of working time, and at the same time these are the requirements of normal working conditions and organization, its optimal intensity, established on the basis of objectively calculated costs. Thus, in modern conditions of the development of railway transport economy and its transition to an innovative path of development, there is an increasing need to revive and develop the foundations of scientific labor organization, its main directions in relation to the conditions of a particular organization, regardless of ownership and management structures.

### Keywords

rationing of labor, controllability standards, the norms of the number, scientific organization of labor, the production process, technological process

### For citation

Grigor'eva N.N. Raschet norm upravlyaemosti dlya masterov uchastkov proizvodstva, brigadirov (osvobozhdennykh) v direktsii po teplovodosnabzheniyu [Calculation of controllability standards for masters of production sites, supervisors (exempt) in the Directorate for heat and water supply]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 45–58. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).45-58.

### Article info

Received: January 25, 2024; Revised: March 9, 2024; Accepted: March 11, 2024.

### Введение

В обеспечении непрерывного сообщения и бесперебойного функционирования объектов железнодорожной инфраструктуры немаловажную роль играет Восточно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению (ВС ДТВ), осуществляющая эффективное управление объектами стационарной теплоэнергетики, водоснабжения и водоотведения, а также оказывающая услуги по тепловодоснабжению и водоотведению объектов ОАО «РЖД». Дирекция образовалась сравнительно недавно, но выделение ее в отдельный функциональный филиал позволило осуществлять деятельность по тепловодоснабжению более централизованно и с пристальным вниманием к объектам управления, таким как котельные, насосные станции, стоки и др.

Актуальность данной статьи состоит в том, что после выделения в отдельный структурный филиал многие нормы в ВС ДТВ остались от хозяйства гражданских сооружений и не корректировались. При этом дирекция претерпела большое количество структурных преобразований, изменения технологических процессов и т.д., что обуславливает необходимость в изменении норм, на основании которых формируется контингент.

### Ключевые предпосылки разработки местных норм управляемости и планируемые этапы реализации проекта

Нормы управляемости [1] для руководителей производства работ структурных подразделений ВС ДТВ (далее – нормы управляемо-

сти) предназначены для определения и обоснования численности мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта.

Мастера участков производства являются руководителями среднего звена, а бригадиры относятся к категории рабочих.

Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта осуществляет руководство рабочими, контролирует исполнение установленного технологического процесса и выполнение бригадой плана работ. Занимается расстановкой рабочих, обеспечивает исполнение правил охраны труда, проводит инструктажи и обучение рабочих рациональным приемам и методам труда. Принимает выполненную работу у рабочих и сдает объект мастеру [2].

Мастер участка производства должен своевременно подготавливать производство. Также мастер обязан оформлять заявки на необходимое оборудование и материалы в установленные сроки. Он участвует в создании и совершенствовании технологических процессов и производственных графиков, организует внедрение передовых методов и приемов труда, рационализирует рабочие места и совмещает профессии. Также устанавливает и своевременно выдает производственные задания бригадам и конкретным рабочим. Мастер анализирует результаты производственной деятельности и гарантирует правильность и своевременность оформления документов по учету рабочего времени, выработки, заработной платы.



**Рис. 1.** Структура управления бригадами в дирекции по тепловодоснабжению

**Fig. 1.** The structure of team management in the Heat and Water Supply directorate



**Рис. 2.** Пример структуры управления бригадами в дирекции тепловодоснабжения на нескольких участках производства

**Fig. 2.** An example of the team management structure in the heat and water supply directorate at several production sites

Существующие нормы управляемости предполагали сначала руководство мастера над бригадой, а затем – бригадира. С помощью местных норм управляемости выстраивается иная схема подчиненности (рис. 1). Мастер может управлять несколькими бригадами на разных участках производства, если численность бригад в совокупности больше 20 чел. (рис. 2).

установленная численность работников, которые должны быть непосредственно подчинены одному руководителю.

При разработке норм управляемости использованы следующие руководящие, методические и нормативные документы:

– положение о системе нормирования труда в ОАО «РЖД» [3];

– нормативы численности рабочих, занятых на эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 29 февраля 2016 г. № 328р (ред. 12 октября 2018 г.) [4];

– нормативы численности работников, занятых обслуживанием котельных и тепловых

сетей, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2017 г. № 93р с учетом изменений, утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 12 декабря 2018 г. [5];

– действующие профессиональные стандарты;

– иные нормативно-технические документы.

Наименования профессий рабочих и должностей руководителей в нормах управляемости указаны в соответствии с действующим Единым тарифно-квалификационным справочником работ и профессий рабочих (вып. 56), с учетом изменений и дополнений и распоряжением ОАО «РЖД» «Об утверждении квалификационных характеристик и разрядов оплаты труда должностей руководителей, специалистов и служащих ОАО «РЖД» от 31 мая 2017 г. № 1041р [6].

Нормы управляемости регламентированы действующими нормами времени, выработки, инструктивными указаниями и предназначены для применения в структурных подразделениях

ВС ДТВ. Нормы управляемости установлены для работы в одну смену.

При разработке норм управляемости учтены:

– результаты анализа и исследования функциональных обязанностей руководителей производства работ и их управления, выполняемых в структурных подразделениях;

– статистический анализ численности работников на территориальных участках производств с разбивкой их по видам деятельности;

– должностные инструкции руководителей с установлением перечня выполняемых ими работ;

– количество рабочих мест на участке;

– количество смен работы;

– организационная структура территориальных участков производств и дирекции.

Нормы управляемости устанавливаются для мастеров участка производства, бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта от штатной численности подчиненных работников.

Механизм пересмотра норм управляемости включает в себя следующие основные мероприятия:

1. Изучение организационно-распорядительных и научно-технических документов, организационной структуры территориальных участков ДТВ в существующих границах.

2. Подготовка перечня работ для нормативного исследования на рабочих местах. Определение факторов для разработки норм управляемости (численность работников на участке, объем выполняемых работ, количество смен работы, количество рабочих мест на участке).

3. Проведение фотографии рабочего дня (ФРД) и хронометражных наблюдений (замеров) за ходом производственного процесса на рабочих местах.

4. Отработка данных ФРД и хронометражных наблюдений, анализ объема работы, анализ результатов, внесение информации в систему Единой корпоративной автоматизированной системы управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУТР) – АС ФРД.

5. Разработка предложений по нормативным и организационно-техническим изменениям для ДТВ.

6. Разработка проекта местных норм

управляемости (в первой редакции) для определения и обоснования численности мастеров участков производств, бригадиров (освобожденных). Сопоставление инструктивных указаний для проведения проверки местных норм управляемости и расчета норматива численности в производственных условиях.

7. Проведение проверки проекта местных норм управляемости в производственных условиях, устранение замечаний и подготовка окончательной редакции [7].

### Расчет численности до внедрения проекта

Для расчета численности мастеров участков производств и бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта ранее использовался сборник норм управляемости, утвержденный 28 сентября 2009 г.

Согласно общим положениям сборника, изложенные в нем нормы управляемости рекомендуются для применения в структурных подразделениях хозяйства гражданских сооружений и водоснабжения и дирекциях по теплоснабжению железных дорог – филиалов ОАО «РЖД».

В случае, если фактическая численность на участке отличается от минимально допустимой, установленной нормой управляемости, в меньшую сторону, то руководство структурным подразделением возлагается на вышестоящего руководителя (мастера участка производства, начальника котельной, начальника производственного участка дирекции по теплоснабжению, главного инженера дистанции гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения или заместителя начальника дистанции гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения). При численности рабочих на производственном участке меньше, чем предусмотрено нормами управляемости для бригадира (освобожденного) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена (но не менее 8 чел.), из числа рабочих назначается не освобожденный бригадир [8].

Нормы управляемости для мастеров участков производства и бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена хозяйства гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Нормы управляемости для мастеров и бригадиров

Table 1. Control standards for foremen and supervisors

Виды работ и наименование подразделения Types of work and divisions name	Наименование должности (профессии) руководящих работников Name of position (profession) of management employees	Нормы управляемости, чел. Controllability standards, persons	Наименование профессии руководимых работников Name of profession of supervised workers
Общестроительные работы, текущий ремонт и содержание зданий и сооружений General construction work, current repairs and maintenance of buildings and structures	Мастер участка производства Foreman of production site	17	Штукатур, маляр, плотник, стекольщик, каменщик, электрогазосварщик, электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования, слесарь-сантехник и др. Plasterer, painter, carpenter, glazier, mason, electric and gas welder, equipment repair and service electrician, plumber, etc.
	Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена Supervisor (exempt) of railway transport and subway enterprises	12–32	То же Same
Специализированные работы Specialized work	Мастер участка производства Foreman of production site	14	Электрогазосварщик, электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования, слесарь-сантехник и др. Electric and gas welder, equipment repair and service electrician, plumber, etc.
Изготовление столярных изделий, железобетонных металлических конструкций Manufacturing of carpentry products, reinforced concrete metal structures	То же Same	18	Столяр строительный, плотник, рамщик, жестянщик, электрогазосварщик, слесарь-ремонтник и др. Construction joiner, carpenter, framer, tinsmith, electric and gas welder, mechanic-repairman, etc.
Эксплуатация и ремонт машин и механизмов Operation and repair of machines and mechanisms	Мастер участка производства Foreman of production site	20	Водитель автомобиля, слесарь по ремонту автомобилей и др. Car driver, repair auto mechanic, etc.
	Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена Supervisor (exempt) of railway transport and subway enterprises	16	То же Same

Эксплуатация систем водоснабжения и канализации Operation of water supply and sewerage systems	Мастер участка производства Foreman of production site	17	Машинист ж.д. водоснабжения, машинист насосных установок, слесарь аварийно-восстановительных работ и др. Railway water supply operator, driver of pumping units, mechanic of emergency recovery works, etc.
	Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена Supervisor (exempt) of railway transport and subway enterprises	10–30	То же Same
Эксплуатация очистных сооружений водоснабжения, канализации Operation of wastewater processing plants, water supply and sewer structures	Мастер участка производства Foreman of production site	13	Оператор очистных сооружений, оператор хлораторной установки, аппаратчик химводоочистки, машинист компрессорных установок Wastewater processing plant operator, chlorination plant operator, chemical water treatment operator, compressor installations operator
Организация работы по эксплуатации котлов в котельной Work organization for boiler operation in the boiler room	Мастер участка производства Foreman of production site	15	Оператор котельной, машинист (кочегар) котельной, сливщик-разливщик, аппаратчик химводоочистки, слесарь по обслуживанию тепловых сетей, слесарь-ремонтник Boiler room operator, boiler room driver (stoker), drainer bottler, chemical water treatment operator, thermal network maintenance mechanic, repairman
	Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена Supervisor (exempt) of railway transport and subway enterprises	Котельная Boiler room	То же Same
Организация работы группы котельных Organization of work of a group of boiler houses	Мастер участка производства Foreman of production site	28	То же Same
	Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена Supervisor (exempt) of railway transport and subway enterprises	Группа котельных Group of boiler houses	То же Same

Общая численность (в целом по участку) бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена рассчитывается исходя из норматива 32 чел. на одного бригадира (освобожденного) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена. Численность бригадиров на отдельных подразделениях участка производства может быть установлена в зависимости от местных условий в соответствии с нормами управляемости (см. табл. 1), при этом их суммарная численность по всем подразделениям участка не должна превышать общую численность бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена, рассчитанную в целом для участка производства.

Общая численность (в целом по производственному участку дирекции) бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена рассчитывается исходя из норматива 26 чел. на одного бригадира (освобожденного) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена. Численность бригадиров на отдельных подразделениях участка производства не должна превышать общую численность бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена, рассчитанную в целом для производственного участка дирекции.

Должность мастера участка производства вводится на одну котельную при общей численности рабочих 15 и более человек или на каждую смену при численности смены 15 и более человек. При нахождении котельной в районах Крайнего Севера должность мастера участка производства вводится на котельную численностью 12 и более человек или на каждую смену при численности смены 12 и более человек. При суммарной производительности котлов в котельной свыше 40 Гкал/ч может вводиться должность начальника котельной.

Должность мастера участка производства вводится для котельной с численностью работников менее 15 чел. (для районов Крайнего Севера менее 12 чел.) не предусматривается. В этом случае осуществляется объединение котельных в группу котельных.

Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополите-

на вводится для организации работы котлов более 10 Гкал/ч.

Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена вводится для организации работы группы котельных: при суммарной производительности котельных 20 и более Гкал/ч, при обслуживании 20 и более котельных, при удаленности котельных друг от друга более 100 км.

На основании ключевых положений данного норматива можно рассчитать численность бригадиров и мастеров по территориальным участкам Восточно-Сибирской дирекции по тепловодоснабжению. Для примера рассчитаем нормативную численность бригадиров и мастеров на производственном участке «Котельная № 3» Тайшетского территориального участка.

Сначала необходимо определить общее количество работников, находящихся под руководством мастеров и бригадиров. На котельной № 3 Тайшетского территориального участка осуществляют свою работу рабочие следующих профессий:

- аппаратчик химводоочистки – 5 чел.;
- бункеровщик – 6 чел.;
- распределитель работ – 1 чел.;
- машинист (кочегар) котельной – 9 чел.

Рассчитаем общую численность рабочих на данном территориальном участке:

$$Ч_{\text{общ}} = 5 + 6 + 1 + 9 = 21 \text{ чел.}$$

Норма управляемости для вида работ «Организация работы по эксплуатации котлов в котельной», согласно Сборнику норм управляемости, утвержденному 28 сентября 2009 г., для мастеров участка производства составляет 15 чел., а для бригадиров (освобожденных) – котельная с суммарной производительностью котлов более 10 Гкал/ч. Округления производятся в меньшую сторону. Суммарная производительность котлов в котельной № 3 равна 16,8 Гкал/ч. Для расчета норматива численности используется формула (1)

$$Н_{вч} = Ч_{\text{общ}}/Н_{у}, \quad (1)$$

где  $Н_{вч}$  – норматив численности мастеров и бригадиров, чел.;  $Ч_{\text{общ}}$  – общая численность работников или объектов на территориальном участке, находящихся в подчинении, чел.;  $Н_{у}$  – норма управляемости бригадиров и мастеров, чел.

Исходя из этих данных можно рассчитать норматив численности мастеров и бригадиров.

В данном случае бригадир назначается на котельную с производительностью котлов более 10 Гкал/ч (показатели производительности котельных представлены в приложении). Котельная № 3 Тайшетского территориального участка соответствует этому нормативу, поэтому назначается один бригадир:

$$Нв_{ч}^{бриг} = 1.$$

Таким образом, производится подсчет бригадиров на каждом производственном участке теплоснабжения по Тайшетскому, Иркутскому, Улан-Удэнскому и Северобайкальскому территориальным участкам. Сопоставительная численность бригадиров по штатному расписанию, списочной численности и сборнику норм управляемости 2009 г. представлена в табл. 2.

По указанным данным (см. табл. 2) видно, что списочная численность полностью соответствует штатному расписанию. Однако по сборнику норм численность значительно меньше. Это обуславливается тем, что сборник фактически был нацелен на увеличение численности мастеров и снижение числа бригадиров в хозяйстве гражданских сооружений. Со-

гласно этому сборнику, необходимо сократить или перевести на другие виды работ шесть бригадиров.

Аналогично рассчитаем нормативную численность для мастеров по территориальным участкам. Пример расчета приведем на основании участка «Котельной № 3» Тайшетского территориального участка. Норматив численности рассчитывается по формуле (2):

$$Нв_{ч}^{мастера} = (Ч_{общ} + Нв_{ч}^{бриг}) / Н_{у}, \quad (2)$$

где  $Нв_{ч}^{бриг}$  – норматив численности мастеров, чел.;  $Ч_{общ}$  – общая численность работников или объектов на территориальном участке, находящихся в подчинении, чел.;  $Н_{у}$  – норма управляемости бригадиров и мастеров, чел.

$$Нв_{ч}^{мастера} = (21 + 1) / 15 = 1,47 \approx 1.$$

Таким образом производится подсчет мастеров на каждом производственном участке теплоснабжения по Тайшетскому, Иркутскому, Улан-Удэнскому и Северобайкальскому территориальным участкам. Сопоставительная численность мастеров по штатному расписанию, списочной численности и сборнику норм управляемости 2009 г. представлена в табл. 3.

**Таблица 2.** Численность бригадиров на участках до внедрения местных норм управляемости  
**Table 2.** Number of supervisors at sites before the introduction of local management standards

Наименование территориального участка Name of territorial site	Численность бригадиров, чел. The number of foremen, persons				
	По штатному расписанию на 30 июня 2021 г. According to the staffing schedule as of June 30, 2021	Среднесписочная Average by the list	По старому сборнику норм According to the old list of norms	Отклонение численности Number deviation	
				От сборника и штатной From the list and standard	От сборника и списочной From the list and payroll
				Чел. (сборник – штатная) Persons (list – standard)	Чел. (сборник – списочная) Persons (list – payroll)
Тайшетский Taishet	10	10	8	–2	–2
Иркутский Irkutsk	8	8	6	–2	–2
Улан-Удэнский Ulan-Ude	3	3	3	0	0
Северобайкальский Severobaikal'sk	5	5	3	–2	–2
<i>Итого</i> <i>Total</i>	26	26	20	–6	–6

Численность по сборнику норм значительно превышает списочную и штатную численность. При сравнении штатной численности и численности по сборнику норм видно, что численность мастеров недостаточна для выполнения объема работ. Согласно данному рас-

чету, необходимо ввести шесть мастеров для приведения штатной численности к нормативу. Итоговые сопоставительные данные по мастерам и бригадирам в дирекции по теплоснабжению представлены в табл. 4.

Для приведения штатного расписания к

**Таблица 3.** Численность мастеров на участках до внедрения местных норм управляемости  
**Table 3.** The number of craftsmen at the sites before the introduction of local standards of manageability

Наименование территориального участка Name of territorial site	Численность мастеров, чел. The number of masters, persons				
	По штатному расписанию According to the staffing schedule	Среднесписочная Average by the list	По старому сборнику норм According to the old list of norms	Отклонение численности Number deviation	
				От сборника и штатной From the list and standard	От сборника и списочной From the list and payroll
				Чел. (сборник – штатная) Persons (list – standard)	Чел. (сборник – списочная) Persons (list – payroll)
Тайшетский Taishet	8	7	14	6	7
Иркутский Irkutsk	8	8	9	1	1
Улан-Удэнский Ulan-Ude	4	4	3	–1	–1
Северобайкальский Severobaikal'sk	3	3	3	0	0
<i>Итого</i> <i>Total</i>	23	22	29	6	7

**Таблица 4.** Численность мастеров и бригадиров на участках до внедрения местных норм управляемости  
**Table 4.** Number of foremen and supervisors at sites before the introduction of local control standards

Наименование профессии Name of profession	Численность работников, на которых распространяется норматив, чел. Number of employees covered by the standard, persons				
	По штатному расписанию According to staffing schedule	Среднесписочная Average by the list	По старому сборнику норм According to the old list of norms	Отклонение численности Number deviation	
				От сборника и штатной From the list and standard	От сборника и списочной From the list and payroll
				Чел. (сборник – штатная) Persons (list – standard)	Чел. (сборник – списочная) Persons (list – payroll)
Мастер участка производства Production site foreman	23	22	29	6	7
Бригадир (освобожденный) железнодорожного предприятий Supervisor (exempt) of railway enterprises	26	26	20	–6	–6

нормативу численности необходимо исключить из штатного расписания шесть бригадиров и ввести шесть мастеров. Поскольку мастера – это руководители среднего звена, а бригадиры входят в состав рабочих, заработная плата мастеров значительно выше заработной платы бригадиров [9]. Приведение штатной численности к нормативу 2009 г. с проведением мероприятий по исключению из штатного расписания шести бригадиров и введения шести мастеров является экономически неэффективным. Ввиду выделения дирекции в отдельный функциональный филиал, структурных изменений схемы управляемости бригадами, проведения организационных мероприятий [10] и экономической нецелесообразности приведения штатного расписания к данному нормативу выявлена потребность в разработке местных норм управляемости.

### Расчет нормы управляемости

Для корректного установления норм управляемости для мастеров участков производства и бригадиров (освобожденных) проведены ФРД мастеров и бригадиров участков производств по территориальным участкам. На основании данных ФРД формируется сводка одноименных затрат времени (табл. 5).

На основании сводки формируются выво-

ды по совершенствованию организации труда [11]. По приведенной сводке можно отметить, что для сокращения перерывов, обусловленных технологией и организацией производства [12–14], можно установить более усовершенствованное программное обеспечение [15]. Достаточно большой объем занимает вспомогательное время [16], что обусловлено спецификой обязанностей мастера. В целом мастер выполняет рабочие задачи согласно должностной инструкции.

Помимо ФРД для подготовки норм были необходимы следующие документы:

- планы работ;
- перечень объектов, входящих в их ведение;
- должностные инструкции;
- договоры аутсорсинга.

Договоры аутсорсинга поднимались для того, чтобы актуализировать данные о разграничении ответственности между аутсорсером и дирекцией. Поскольку у мастера могут быть в ведении насосные станции, скважины, может быть простая котельная, а могут быть котельные на аутсорсинге. Но мастер все равно осуществляет руководство на ней.

За основу разделения по видам работ или наименованию подразделений был принят принцип разделения норм управляемости [17, 18], разработанных для гражданских сооруже-

**Таблица 5.** Сводка одноименных затрат времени мастера  
**Table 5.** Summary of the same time spent by the foreman

Индекс или код Index or code	Наименование Name	Повторяемость, раз Repeatability, times	Продолжительность, мин. Duration, min
ПЗ-2	Инструктаж мастером, бригадиром Instruction by foreman, supervisor	1	15
ПЗ-9	Одевание/снятие теплой специальной одежды/обуви Putting on/taking off warm special clothing / shoes	3	15
О	Основное время Main time	32	269
Op	Основное ручное Basic manual	2	9
В	Вспомогательное время Auxiliary time	24	158
ПТ-1	Бездельствие в ожидании нагрева Idleness while waiting for heating	1	6
Пл	Личные надобности Personal needs	2	8

ний. При этом была изменена схема управляемости бригадами. Изменения выглядели следующим образом: сначала над бригадой назначается бригадир, затем над производственным участком или их группой назначается мастер.

Также сама норма управляемости и примечания были скорректированы под местные факторы.

Нормы управляемости для бригадиров (освобожденных) по направлению «Котельные» (тепло) считаются от производительности котельной или группы котельных (Гкал/ч). Для расчета нормы управляемости для бригадиров по котельным необходимо найти среднюю производительность всех котельных, принадлежащих к ВС ДТВ. Таким образом, формула (3) для расчета нормы управляемости по котельным выглядит следующим образом:

$$N_{\text{убр.}}^{\text{кот.}} = \frac{\sum \Pi_{\text{кот.}}}{n_{\text{кот.}}}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{убр.}}^{\text{кот.}}$  – норма управляемости для бригадиров (освобожденных), координирующих работу на котельных, Гкал/ч;  $\sum \Pi_{\text{кот.}}$  – суммарная производительность на всех котельных ВС ДТВ, Гкал/ч;  $n_{\text{кот.}}$  – количество котельных на ВС ДТВ.

$$N_{\text{убр.}}^{\text{кот.}} = \frac{(16,8 + 4,5 + 16,4 + 56 + 6,7 + 34,7 + 11,1 + 16,5 + 6,5)}{9} = 18,8 \text{ Гкал/час.}$$

При расчете нормы управляемости получилось среднее значение производительности 18,8 Гкал/ч. При этом важным фактором в ВС ДТВ является районирование производственных участков по районам, приравненным к условиям Крайнего Севера. У северных котельных (например, на ст. Вихоревка) выработка тепловой энергии значительно выше, значительный разброс также нужно учесть при установлении нормы. Расчетным путем выявлено, что наиболее оптимальный норматив для котельных ВС ДТВ равен 10 Гкал/ч, а для участков ремонта – 20 Гкал/ч.

Для расчета норматива управляемости для бригадиров (освобожденных) по водоснабжению и канализации на начальном этапе необходимо принять общую численность по штатному расписанию работников, подчиненных бригадирам, и разделить на численность бригадиров по штатному расписанию. Таким

образом, формула (4) для расчета норматива управляемости для бригадиров (освобожденных) на объектах водоснабжения и канализации будет иметь вид:

$$N_{\text{убр.}}^{\text{в}} = \frac{\sum \text{Ч}_p}{\sum \text{Ч}_{\text{бр}}^{\text{в}}}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{убр.}}^{\text{в}}$  – норма управляемости для бригадиров (освобожденных) на участках водоотведения и канализации, чел.;  $\sum \text{Ч}_p$  – суммарная численность рабочих на объектах водоснабжения и канализации по штатному расписанию, находящихся в подчинении бригадира, чел.;  $\sum \text{Ч}_{\text{бр}}^{\text{в}}$  – суммарная численность бригадиров на объектах водоснабжения и канализации по штатному расписанию, чел.

Рассчитаем промежуточную норму управляемости для бригадиров (освобожденных) на объектах водоснабжения и канализации:

$$N_{\text{убр.}}^{\text{в}} = \frac{209,5}{12} \approx 17 \text{ чел.}$$

Затем необходимо принять градацию численности работников в подчинении на производственных участках: от самой минимальной численности до максимальной на участке, и найти среднюю в этой градации. Минимальная – 5 чел. на участке водоотведения (ст. Тайшет), а максимальная – 18 чел. на участке ремонта объектов водоснабжения и водоотведения (ст. Вихоревка):

$$N_{\text{убр.}}^{\text{в}} = \frac{18 + 5}{2} \approx 12 \text{ чел.}$$

Затем с помощью практических примерок вычисляем наиболее оптимальную норму управляемости [19] в диапазоне 12–17 чел. Суть примерки заключается в том, чтобы выяснить, насколько данная норма удовлетворяет потребности в численности бригадиров и насколько она экономически обоснована. Для производственного процесса и соблюдения технологии производства для ВС ДТВ оптимальнее вводить больше бригадиров, поскольку они находятся непосредственно на участке и следят, а также участвуют в ходе работ.

Аналогично вычисляется норма управляемости для мастеров участков производства по (5). Однако в суммарный расчет включается также численность бригадиров на производственных участках:

$$N_y^m = \frac{\sum \text{Ч}_p + \sum \text{Ч}_{\text{бр}}^B}{\sum \text{Ч}_m}, \quad (5)$$

где  $N_y^m$  – норма управляемости для мастеров участков производств, чел.;  $\sum \text{Ч}_m$  – суммарная численность мастеров участков производства по штатному расписанию, чел. –

$$N_y^m = \frac{469 + 26}{23} \approx 22 \text{ чел.}$$

Далее от этой средней необходимо сделать примерку с целью выявления рациональности использования данной нормы. После примерки отслеживаем, в какую сторону возникает перекоп в численности и корректируем норму под местные условия. Поскольку нормы разрабатываются локально для ВС ДТВ, это допустимо сделать. Например, ст. Наушки находится на приграничной зоне, поэтому на этом производственном участке во избежание чрезвычайных ситуаций и сбоев в работе железнодорожного пункта приняли должность мастера. Также для местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, на котельных вводится норма управляемости ниже, чем на иных участках производства.

На последнем этапе вводятся округления.

Поскольку программа ЕК АСУТР округляет в меньшую сторону, а по старому нормативу, даже если насчитывается 0,9 чел., численность округляется до нуля. В местных нормах управляемости необходимо учесть этот фактор с помощью введения округлений, что позволит исключить эти потери.

### Заключение

Проведенное автором исследование по расчету норм управляемости [20] позволит производить подсчет мастеров участков производства и бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта на каждом производственном участке по Тайшетскому, Иркутскому, Улан-Удэнскому и Северобайкальскому территориальным участкам.

Экономический эффект после внедрения норм управляемости составит 3 192,87 тыс. руб., в частности по элементам затрат: затраты на оплату труда, отчислениям на социальные нужды и материалы. Три работника включены в Программу по повышению производительности труда.

### Список литературы

1. Зайнуллина М.Р., Набиева Л.Г., Палей Т.Ф. Организация и нормирование труда в отраслях непроизводственной сферы. Казань : КФУ, 2013. 136 с.
2. Об утверждении профессионального стандарта «Бригадир (освобожденный) предприятий железнодорожного транспорта» : приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 31.07.2020 № 462н. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» в локал. сети.
3. О системе нормирования труда в ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 30.10.2018 № 2331/р (ред. 12.05.2020). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
4. Об утверждении нормативов численности рабочих, занятых на эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения : распоряжение ОАО «РЖД» от 29.02.2016 № 328р (ред. 12.10.2018). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
5. Об утверждении нормативов численности работников, занятых обслуживанием котельных и тепловых сетей : распоряжение ОАО «РЖД» от 18.01.2017 № 93р (ред. 12.12.2018). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
6. Об утверждении квалификационных характеристик должностей руководителей, специалистов и других служащих ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 31.05.2017 № 1041р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
7. Нормы управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта и метрополитена хозяйства гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения : утв. вице-президентом ОАО «РЖД» О.В. Тони 28.09.2009. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
8. Об утверждении местных Норм управляемости для мастеров участков производства, бригадиров (освобожденных) предприятий железнодорожного транспорта Восточно-Сибирской дирекции по тепловодоснабжению : распоряжение ВСЖД от 02.09.2021 № В-СИБ ДТВ-39/р.
9. Крушинская О.И. Взаимосвязь производительности труда и оплаты труда // Экономика и предпринимательство. 2023. № 3 (152). С. 1157–1160.
10. Grigoryeva N.N. Railway transport management system transformation in passing to polygon technologies // VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020. Novosibirsk, 2020. Vol. 918. P. 012194. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012194.
11. Крушинская О.И. Регламентация и нормирование труда на предприятиях железнодорожного транспорта в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» // Экономика и предпринимательство. 2022. № 12 (149). С. 1454–1457.

12. Управление персоналом в России: история и современность / А.Я. Кибанов, И.Б. Дуракова, И.А. Эсаулова и др. М. : ИНФРА-М, 2013. 239 с.
13. Адамчук В.В., Ромашов О.В., Сорокина М.Е. Экономика и социология труда. М. : ЮНИТИ, 1999. 407 с.
14. Слепцова Е.В., Акопян А.О. Современные направления совершенствования организации труда // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 12-1. С. 171–173.
15. Григорьева Н.Н., Черных Л.А. Недостатки существующих методик оценки производительности труда при проведении сравнительной оценки эффективности использования трудовых ресурсов предприятия // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. Т. 2. С. 183–187.
16. Макарова А.О., Галимова А.Ш. Направления повышения эффективности использования рабочего времени на предприятии // Молодой ученый. 2013. № 1. С. 155–158.
17. Друкер П.Ф. Менеджмент: задачи, обязанности, практика. М. : Вильямс, 2008. 989 с.
18. Роббинз С.П., Коултер М.К. Менеджмент. М. : Вильямс, 2007. 1044 с.
19. Организация, нормирование и оплата труда на железнодорожном транспорте / С.Ю. Саратов, Л.В. Шкурина, В.А. Сарин и др. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2015. 359 с.
20. О Правилах разработки и утверждения типовых норм труда : постановление Правительства РФ от 11.11.2002 № 804. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» в локал. сети.

### References

1. Zainullina M.R., Nabieva L.G., Palei T.F. Organizatsiya i normirovanie truda v otraslyakh neproizvodstvennoi sfery [Organization and rationing of labor in non-industrial sectors]. Kazan': KFU Publ., 2013. 136 p.
2. Prikaz Ministerstva truda i sotsial'noi zashchity RF ot 31.07.2020 № 462n «Ob utverzhdenii professional'nogo standarta «Brigadir (osvobozhdennyi) predpriyatii zheleznodorozhnogo transporta» [Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation dated July 31, 2020 No 462n «On the approval of the professional standard «Foreman (released) of railway transport enterprises»].
3. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 30.10.2018 № 2331/r «O sisteme normirovaniya truda v OAO «RZhD» (red. 12.05.2020) [Order of JSC «Russian Railways» dated October 30, 2018 No 2331/r (ed. May 12, 2020)].
4. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 29.02.2016 No 328r «Ob utverzhdenii normativov chislennosti rabochikh, zanyatykh na ekspluatatsii sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya» (red. 12.10.2018) [Decree of JSC «Russian Railways» dated February 29, 2016 No 328r «On approval of the standards for the number of workers employed in the operation of water supply and sanitation systems» (ed. October 12, 2018)].
5. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 18.01.2017 No 93r «Ob utverzhdenii normativov chislennosti rabotnikov, zanyatykh obsluzhivaniem kotel'nykh i teplovykh setei» (red. 12.12.2018) [Order of JSC «Russian Railways» dated January 18, 2017 No 93r «On approval of the standards for the number of employees engaged in the maintenance of boiler houses and heating networks» (ed. December 12, 2018)].
6. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 31.05.2017 № 1041r «Ob utverzhdenii kvalifikatsionnykh kharakteristik dolzhnostei rukovoditelei, spetsialistov i drugikh sluzhashchikh OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dated May 31, 2017 No 1041r «On approval of the qualification characteristics of the positions of managers, specialists and other employees of JSC «Russian Railways»].
7. Normy upravlyaemosti dlya masterov uchastkov proizvodstva, brigadirov (osvobozhdennykh) predpriyatii zheleznodorozhnogo transporta i metropolitena khozyaistva grazhdanskikh sooruzhenii, vodosnabzheniya i vodootvedeniya: utv. vitse-prezidentom OAO «RZhD» O.V. Toni 28.09.2009 [Manageability standards for masters of production sites, foremen of (liberated) railway and metro enterprises, civil facilities, water supply and sanitation: approved by the Vice-President of JSC «Russian Railways» O.V. Toni on September 28, 2009].
8. Rasporyazhenie VSZhD ot 02.09.2021 No V-SIB DTV-39/r «Ob utverzhdenii mestnykh Norm upravlyaemosti dlya masterov uchastkov proizvodstva, brigadirov (osvobozhdennykh) predpriyatii zheleznodorozhnogo transporta Vostochno-Sibirskoi direksii po teplovodosnabzheniyu» [Order of the East Siberian Railway dated September 2, 2021 No V-SIB DTV-39/r «On the approval of local manageability Standards for masters of production sites, foremen of (liberated) railway transport enterprises of the East Siberian Directorate for Heat and Water Supply»].
9. Krushinskaya O.I. Vzaimosvyaz' proizvoditel'nosti truda i oplaty truda [The relationship between labor productivity and wages]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2023, no. 3 (152), pp. 1157–1160.
10. Grigor'eva N.N. Railway transport management system transformation in passing to polygon technologies. *VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020*. Novosibirsk, 2020, vol. 918, pp. 012194. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012194.
11. Krushinskaya O.I. Reglamentatsiya i normirovanie truda na predpriyatiyakh zheleznodorozhnogo transporta v strukturnykh podrazdeleniyakh filialov OAO «RZhD» [Regulation and rationing of labor at railway transport enterprises in structural subdivisions of branches of JSC «Russian Railways»]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2022, no. 12 (149), pp. 1454–1457.
12. Kibanov A.Ya., Durakova I.B., Esaulova I.A., Shatalova N.I., Mitrofanova E.A., Sotnikova S.I., Gagarinskaya G.P., Slezko V.V. Upravlenie personalom v Rossii: istoriya i sovremennost' [Human Resources Management in Russia: History and Modernity]. Moscow: INFRA-M Publ., 2013. 239 p.
13. Adamchuk V.V., Romashov O.V., Sorokina M.E. *Ekonomika i sotsiologiya truda* [Economics and Sociology of labor]. Moscow: YuNITI Publ., 1999. 407 p.

14. Sleptsova E.V., Akopyan A.O. Sovremennye napravleniya sovershenstvovaniya organizatsii truda [Modern trends in improving labor organization]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika* [Economics and Business: theory and practice], 2019, no. 12-1, pp. 171–173.

15. Grigor'eva N.N., Chernykh L.A. Nedostatki sushchestvuyushchikh metodik otsenki proizvoditel'nosti truda pri provedenii sravnitel'noi otsenki effektivnosti ispol'zovaniya trudovykh resursov predpriyatiya [Disadvantages of existing methods for assessing labor productivity when conducting a comparative assessment of the efficiency of using the company's labor resources]. *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Transport Infrastructure of the Siberian Region»]. Irkutsk, 2016, vol. 2, pp. 183–187.

16. Makarova A.O., Galimova A.Sh. Napravleniya povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya rabochego vremeni na predpriyatii [Directions for improving the efficiency of working time use at the enterprise]. *Molodoi uchenyi* [Young Scientist], 2013, no. 1, pp. 155–158.

17. Drucker P.F. Menedzhment: zadachi, obyazannosti, praktika [Management tasks, responsibilities, Practices]. Moscow: Williams Publ., 2008 989 p.

18. Robbins S.P., Coulter M.K. Menedzhment [Management]. Moscow: Williams Publ., 2007. 1044 p.

19. Saratov S.Yu., Shkurina L.V., Sarin V.A., Semerova T.G., Suetina L.M., Belkin M.V., Struchkova E.V. Organizatsiya, normirovanie i oplata truda na zheleznodorozhnom transporte [Organization, rationing and remuneration of labor in railway transport]. Moscow: UMTs ZdT Publ., 2015. 359 p.

20. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.11.2002 No 804 «O Pravilakh razrabotki i utverzhdeniya tipovykh norm truda» [Decree of the Government of the Russian Federation dated November 11, 2002 No 804 «On the Rules for the development and approval of standard labor standards»].

### Информация об авторах

*Григорьева Наталья Николаевна*, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: zolotkina@mail.ru.

### Information about the authors

*Natal'ya N. Grigor'eva*, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management in Railway Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: zolotkina@mail.ru..

## Изменение технологии обращения локомотивов грузового движения на Восточном полигоне

И.А. Чубарова✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ia7chubarova@gmail.com

### Резюме

Одна из основных задач компании ОАО «РЖД» – привлечение клиентов на железнодорожный транспорт различными методами. К важным требованиям клиентов на сегодняшний день относятся: формирование маршрутов, сокращение сроков доставки, своевременный вывоз заявленного объема груза. Для их удовлетворения на дорогах Восточного полигона реализуется технология вождения тяжеловесных и соединенных поездов в условиях обновления локомотивного парка. В 2016 г. на Восточный полигон была произведена первая поставка новых локомотивов 3ЭС5К. Благодаря применяемым полигонным технологиям обращения локомотивов и использованию электровозов серии 3ЭС5К организовано формирование поездов весом 7 100 т. Восточно-Сибирская железная дорога является частью Восточного полигона, в ее границах в грузовом движении для обеспечения вывоза, пропуска, приема и отправления вагонопотока задействуются электровозы и тепловозы различных серий. Обращение локомотивов на Восточном полигоне осуществляется согласно принятой технологии с учетом минимальных простоев на технических станциях для смены локомотива и локомотивной бригады. Сегодня мощность грузопотока позволяет формировать в сутки до десяти поездов весом 7100 т. Однако из-за недостаточного количества мощных локомотивов составляются поезда весом 6 000–6 300 т, что приводит к увеличению ниток в нормативном графике. В условиях ограниченных пропускных способностей станций и участков дальнейшее обновление парка грузовых локомотивов является крайне актуальным. В статье рассмотрена организация тягового обслуживания на Восточном полигоне, в частности в границах Восточно-Сибирской железной дороги, при переходе на серию локомотивов 3ЭС5К с поосным регулированием.

### Ключевые слова

Восточный полигон, технология обращения локомотивов, границы Восточно-Сибирской железной дороги, тяговые плечи, подвязка локомотивов, грузовые поезда массой 7 100 т, обновление локомотивного парка, поездные локомотивы серии 3ЭС5К

### Для цитирования

Чубарова И.А. Изменение технологии обращения локомотивов грузового движения на Восточном полигоне / И.А. Чубарова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1(81). С. 59–71. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).59-71.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 01.02.2024; поступила после рецензирования: 22.03.2024 г.; принята к публикации: 25.03.2024 г.

## Changing the technology for handling freight locomotives at the Eastern Polygon

I.A. Chubarova✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ia7chubarova@gmail.com

### Abstract

One of the main tasks of the Russian Railways company is to attract customers to railway transport by various methods. The important requirements of customers today include, among other things: the formation of routes; reduction of delivery time; timely removal of the declared volume of cargo. To meet these requirements, the technology of driving heavy-weight and connected trains is used on the roads of the Eastern Polygon under conditions of updating the locomotive fleet. In 2016, the first delivery of new 3ES5K locomotives was made to the Eastern Polygon. Thanks to the applied landfill technologies for handling locomotives and the use of 3ES5K series electric locomotives, the formation of trains weighing 7 100 tons was organized. The East Siberian Railway is part of the Eastern Polygon, and electric locomotives and diesel locomotives of various series are used in its boundaries in the freight traffic to ensure the export, admission, reception and departure of wagon traffic. Locomotives are handled according to the accepted technology at the Eastern Polygon, taking into account minimal downtime at technical stations for both locomotive and locomotive crew changes. Today, the capacity of freight traffic allows to form up to ten trains weighing 7 100 tons per day. However, due to the insufficient number of powerful locomotives, they are still formed weighing 6 000–6 300 tons, which leads to an increase in threads in the regulatory schedule. Under conditions of limited capacity of stations and sections, further updating of the fleet of freight locomotives is extremely urgent. The scientific article examines the organization of traction services at the Eastern landfill, in particular within the boundaries of the East Siberian Railway, during the transition to the 3ES5K series of locomotives with axial control.

**Keywords**

Eastern training ground, locomotive handling technology, Eastern Siberian Railway boundaries, traction arms, locomotive tie-up, freight trains weighing 7 100 tons, locomotive fleet renewal, train locomotives of the 3ES5K series

**For citation**

Chubarova I.A. *Izmenenie tekhnologii obrashcheniya lokomotivov gruzovogo dvizheniya na Vostochnom poligone* [Changing the technology of handling freight locomotives at the Eastern Polygon]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 59–71. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).59-71.

**Article info**

Received: January 25, 2024; Revised: March 9, 2024; Accepted: March 11, 2024.

**Введение**

Сегодня российские железные дороги играют важнейшее значение в укреплении позиций в мировых транспортных коридорах. Перевозку грузов в восточном направлении уже невозможно представить без Восточного полигона, который включает Восточно-Сибирскую, Забайкальскую, Красноярскую и Дальневосточную железные дороги. По основным магистралям Восточного полигона осуществляется отправка грузов не только на Дальний Восток нашей страны, но и в Монголию, а также к портам и промышленным пунктам Китая [1–3].

Для последующего расширения инфраструктуры Восточного полигона с целью увеличения провозной способности, согласно национальному комплексному плану модернизации Байкало-Амурской магистрали и Транссиба, предусмотрено возведение новых мостов, сооружение тоннелей, строительство дополнительных путей, реконструкция железнодорожных станций [4–6].

Рост объемов перевозок в границах Восточного полигона зависит от ряда мероприятий, в том числе от применения технологии движения поездов массой 7 100 т, увеличения пропуска контейнерных поездов, плеч работы локомотивных бригад и гарантийных участков проследования поездов в техническом отношении [6–9].

Целью научного исследования является проведение мероприятий, направленных на

увеличение на Восточном полигоне мощности перевозок, в том числе в границах Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД), в условиях перехода на эксплуатацию локомотивов одной серии. Для осуществления поставленной цели необходимо:

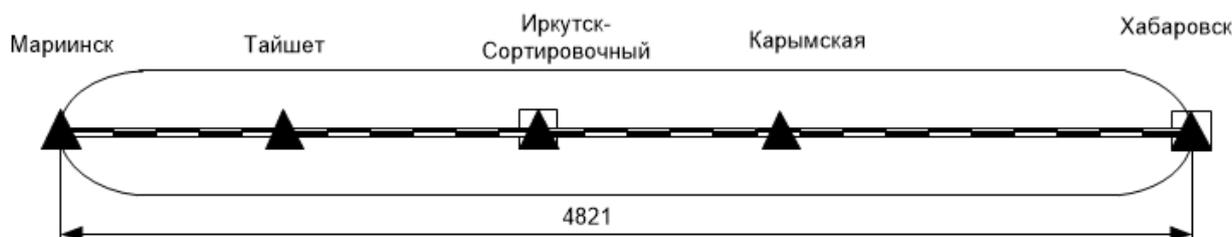
- рассмотреть принятую технологию обращения локомотивов на Восточном полигоне;
- сравнить работу конкретного участка в условиях действующей технологии до и после предложенных мероприятий;
- определить пропускную способность рассматриваемого участка и привести экономическое обоснование предложенных мероприятий [10–12].

**Организация тягового обслуживания поездов на Восточном полигоне**

На Восточном полигоне установлена технология работы поездных локомотивов на участке Мариинск – Хабаровск-II в условиях обновления локомотивного парка [13].

Основным принципом в организации движения локомотивов внутри тягового плеча Мариинск – Хабаровск-II является его подвязка на станциях смены локомотивов.

Технология организации пропуска грузовых поездов назначением на железнодорожную станцию Хабаровск-II и другие станции Дальневосточной железной дороги (ДВЖД) устанавливает порядок вождения грузовых поездов по нормативным ниткам графика движения поездов



**Рис. 1.** Схема тяговых плеч на участке Мариинск – Хабаровск-II  
**Fig. 1.** Scheme of traction arms on the Mariinsk – Khabarovsk-II section

с целью увеличения пропускной способности участка, сокращения времени на стоянки на промежуточных станциях, экономии электрической энергии, увеличения показателей использования локомотивов, снижения потерь производительного времени работы бригад.

Длина тягового плеча Мариинск – Хабаровск-II составляет 4 821 км (рис. 1). На участке применяются электровозы Красноярской дирекции тяги с периодичностью проведения ТО-2 в объеме 240 ч.

После проведения технического обслуживания в объеме ТО-2 на ст. Мариинск локомотивы подвязываются под транзитные поезда или поезда своего формирования весом 7 100 т, следующие в четном направлении до станций ДВЖД, в том числе до ст. Хабаровск-II.

Грузовые поезда в четном направлении следуют без отцепки локомотивов по ст. Иркутск-Сортировочный и ст. Карымская.

Техническое обслуживание поездов производится независимо от протяженности гарантийных участков на ст. Хабаровск-II, Мариинск, Карымская и Иркутск-Сортировочный.

Экипировка локомотивов на электротяге песком осуществляется на ВСЖД по ст. Улан-Удэ и на Забайкальской железной дороге (ЗабЖД) по ст. Магдагачи.

С целью осуществления ТО-2 все электровозы отцепляются по ст. Хабаровск-II.

После проведения ТО-2 все отцепленные электровозы подаются под транзитные поезда в адрес Западно-Сибирской железной дороги (ЗСЖД) и далее, исключая отцепки в пути следования, до ст. Мариинск, или отправляются резервом с минимальным оборотом по ст. Хабаровск-II, а также под контейнерные поезда, следующие в нечетном направлении.

Пропуск тяжеловесных поездов осуществляется в соответствии с разработанными нитками графика движения поездов.

Участок Мариинск – Иркутск-Сортировочный имеет протяженность 1 465 км (рис. 2). После осуществления ТО-2 на ст. Мариинск локомотив ЗЭС5К подается под поезд своего формирования или транзитный массой 7 100 т в четном направлении назначением на ст. Иркутск-Сортировочный.

В соответствии с протяженностью гарантийных участков техническое обслуживание поезду необходимо выполнять на ст. Мариинск.

Участок Иркутск-Сортировочный – Хабаровск-II имеет протяженность 3 356 км (рис. 3).

На железнодорожной ст. Иркутск-Сортировочный производится формирование поездов назначением на ст. Хабаровск-II и дру-

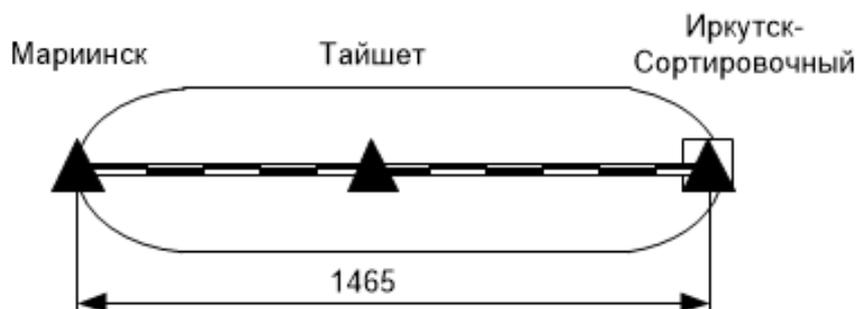


Рис. 2. Схема тяговых плеч на участке Мариинск – Иркутск-Сортировочный  
Fig. 2. Scheme of traction arms on the Mariinsk – Irkutsk-Sortirovochnyi section



Рис. 3. Схема тяговых плеч на участке Иркутск-Сортировочный – Хабаровск-II  
Fig. 3. Scheme of traction arms on the section Irkutsk-Sortirovochny – Khabarovsk-II

гие станции ДВЖД массой 7 100 т.

Локомотивный диспетчер Центра управления перевозками на Восточном полигоне (ЦУП ВП) и станционный диспетчер ст. Иркутск-Сортировочный обеспечивают подвязку локомотивов, которые прибыли с поездом назначением на ст. Иркутск-Сортировочный с участка Мариинск – Иркутск-Сортировочный для отправления четного грузового поезда назначением на железнодорожную ст. Хабаровск-II и другие станции ДВЖД. Время до окончания проведения обслуживания цикла ТО-2 не менее 160 ч.

Дополнительная экипировка локомотивов песком производится на ст. Улан-Удэ и Магдагачи ВСЖД во время сдачи-приемки локомотива локомотивными бригадами. Для осуществления ТО-2 по ст. Хабаровск-II всем локомотивам производят отцепку от поездов.

Все отцепленные локомотивы после проведения ТО-2 подаются под транзитные поезда в адрес ЗСЖД и далее, исключая отцепки локомотивов в пути следования до ст. Мариинск, или отправляются резервом с минимальным оборотом по ст. Хабаровск-II, или под контейнерные поезда, следующие в нечетном направлении.

В соответствии с протяженностью гарантийных участков техническое обслуживание поезду необходимо выполнять на станциях Иркутск-Сортировочный, Крымская и Хабаровск-II (рис. 3).

Порядок проведения экипировки включает следующие действия:

1. Диспетчеры поездные совместно с дежурными по станции планируют прием четного поезда на путь станции, и локомотивы снабжаются песком без отцепки от состава.

2. Маневровый диспетчер станции, получив сообщение от диспетчера поездного о необходимости экипировки локомотива песком, передает информацию дежурному по локомотивному депо и сообщает время прибытия поезда на путь для экипировки локомотива.

3. Дежурный по локомотивному депо, получив задание на экипировку локомотива, планирует работу вывозной бригады для экипировки песком электровозов. В случае занятости вывозной бригады дежурный по локомотивному депо вызывает дополнительно бригаду для снабжения песком электровозов на путях, а также передает заявку на экипировку старшему смены экипировочной позиции.

4. Дежурный по станции сообщает машинисту: «смена бригады, экипировка локомотива без отцепки». Дежурный по локомотивному депо по средствам связи сообщает экипировщику о предстоящей экипировке локомотива на пути и направляет его ко времени прибытия поезда на пути экипировки.

5. Машинист электровоза после установки локомотива на позиции снабжения опускает токоприемники, передает ключи управления и реверсивную рукоятку экипировщику. Снятие напряжения с участка контактной сети на экипировочной позиции производится экипировщиком с щита управления. Только после этого экипировщик начинает производить операции по экипировке песком. Время экипировки на один локомотив должно составлять не более 30 мин. от момента начала экипировки.

Для обеспечения оперативной связи с дежурным по станции, дежурным по локомотивному депо экипировщик должен иметь при себе переносную радиостанцию.

После экипировки электровоза песком экипировщик уведомляет локомотивную бригаду, дежурного по локомотивному депо о завершении экипировки, возвращает ключи управления и реверсивную рукоятку, подает напряжение в контактную сеть. Дежурный по локомотивному депо уведомляет дежурного по станции об окончании операции по экипировке электровоза.

Для определения в границах железных дорог эксплуатируемого парка локомотивов необходимы данные о его фактической дислокации на полигоне из базы данных Автоматизированной системы оперативного управления перевозками – АСОУП-2.

Ежесуточно в системе «Автоматизированное рабочее место локомотивного диспетчера ЦУП ВП» выполняется расчет потребного парка локомотивов в границах тяговых участков Восточного полигона на следующие сутки.

Исходной информацией являются планируемые размеры движения поездов на следующие сутки из автоматизированной системы сменно-суточного планирования.

В случае значительной разбалансировки парка локомотивов в период ремонта и модернизации инфраструктуры, в том числе по технологии закрытых перегонов, а также вследствие длительных перерывов в движении по каким-либо иным причинам, ЦУП ВП ограничивает

размеры приема поездов по стыковым пунктам для исключения простоя поездов перед узловыми станциями.

Для обеспечения пропуски грузовых поездов массой 7 100 т в качестве примера рассмотрено использование поездных локомотивов ЗЭС5К на участке Мариинск – Хабаровск-II [14].

Основным принципом в организации движения локомотивов ЗЭС5К внутри тягового плеча Мариинск – Хабаровск-II является их подвязка на станциях погрузки после отцепки от поездов, назначением на станции погрузки ВСЖД (Иркутск-Сортировочный, Суховская, Челутай).

На железнодорожной ст. Хабаровск-II для осуществления ТО-2 все локомотивы отцепляются от поездов в приоритетном порядке, после чего подвязываются преимущественно под нечетные контейнерные, порожние поезда назначением на ВСЖД (Челутай, Суховская, Иркутск-Сортировочный).

При организации со станции погрузки движения грузовых поездов в четном направлении, гарантийные плечи обслуживания назначаются отдельно в зависимости от расстояния между станцией погрузки и ст. Хабаровск-II.

Данная технология ведет к улучшению показателей использования локомотивов, уменьшению времени нахождения поездов на промежуточных станциях, сокращению потери рабочего времени локомотивных бригад, а также способствует увеличению провозной способности участка Мариинск – Хабаровск-II.

Схема тяговых плеч на участке Суховская – Хабаровск-II протяженностью 3 382 км приведена на рис. 4.

На железнодорожной ст. Суховская производится формирование поездов назначением на ст. Хабаровск-II и далее по ДВЖД.

На ст. Иркутск-Сортировочный проводится ТО-2 электровозам ЗЭС5К, после чего локо-

мотивы подаются под поезда своего формирования на ст. Суховская в адрес ст. Хабаровск-II. Масса поездов составляет 7 100 т [15, 16]. Безотцепочно по ст. Карымская локомотивы следуют до ст. Хабаровск-II, где отцепляется от четного поезда. Далее поездные локомотивы серии ЗЭС5К подвязываются с оборота преимущественно под поезда назначением на ст. Иркутск-Сортировочный, нечетные транзитные порожние поезда назначением на станции ЗСЖД, или отправляются резервом с минимальным оборотом по ст. Хабаровск-II.

Диспетчер по управлению перевозками Суховского района управления (ДГПРУ Суховская) совместно с диспетчером локомотивным планируют подвод электровоза серии ЗЭС5К с поосным регулированием силы тяги, из числа следующих с поездами назначением на ст. Суховская, Иркутск-Сортировочный и с участка обращения Мариинск – Иркутск-Сортировочный. Время до окончания проведения обслуживания цикла ТО-2 не менее 160 ч.

Не позднее, чем за 6 ч. от планируемого времени прибытия локомотива серии ЗЭС5К с поосным регулированием силы тяги на станцию Суховская, ДГПРУ Суховская передает задание маневровому диспетчеру ст. Суховская на формирование поезда весом 7 100 т назначением на ст. Хабаровск-II.

В соответствии с протяженностью гарантийных участков техническое обслуживание поезду необходимо выполнять на ст. Могоча, Хабаровск-II.

Участок Челутай – Хабаровск-II имеет длину 2 822 км (рис. 5).

На ст. Челутай осуществляется формирование поездов в адрес станций ДВЖД, в том числе Хабаровск-II и Ванино.

Для организации ТО-2 отцепка электровозов серии ЗЭС5К от поездов обоих направлений производится на ст. Уруша. Далее локомотивы



Рис. 4. Схема тяговых плеч на участке Суховская – Хабаровск-II  
Fig. 4. Scheme of traction arms on the Sukhovskaya – Khabarovsk-II section



Рис. 5. Схема тяговых плеч на участке Челутай – Хабаровск-II  
 Fig. 5. Scheme of traction arms on the Chelutai – Khabarovsk-II section

подаются под поезда нечетного следования в адрес ст. Терентьевская. До ст. Челутай локомотивы следуют безотцепочно, где подаются под четные грузовые поезда массой 7 100 т своего формирования. Для осуществления ТО-2 на ст. Хабаровск-II отцепка электровозов производится в приоритетном порядке. В случае отправления со ст. Челутай поезда назначением на ст. Ванино, локомотив следует до ст. Волочаевка-2 с дальнейшим отправлением с поездом или резервом до ст. Хабаровск-II для проведения ТО-2.

Диспетчер по управлению перевозками Улан-Удэнского района управления (далее – ДГПРУ Улан-Удэ) совместно с диспетчером локомотивным организуют подвод электровоза серии ЗЭС5К из числа следующих с поездами назначением на ст. Челутай. Время до окончания проведения обслуживания цикла ТО-2 не менее 140 ч.

Не позднее чем за 6 ч. от планируемого времени прибытия локомотива серии ЗЭС5К с поосным регулированием силы тяги на ст. Челутай, ДГПРУ Улан-Удэ передает задание маневровому диспетчеру ст. Челутай на формирование поезда весом 7 100 т.

Техническое обслуживание поездов производится согласно технологическому процессу ст. Челутай.

Дополнительная экипировка локомотивов песком осуществляется в четном парке отправления ст. Магдагачи ЗабЖД при сдаче-приемке локомотива локомотивными бригадами.

В соответствии с протяженностью гарантийных участков техническое обслуживание поезду необходимо выполнять на ст. Белогорск, Хабаровск-II.

Порядок планирования электровозов под поезда должен осуществляться с учетом соблюдения нормативов периодичности пробега (времени) до проведения ТО-2. Подвязку локомотивов под поезда необходимо осуществлять исходя из ограничений, приведенных в табл. 1.

#### Технико-эксплуатационная характеристика Восточно-Сибирской железной дороги

ВСЖД является частью Восточного полигона и расположена на территориях Республики Бурятия, Забайкальского края и Иркутской области.

Граница на западе – ст. Юрты (включительно), на востоке – ст. Хани (исключительно) и ст. Петровский Завод (исключительно), на юге – ст. Наушки (включительно).

ВСЖД включает в себя участки Северобайкальского, Иркутского, Улан-Удэнского и Тайшетского регионов.

Таблица 1. Нормативы времени между проведением ТО-2 при отправлении со станций тягового полигона Мариинск – Карымская – Хабаровск-II

Table 1. Time standards between carrying out maintenance-2 when departing from the stations of the traction range Mariinsk – Karymskaya – Khabarovsk-II

Станция отправления Departure station	Станция назначения Destination station	Время после проведения ТО-2, ч. Time after maintenance, hour.	Время до проведения ТО-2, ч. Time before maintenance, hour.	Депо приписки локомотива Home depot of locomotive
Мариинск*	Хабаровск-II	0	240	Иланская
Хабаровск-II**	Мариинск	0	240	Иланская

Примечание.

\* По ст. Мариинск электровозы после осуществления ТО-2 подвязываются с оборота под поезда в адрес ст. Хабаровск-II по приказам Центра управления перевозками на Восточном полигоне.

\*\* Пункт технического обслуживания локомотивов Хабаровск-II обеспечивает проведение технического обслуживания ТО-2 всем локомотивам, отправляющимся с нечетными поездами на ст. Мариинск.

В границах ВСЖД находится:

1. Десять эксплуатационных депо, в составе которых по главному ходу: ТЧЭ-1 Тайшет, ТЧЭ-2 Нижнеудинск, ТЧЭ-3 Зима, ТЧЭ-5 Иркутск, ТЧЭ-6 Слюдянка, ТЧЭ-7 Улан-Удэ; по северному ходу: ТЧЭ-9 Вихоревка, ТЧЭ-10 Лена, ТЧЭ-12 Северобайкальск ТЧЭ-14 Новая Чара.

2. Восемь оборотных эксплуатационных депо, включающих: по главному ходу: ТДЭ Тулун, ТДЭ Черемхово, ТДЭ Большой Луг, ТДЭ Горхон, ТДЭ Наушки; по северному ходу: ТДЭ Коршуниха, ТДЭ Усть-Илимск, ТДЭ Таксимо.

3. Четыре сетевых пункта технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ), которые включают по главному ходу: ПТОЛ Тайшет, ПТОЛ Иркутск-Сортировочный; по северному ходу: ПТОЛ Северобайкальск, ПТОЛ Таксимо.

4. Семь местных ПТОЛ, в том числе по главному ходу: ПТОЛ Зима, ПТОЛ Большой Луг, СУ Слюдянка, СУ Горхон, СУ Наушки; по северному ходу: СУ Коршуниха, СУ Таксимо.

Эксплуатационная длина дороги составляет 3 876,7 км, развернутая длина главного пути – 6 236,7 км.

Локомотивный парк:

– электровозы составляют 540 ед., из них 252 ед. серии ВЛ85, 2 – серии ВЛ80р, 44 – серии ВЛ65, 141 – серии ЗЭС5К, 38 – серии ЗЭС5К с независимым возбуждением, 55 – серии 2ЭС5К;

– тепловозы – 399 ед., в числе которых 129 ед. грузовых тепловозов серий ТЭ10в/и, 2ТЭ116в/и, а также 270 ед. маневровых тепловозов серий ТЭМ18в/и, ТЭМ2, ТЭМ7в/и, ТЭМ14.

Электрической централизацией оборудована вся ВСЖД – 100 %, автоматической блокировкой оборудовано 3 666,7 км – 94,5 %, полуавтоматической блокировкой оборудовано 244,13 км (участки Рудногорск – Усть-Илимск, Слюдянка-II – Порт-Байкал). Диспетчерской централизацией оборудовано 3607,95 км.

### **Технология организации работы тяговых ресурсов в границах Восточно-Сибирской железной дороги**

На Восточном полигоне применяется технология управления тяговыми ресурсами, в которой предусмотрено максимальное продвижение поездных локомотивов между станциями формирования и расформирования поездов без отцепки их от поезда.

Норматив простоя локомотивов для смены локомотивных бригад, следующих по регулировке резервом:

– одиночным порядком – не более 25 мин.;

– сплотками – не более 45 мин.

На ВСЖД имеются три тяговых плеча, обеспечивающих подвязку локомотивов под поезда без их отцепки до станции назначения или до стыка соседних железных дорог: Тайшет – Петровский завод; Тайшет – Таксимо; Таксимо – Хани.

Основным принципом в организации движения локомотива внутри тягового плеча является его подвязка на станциях смены локомотивов (после прибытия с поездом назначением на станцию отцепок) под поезда попутного направления до конца тягового плеча.

Тяговое плечо Тайшет – Петровский завод имеет длину 1 269 км и обслуживается электровозами приписки дирекций тяги Восточно-Сибирской, Забайкальской, Красноярской и Дальневосточной железных дорог.

При выполнении определенных условий пропуска на указанном участке организуется движение поездов массой 6 300 т, которые обслуживаются электровозами серии 1,5ВЛ80р, 1,5ВЛ80с, ВЛ85, ЗЭС5К приписки Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорог.

Также организовано движение поездов весом 7 100–7 500 т, которые обслуживаются электровозами серии 2\*2ЭС5К, ЗЭС5К (поосного регулирования) приписки Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Дальневосточной дирекций тяги. В 2022 г. в границах ВСЖД пропущено 1,7 тыс. поездов весом 7 100 т.

Пропуск тяжеловесных поездов осуществляется в соответствии с разработанными нитками графика.

Тяговое плечо Тайшет – Иркутск-Сортировочный имеет длину 662 км. В случае превышения времени от ТО-2, локомотиву проводится ТО-2 на ПТОЛ ст. Иркутск-Сортировочный.

Дополнительно участок обслуживается закрепленными электровозами серии ВЛ80р или 2ЭС5К приписки Красноярской и Восточно-Сибирской дирекций тяги [17].

Закрепленные локомотивы подвязываются под поезда на ст. Тайшет и Иркутск-Сортировочный с учетом оставшегося времени до проведения технического обслуживания. Минимальный остаточный пробег до проведе-

ния ТО-2 должен составлять не менее 700 км / 24 ч. Данные локомотивы запрещается использовать за пределами указанного тягового плеча, ТО-2 проводится на ПТОЛ ст. Тайшет и Иркутск-Сортировочный.

Тяговое плечо Тайшет – Таксимо имеет протяженность 1 482 км. Участок обслуживается локомотивами серии ВЛ80тк, 1,5ВЛ80тк, 1,5ВЛ80с, 3ЭС5К, 2ЭС5К, ВЛ80т, ВЛ80р, 2\*2ЭС5К приписки Красноярской и Восточно-Сибирской дирекций тяги.

Локомотивы после проведения ТО-2 на ПТОЛ ст. Тайшет подвзываются под поезда назначением на ст. Таксимо и далее. По ст. Таксимо указанные локомотивы от поезда и с оборота подвзываются под поезда назначением на ст. Тайшет, где им проводится ТО-2. При проведении ТО-2 на ст. Таксимо локомотивы со ст. Тайшет подвзываются без проведения ТО-2.

При подвязке электровоза с нулевым ТО-2 по ст. Тайшет под поезд назначением на ст. Усть-Илимск осуществляется подвязка указанного локомотива с оборота под поезд назначением на ст. Тайшет или Таксимо, где ему проводится очередное ТО-2.

На участках Тайшет – Багульная, Тайшет – Братск, Тайшет – Тепловая (протяженность 301 км) допускается обслуживание электровозами серии ВЛ80р, ВЛ85. По ст. Тайшет под поезда назначением на ст. Багульная, Братск, Тепловая осуществляется подвязка электровозов со временем после проведения ТО-2 не более 70 ч. и остаточным километровым пробегом не менее 900 км.

Тяговое плечо Таксимо – Хани (395 км) обслуживается тепловозами серии ЗТЭ10в/и в трехсекционном исполнении приписки ТЧЭ Новая Чара Восточно-Сибирской дирекции тяги и ТЧЭ Тында Дальневосточной дирекции тяги.

ТО-2 и экипировка выполняется на ПТОЛ ст. Таксимо и Новая Чара. Подвязка под четные грузовые поезда на ст. Таксимо тепловозов производится после проведения ТО-2 или со временем до проведения ТО-2 не менее 35 ч. Грузовые поезда, обслуживаемые тепловозами серии ЗТЭ10в/и приписки Новая Чара, проследуют ст. Хани без отцепки локомотива до ст. Юктали. Движение таких поездов осуществляется по твердым ниткам графика (в отдельных случаях по регистрируемому приказу ЦУП ВП).

### Технология работы участка Юрты – Хингуй при изменении обращения локомотивов грузового движения

Согласно принятой технологии обращения локомотивов на Восточном полигоне (Распоряжение 2014р от 3 октября 2017 г.) в научной статье рассмотрена организация эксплуатации локомотивов грузового движения на участке Юрты – Хингуй при переходе на одну серию локомотивов. Данный участок граничит с Красноярской дирекцией тяги по стыкам Тайшет, Юрты.

В состав участка Юрты – Хингуй (двухпутный электрофицированный) входит 13 станций (три станции на диспетчерской централизации). Протяженность участка составляет 271 км. Схема диспетчерского участка Юрты – Хингуй представлена на рис. 6.

Участок Юрты – Хингуй в технологии работы Восточного полигона находится внутри участков эксплуатации локомотивов: Мариинск – Карымская, Мариинск – Иркутск-Сортировочный, Мариинск – Тайшет, Красноярск-Восточный – Карымская, Тайшет – Карымская, Карымская – Уяр – Тайшет, Тайшет – Иркутск-Сортировочный. Классность и характер работы станций на участке Юрты – Хингуй

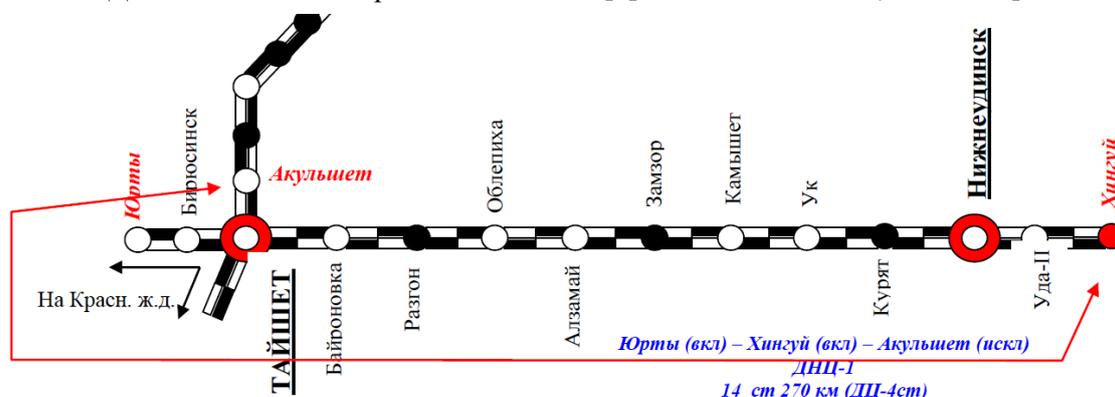


Рис. 6. Схема диспетчерского участка Тайшет – Хингуй

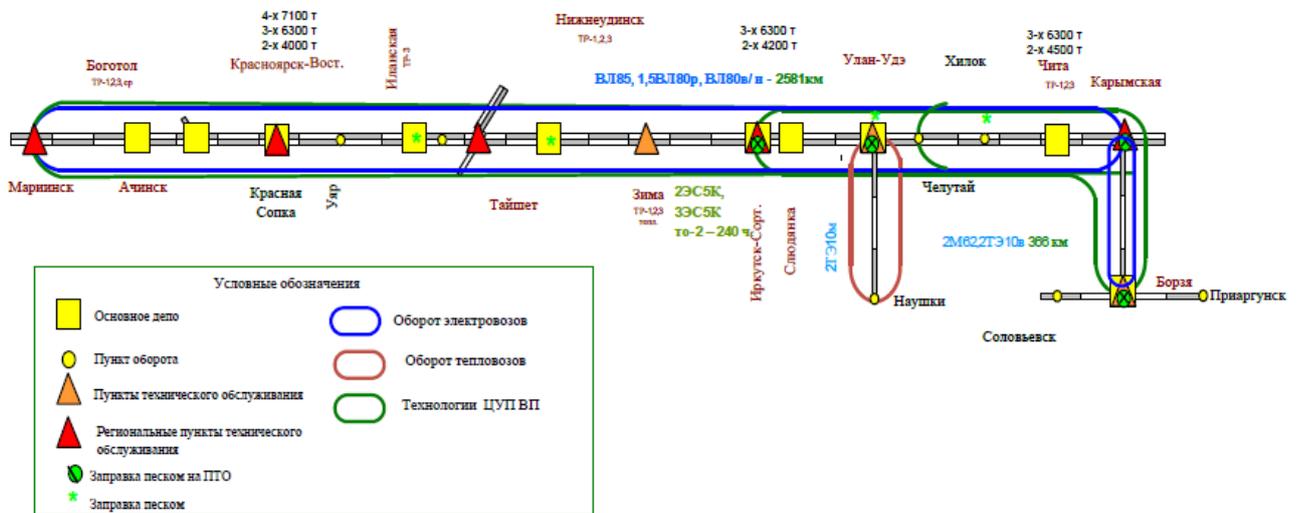
Fig. 6. Scheme of the traffic control area Taishet – Khingui

предоставлен в табл. 2.оборот локомотива на участке Юрты – Уда-2 не целесообразен по причине того, что оборот локомотива производится на участке обращения. На рис. 7 отобра-

жена схема эксплуатации локомотивов. На участке Юрты – Хингуй весовые нормы установлены в приказе дирекции тяги № ЦТ-3 от 12 января 2018 г. (табл. 3).

**Таблица 2.** Классность и характер работы станций на участке Юрты – Хингуй  
**Table 2.** Class and character of operation of stations on the Yurty – Khinguy section

Станция Station	Характер работы Nature of operation	Класс Class	Условная перерабатывающая способность Conditional processing capacity
Алзамай Alzamai	Промежуточная Intermediate	5	33
Акульшет Akul'shet	Промежуточная Intermediate	4	30
Байроновка Baironovka	Промежуточная Intermediate	5	–
Бирюсинск Biryusinsk	Промежуточная Intermediate	4	–
Замзор Zamzor	Промежуточная Intermediate	5/ДЦ	–
Камышет Kamyshet	Промежуточная Intermediate	5	–
Курят Kuryat	Промежуточная Intermediate	5/ДЦ	–
Нижнеудинск Nizhneudinsk	Участковая Conditional	1	81
Облепиха Oblepikha	Промежуточная Intermediate	5	–
Разгон Razgon	Промежуточная Intermediate	5/ДЦ	–
Уда-2 Uda-2	Промежуточная Intermediate	4	66
Ук Uk	Промежуточная Intermediate	5	–
Юрты Yurty	Промежуточная Intermediate	4	32



**Рис. 7.** Схема участка обращения локомотивов  
**Fig. 7.** Locomotive circulation area diagram

Таблица 3. Весовые нормы

Table 3. Weight norms

Участок работы Operation area	Расчетный подъем, % Calculated lifting, %	Серия локомотива Series of locomotive	Длина поезда Train length		Нормы массы поезда, т Norms of train masses, tons
			Условных вагонов Conditional wagons	Осей Wagon axles	
Юрты – Уда-2	11	1,5ВЛ80в/и; 3ЭС5К; ВЛ85	71	350	6 300
		ВЛ80в/и; 2ЭС5К	71	350	4 200
		2ВЛ80в/и; 2Х2ЭС5К; 4ЭС5К	71	350	7 500
		3ЭС5Кн/в	71	350	7 100

В условиях принятой технологии обращения локомотивов на Восточном полигоне в границах ВСЖД рассмотрена работа участка Юрты – Хингуй при замене электровозов серии ВЛ85 на одну серию локомотивов 3ЭС5К [18]. Допустимый межпоездной интервал по условию напряжения в контактной сети на участке Тайшет – Нижнеудинск для поездов весом до 7 100 т составляет 10 мин. Для данных условий были разработаны графики движения поездов повышенной массы при использовании локомотива 3ЭС5К [19].

По итогам проведенных расчетов в рамках исследования получены следующие результаты: вес в среднем каждого поезда увеличится на

1 100 т, производительность локомотива на участке Юрты – Хингуй повысится на 18 %, участковая скорость возрастет на 4,04 км/ч (8,9 %), техническая – на 0,83 км/ч (1,8 %). Результаты сравнения показателей эффективности работы локомотивов 3ЭС5К и ВЛ85 на участке Юрты – Хингуй представлены в табл. 4.

Для достижения перспективного объема перевозок и регулярного движения поездов весом 7 100 т на Восточном полигоне было осуществлено экономическое обоснование формирования парка локомотивов за счет поставок трехсекционных электровозов серии 3ЭС5К [20]. Экономический эффект от увеличения объема перевозочной работы более чем в 6 раз и сокращения текущих

Таблица 4. Сравнение показателей эффективности работы локомотивов 3ЭС5К и ВЛ85 на участке Юрты – Хингуй

Table 4. Comparison of performance indicators of 3ES5K locomotives and VL85 on the Yurty – Khingui section

Показатели Indicators	Серия локомотива 3ЭС5К Series locomotive 3ES5K	Серия локомотива ВЛ85 Series locomotive VL85
Периодичность проведения ТО-2, ч Frequency of maintenance-2, h	240	96
Критический вес поезда, т Critical weight of the train, t	7 100	6 300
Пропускная способность, поездов Throughput capacity, trains	90	90
Участковая скорость, км/ч Section speed, km/h	45,09	41,05
Техническая скорость, км/ч Technical speed, km/h	46,15	45,32
Коэффициент скорости Speed coefficient	0,97	0,90
Длина участка, км Section length, km	214	214
Мощность перевозок, т-км брутто Transportation capacity, gross t-km	106 074 000	17 928 000
Среднесуточная производительность электровоза, т-км брутто Average daily productivity of electric locomotive, t-km gross	2 357 200	1 992 000

затрат на эксплуатацию локомотивов почти в 3 раза, составит около 280 млн руб. в год, а срок окупаемости будет менее одного года.

### Заключение

В научной статье рассмотрено изменение обращения локомотивов грузового движения на Восточном полигоне при переходе на одну серию локомотивов (принцип односерийности).

Детально рассмотрена работа участка ВСЖД Юрты – Хингуй, согласно установленной технологии обращения грузовых локомотивов. На основании разработанных графиков движения поездов в различных условиях тягового обслуживания были определены основные показатели и произведено сравнение эффективности работы локомотивов 3ЭС5К и ВЛ85 на участке Юрты – Хингуй.

Применение локомотивов 3ЭС5К позволит повысить весовые нормы поездов до 7 100 т и в дальнейшем увеличить количество таких поездов, что является первостепенным в условиях ограниченных пропускных способностей [21].

Технология организации тяжеловесного движения позволяет максимально использовать пропускные и провозные способности участков дороги и снижать потребность в локомотивах, экономить на топливно-энергетических ресурсах.

При использовании принятой технологии обращения локомотивов на Восточном полигоне в условиях обновления локомотивного парка, в том числе в границах ВСЖД, есть возможность успешно реализовать цели ОАО «РЖД», направленные на увеличение перевозимых объемов за счет тяжеловесных и соединенных поездов.

### Список литературы

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19.03.2019 № 466-р (ред. 13.10.2022). Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
2. Стратегия развития Холдинга «РЖД» на период до 2030 года // Волгоградский Терком РОСПРОФЖЕЛ : сайт. URL : <https://volgograd-terkom34.ru/wp-content/uploads/2017/05/Стратегия-развития-ОАО-РЖД-до-2030-года.pdf> (Дата обращения 24.01.2024).
3. Данильчук М.А., Демьянович И.В., Герасименко К.Н. Оценка экономической эффективности инфраструктурного проекта «Восточный полигон» // Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Хабаровск, 2015. Т. 1. С. 60–66.
4. Об утверждении концепции клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок : распоряжение ОАО «РЖД» от 07.12.2016 г. № 2487р. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
5. Грузы готовы ехать. ОАО «РЖД» прогнозирует рекордные экспортные перевозки в 2022 году // Gudok.ru. 2022. № 16 (27352). Электрон. версия. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1593736&archive=2022.02.01> (Дата обращения 25.01.2024).
6. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. URL: <http://www.rzd.ru> (Дата обращения: 30.01.2024).
7. Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 30.09.2018 г. № 2101-р (ред. 24.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
8. Баженов Ю., Денежкин А. Восточный полигон РЖД как пример региональной интеграции на Дальнем востоке // Постсоветский материк. 2019. № 1 (21). С. 53–63.
9. Восточный полигон: новые возможности или старые ограничения? / М. Баженов, А. Матвеева, А. Удалова, В. Крылова // Морские вести России. 2020. № 5. 11 окт. Электрон. версия. URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1687/86211/> (Дата обращения: 25.01.2024).
10. Паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей (второй этап)»: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 28.04.2021 г. № 1100-р (ред. 04.05.2023). URL: <http://government.ru/docs/all/134155/> (Дата обращения: 25.01.2024).
11. Щербанин Ю.А. Сибирь – Дальний Восток: грузоперевозки в направлении морских портов, влияние внешних факторов. // Вопросы новой экономики. 2022. № 2 (62). С. 47–58.
12. Осьминин А.Т. Научные подходы к расчету границ полигонов управления перевозочным процессом и реализации полигонных технологий // Бюл. Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». 2017. № 2. С. 42–57.
13. Об утверждении Инструкции по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 01.09.2016 № 1799р (ред. 13.01.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
14. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К) : руководство по эксплуатации. В 2 т. Новочеркасск : Новочеркасский электровозостроительный завод, 2007.
15. Кабанцев А.А. Некоторые изменения в конструкции электровозов 2ЭС5К «ЕРМАК» // Локомотив. 2017. № 1 (721). С. 30–31.
16. Электровозы 2ЭС5К, 3ЭС5К: устранение неисправностей в электрических цепях // Локомотив. 2011. № 5 (653). С. 16–18.

17. Баранов В. А., Викулов И. П., Киселев А. А. Оценка тяговых возможностей электровозов серий ВЛ80В/и 2ЭС5К, следующих с поездами установленных весовых норм на участке Пергуба – Новый Поселок без подталкивания и кратной тяги // Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век : материалы VI междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2018. Т. 1. С. 113–120.

18. Денисенко К.П., Солтус К.П., Усвицкий С.А. Бустерная секция электровоза переменного тока 2ЭС5К // Вестн. Всерос. науч.-исслед. и проект.-констр. ин-та электровозостроения. 2006. № 3. С. 78–83.

19. Об утверждении правил тяговых расчетов для поездной работы : распоряжение ОАО «РЖД» от 12.05.16 № 867р (ред. 05.12.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

20. Персианов В.А., Курбатова А.В. Железнодорожный транспорт России: проблемные вопросы управления, развития и повышения эффективности перевозок. М. : ТрансЛит, 2020. 442 с.

21. Розенберг Е.Н., Аношкин В.В. Перспективы роста пропускной способности участка // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3 С. 4–7.

## References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 19.03.2019 № 466 (red. 13.10.2022) «Dolgosrochnaya programma razvitiya ОАО «RZHD» do 2025 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation. Federation dated March 19, 2019 No 466 (ed. October 13, 2022) «Long-term development program of JSC «Russian Railways» until 2025»].

2. Strategiya razvitiya Kholdinga «RZHD» na period do 2030 goda (Elektronnyi resurs) [Development strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2030 (Electronic resource)]. Available at: <https://volgograd-terkom34.ru/wp-content/uploads/2017/05/Стратегия-развития-ОАО-РЖД-до-2030-года.pdf> (Accessed January 24, 2024).

3. Danil'chuk M.A., Demyanovich I.V., Gerasimenko K.N. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti infrastruktornogo proekta «Vostochnyi poligon» [Assessing the economic efficiency of the Eastern Polygon infrastructure]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Povyshenie effektivnosti transportnoi sistemy regiona: problema i perspektivy»* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Improving the efficiency of the region's transport system: problems and prospects»]. Khabarovsk, 2015, vol. 1, pp. 60–66.

4. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 07.12.2016 g. № 2487r «Ob utverzhdenii kontseptsii klientoorientirovannosti kholdinga «RZHD» v oblasti gruzovykh перевозок» [Order of JSC «Russian Railways» dated December 7, 2016 no 2487r «The concept of customer orientation of the Russian Railways Holding in the field of freight transportation»].

5. Gruzy gotovy ekhat'. ОАО «RZHD» prognoziruet rekordnye eksportnye перевозки v 2022 godu (Elektronnyi resurs) [The loads are ready to go. JSC «Russian Railways» predicts record export shipments in 2022 (Electronic resource)]. Available at: <https://gudok.ru/content/freighttrans/1593862/> (Accessed January 25, 2024).

6. Rossiiskie zheleznye dorogi (Elektronnyi resurs) [Russian Railways (Electronic Resource)]: Available at: <http://www.rzd.ru> (Accessed January 30, 2024).

7. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 30.09.2018 g. № 2101-r «Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana modernizatsii i rasshireniya magistral'noi infrastruktury na period do 2024 goda» (red. 24.06.2023) [Decree of the Government of the Russian Federation no 2101-r dated September 30, 2018 «On approval of the Comprehensive Plan for Modernization and Expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024» (ed. June 24, 2023)].

8. Bazhenov Yu., Denezhkin A. Vostochnyi poligon RZHD kak primer regional'noi integratsii na Dal'nem vostoке [The Eastern polygon of Russian Railways as an example of regional integration in the Far East]. *Postsovetskii materik* [Post-Soviet continent], 2019, no. 1(21), pp. 53–63.

9. Vostochnyi poligon: novye vozmozhnosti ili starye ogranicheniya? (Elektronnyi resurs) [The Eastern polygon: new opportunities or old limitations? (Electronic resource)]. Available at: <http://www.morvesti.ru/analitika/1687/86211/> (Accessed January 25, 2024).

10. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 28.04.2021 g. no 1100-r «Pasport investitsionnogo proekta «Modernizatsiya zheleznodorozhnoi infrastruktury Baikalo-Amurskoi i Transsibirskoi zheleznodorozhnykh magistralei s razvitiem propusknykh i provoznykh sposobnostei (vtoroi etap)» (red. 04.05.2023) [Decree of the Government of the Russian Federation no 1100-r dated April 28, 2021 «Passport of the investment project «Modernization of the railway infrastructure of the Baikal-Amur and Trans-Siberian railways with the development of throughput and carrying capacity (second stage)» (ed. May 4, 2023)].

11. Sheherbanin Yu.A. Sibir' – Dal'nii Vostok: gruzoperevozki v napravlenii morskikh portov, vliyanie vneshnikh faktorov [Siberia – Far East: cargo transportation in the direction of seaports, the influence of external factors]. *Voprosy novoi ekonomiki* [Issues of the new economy], 2022, no. 2 (62), pp. 47–58.

12. Os'minin A.T. Nauchnye podkhody k raschetu granits poligonov upravleniya perevozochnym protsessom i realizatsii poligonnykh tekhnologii [Scientific approaches to the calculation of the boundaries of polygons for the management of the transportation process and the implementation of landfill technologies]. *Byulleten' Ob'edinyonnogo uchenogo soveta ОАО «RZHD»* [Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC «Russian Railways»], 2017, no. 2, pp. 42–57.

13. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 01.09.2016 no 1799r «Ob utverzhdenii Instruksii po organizatsii obrashcheniya gruzovykh poezdov povyshennoi massy i dliny na zheleznodorozhnykh putyakh obshchego pol'zovaniya ОАО «RZHD» (red. 13.01.2023) [Order of JSC «Russian Railways» dated September 1, 2016 No 1799r «On approval of the Instructions on the organization of the circulation of freight trains of increased mass and length on public Railway lines of JSC «Russian Railways» (ed. January 13, 2023)].

14. Elektrovoz magistral'nyi 2ES5K (3ES5K): Rukovodstvo po ekspluatatsii (v 2 t.) [Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K): Operation manual (in 2 vol.)]. Novocherkassk: Novocherkasskii elektrovozostroitel'nyi zavod Publ., 2007.

15. Kabantsev A.A. Nekotorye izmeneniya v konstruksii elektrovozov 2ES5K «ERMAK» [Some changes in the design of

electric locomotives 2ES5K «ERMAK»]. *Lokomotiv* [Locomotive], 2017, no. 1(721), pp. 30–31.

16. Elektrovozy 2ES5K, 3ES5K: ustranenie neispravnostei v elektricheskikh tsepyakh [Electric locomotives 2ES5K, 3ES5K: troubleshooting in electrical circuits]. *Lokomotiv* [Locomotive], 2011, no. 5(653), pp. 16–18.

17. Baranov V.A., Vikulov I.P., Kiselev A.A. Otsenka tyagovykh vozmozhnostei elektrovozov serii VL80v/i 2ES5K, sleduyushchikh s poezdami ustanovlennykh vesovykh norm na uchastke Perguba – Novyi Poselok bez podtalkivaniya i kratnoi tyagi [Evaluation of the traction capabilities of electric locomotives of the VL80v/and 2ES5K series, following with trains of established weight standards on the Perguba – New Settlement section without pushing and multiple traction]. *VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Lokomotivy. Elektricheskii transport. XXI vek»* [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference «Locomotives. Electric transport. XXI century»]. Saint Petersburg, 2018, vol. 1, pp. 113–120.

18. Denisenko K.P., Soltus K.P., Usvitskii S.A. Busternaya sektsiya elektrovoza peremennogo toka 2ES5K [Booster section of the 2ES5K AC electric locomotive]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo i projektно-konstruktorskogo instituta elektrovozostroeniya* [Bulletin of the All-Russian Research and Design Institute of Electric Locomotive Engineering], 2006, no. 3, pp. 78–83.

19. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 12.05.16 № 867r «Ob utverzhdenii pravil tyagovykh raschetov dlya poezdnoi raboty» (red. 05.12.2023) [Order of JSC «Russian Railways» dated May 12, 16 No 867r «On approval of the rules of traction calculations for train work» (ed. December 5, 2023)].

20. Persianov V.A., Kurbatova A.V. Zheleznodorozhnyi transport Rossii: problemnye voprosy upravleniya, razvitiya i povysheniya effektivnosti perevozk [Russian railway transport: problematic issues of management, development and improvement of transportation efficiency]. Moscow: TransLit Publ., 2020. 442 p.

21. Rosenberg E.N., Anoshkin V.V. Perspektivy rosta propusknoi sposobnosti uchastka [Prospects for growth of the section's throughput capacity]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2020, no. 3, pp. 4–7.

### Информация об авторах

**Чубарова Ирина Александровна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: ia7chubarova@gmail.com.

### Information about the authors

**Irina A. Chubarova**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operational Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: ia7chubarova@gmail.com.

## Перспективы развития транспортно-логистических центров на основе внедрения проекта создания грузового сервиса «ЦМ-Авто»

Н.В. Власова✉, Архит Буяннэмэх

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉natalya.vlasova.76@list.ru

### Резюме

В существующих экономических условиях функционирования Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» авторами проведен факторный анализ состояния рынка внутренних железнодорожных перевозок, импорта и экспорта легковых автотранспортных средств, рассмотрены логистика и цепи поставок в современных реалиях, новые маршруты для автомобильной продукции по следующим направлениям: сложность и перспективы транспортных коридоров; возможные риски и антикризисная стратегия; санкции vs параллельный импорт; железнодорожные перевозки легковых автотранспортных средств в контейнерах; мультимодальность и безбарьерная среда перевозок. В текущих условиях трансформации логистики новые подходы к услугам транспортировки и грузопереработки автомобильной продукции являются одним из главных трендов для успешного функционирования Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом. В рамках поставленной задачи авторами представлен проект создания грузового сервиса «ЦМ-Авто». Дана оценка значимости развития именно этого сегмента, что позволит обеспечить клиентам качественный, технологический и современный сервис с грузом «автомобили» с целью долгосрочной перспективы интеграции надежных транспортных решений и продуктов, которые будут способствовать удовлетворению потребностей заказчиков, а также достижению стратегических целей холдинга «РЖД» и государства. Проект внедрения грузового сервиса «ЦМ-Авто» авторами рассмотрен на примере организации работы транспортно-логистического комплекса железнодорожной станции Иркутск-Пассажирский Восточно-Сибирской железной дороги. Проведение SWOT-анализа применительно к проекту «ЦМ-Авто» помогло структурировать информацию о его преимуществах и недостатках, выявить потенциальные возможности и определить внешние факторы воздействия, ведущие к успешной реализации проекта.

### Ключевые слова

политика клиентоориентированного подхода, сегмент грузовых сервисов, управление терминально-складским комплексом, транспортно-логистический центр, грузовой сервис «ЦМ-Авто», мультимодальные перевозки, оптимизация логистических процессов, SWOT-анализ

### Для цитирования

Власова Н.В. Перспективы развития транспортно-логистических центров на основе внедрения проекта создания грузового сервиса «ЦМ-Авто» / Н.В. Власова, Архит Буяннэмэх // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 72–81. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).72-81.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 06.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 27.02.2024 г.; принята к публикации: 28.02.2024 г.

## Prospects for the development of transport and logistics centers based on the implementation of the project of creating «TsM-Avto» cargo service

N.V. Vlasova✉, Arkhit Buyannemekh

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉natalya.vlasova.76@list.ru

### Abstract

In the current economic conditions of the functioning of the Central Directorate for the Management of the Terminal and Warehouse Complex of JSC «Russian Railways», the authors conducted a factor analysis of the state of the market for domestic rail transportation, import and export of passenger vehicles. Logistics and supply chains in the modern realities, new routes for automotive products in the following directions are considered: the complexity and prospects of transport corridors, possible risks and anti-crisis strategy, sanctions vs parallel imports, rail transportation of passenger vehicles in containers, multimodality and barrier-free transportation environment. In the current realities of logistics transformation, new approaches to transportation and cargo handling services for automotive products are one of the main trends for the successful functioning of the Central Directorate for the Management of the Terminal and Warehouse Complex. As part of the task, the authors presented a project to create a cargo service «TsM-Auto». The assessment of the importance of the development of this segment is given, which will allow providing customers with high-quality, technological and modern service with the cargo «cars» aimed at long-term implementation of reliable transport solutions, products and services that will effectively and efficiently meet the needs of customers, as well as con-

tribute to achieving the strategic goals of the Russian Railways holding and the state. The authors considered the project of introducing the TsM-Auto cargo service on the example of organizing the work of the transport and logistics complex of the Irkutsk-Passenger railway station of the East Siberian Railway. Conducting a SWOT analysis applicable to the «TsM-Auto» project made it possible to structure information about the advantages and disadvantages of the project, as well as identify potential opportunities and external impact factors that will lead to its successful implementation.

### Keywords

customer-oriented approach policy, cargo services segment, terminal and warehouse complex management, transportation and logistics center, TsM-Auto cargo service, multimodal transportation, optimization of logistics processes, SWOT analysis

### For citation

Vlasova N.V., Buyannemekh Arkhit. Perspektivy razvitiya transportno-logisticheskikh tseftrov na osnove vnedreniya proekta sozdaniya gruzovogo servisa «TsM-Avto» [Prospects for the development of transport and logistics centers based on the implementation of the project of creating «TsM-Avto» cargo service]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 72–81. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).72-81.

### Article Info

Received: February 6, 2024; Revised: February 27, 2024; Accepted: February 28, 2024.

### Введение

По итогам работы 2023 г. доходы Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» (ЦМ ОАО «РЖД») достигли исторического максимума. Значительный прирост произошел по объемам производства погрузочно-разгрузочных работ, в том числе за счет значительного прироста количества отправок контейнерных поездов [1, 2].

Опыт работы 2023 г. показал востребованность на Восточном полигоне железных дорог услуги по перегрузке контейнеров из полувагонов в фитинговые платформы, что позволило получить дополнительный доход от оказания клиентам услуги «Последняя миля» по заводу-вывозу контейнеров. Значительный прирост доходов в 2023 г. составили услуги, оказываемые ЦМ ОАО «РЖД» клиентам по следующим категориям: очистка и промывка вагонов; полный комплекс услуг по переработке тарно-штучных грузов (ТШГ), контейнерных, тяжеловесных и насыпных грузов. Выполняется задача, поставленная в целом перед ОАО «РЖД» по развитию и расширению транспортных коридоров: Восток – плюс 5 %, экспорт – плюс 7 %. Особое внимание уделяется транспортному сообщению между Россией и Китаем [1–3].

Широкое развитие имеет перспективный проект «ЦМ-Экспедитор», направленный на минимизацию участия клиентов в процессе доставки груза. Проект включает в себя разработку эскизов, схем размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах, услугу «мастер погрузки», выдачу сертификатов VGM (данные о проверке массы груженых контейнеров), ока-

зание услуг «первой и последней мили» [2, 4].

ЦМ ОАО «РЖД» проводит активную работу в таможенно-брокерской сфере. Основная идея данного рода деятельности – предоставление комплекса услуг в логистической цепочке экспедитора и собственника груза, открытие зон таможенного контроля как временного, так и постоянного действия. В 2023 г. введены проекты по комплексным логистическим решениям для различных отраслей экономики. Для металлургических предприятий разработана и эффективно реализуется услуга «распределительный склад», которая заключается в аутсорсинге процесса реализации продукции металлургического комплекса в рамках региона обслуживания. Так, на базе грузовых терминалов организуются распределительные склады для адресного хранения грузов, маркировки продукции, формирования и отгрузки партий груза потребителям по поручению клиента. Заказчики получают услуги отпуска продукции со склада своим конечным покупателям, ведутся погрузочно-разгрузочные работы, включена услуга «последней мили», организован возврат тары [5, 6].

Целью данной статьи является рассмотрение целесообразности внедрения проектного решения, предусматривающего оказание клиенту полного комплекса услуг по перевозке легковых автотранспортных средств с использованием железнодорожного транспорта в вагонах-сетках или крупнотоннажных контейнерах в рамках расширения перечня оказываемых услуг и сервисов транспортно-логистического центра железнодорожной станции ОАО «РЖД».

### Проект создания грузового сервиса «ЦМ-Авто»

Проект флагманской услуги «ЦМ-Авто» в перспективе будет предусматривать оказание клиенту полного комплекса терминальных услуг при транспортировке легковых транспортных средств железнодорожным транспортом в вагонах-сетках или контейнерах.

Идея проекта предполагает:

- обеспечение заезда-выезда легковых автотранспортных средств из подвижного состава и контейнеров;

- хранение легковых автотранспортных средств на специально оборудованных площадках;

- внешний визуальный осмотр состояния предоставленных к перевозке легковых автотранспортных средств, их закрепление на подвижном составе;

- оформление сопроводительных документов;

- сопутствующие услуги по техническому сопровождению легковых автотранспортных средств при хранении на площадках (зарядка аккумулятора, запуск бустером, подкачка шин, заправка, мойка и другие услуги по регламенту заказчика).

Предполагается, что данные услуги будут оказываться сотрудниками территориальных комплексов ЦМ ОАО «РЖД». Техническая реа-

лизация представленного проекта возможна, поскольку инфраструктурный комплекс ЦМ ОАО «РЖД» включает свыше 30 грузовых терминалов, расположенных по всей сети железных дорог, имеющих полное техническое и технологическое оснащение для оказания терминально-складских и дополнительных услуг с автомобилями различных категорий сложности.

В текущих реалиях трансформации логистики перевозка и грузопереработка легковых автотранспортных средств будет одним из лидирующих трендов, что для ЦМ ОАО «РЖД» является значимым с целью обеспечения эффективного развития именно этого сегмента грузовых сервисов и предоставления клиентам качественных, технологических и современных услуг с грузом «автомобили» [6, 7].

Эффективность внедрения грузового сервиса «ЦМ-Авто» авторами рассмотрена на примере работы транспортно-логистического комплекса ст. Иркутск-Пассажиры Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД).

### Анализ деятельности Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом

Основной вид дохода Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом (ВС ДМ) – подсобно-вспомогательная деятельность, которая непосредственно зависит от номенклатуры гру-

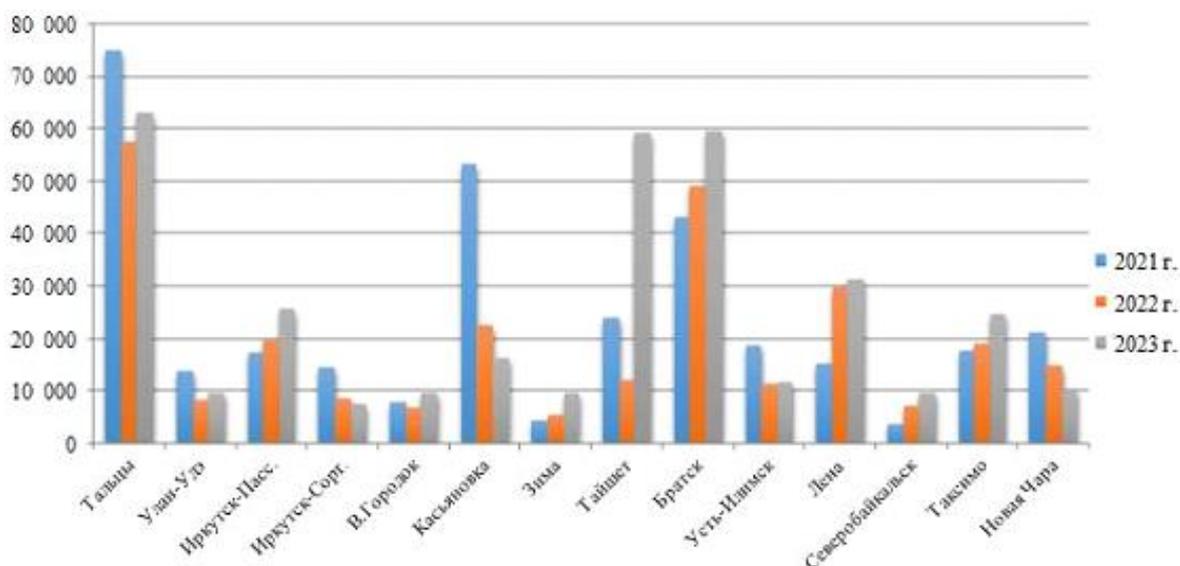


Рис. 1. Динамика доходов Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом по производственным участкам, тыс. руб.

Fig. 1. Dynamics of income of the Armed Forces of East Siberian Directorate for Terminal and Warehouse complex management by production sites, thousand rubles

за и территориального расположения производственных участков. За девять месяцев 2023 г. доход ВС ДМ с 14 производственных участков составил 382,129 млн руб. (рис. 1) [8, 9].

Видно, что величина доходов за девять месяцев 2023 г. по отношению к аналогичным периодам 2021 и 2022 гг. выросла по всем производственным участкам ВС ДМ. Лидирующую позицию по данному показателю занимает производственный участок «Тальцы». Это объясняется тем, что на данном грузовом комплексе основным видом грузопереработки выступают контейнерные перевозки, которые в настоящее время являются наиболее популярным видом сервиса. Далее по рейтингу следуют производственные участки «Братск» и «Тайшет», и на третьей позиции находится производственный участок «Лена». На данных производственных участках ВС ДМ ведется работа с достаточно широкой номенклатурой грузов: контейнеры, ТШГ, тяжеловесные, лесные, навалочные грузы. Распределение доходов и объемов переработки по номенклатуре грузов представлены на рис. 2 [8, 9].

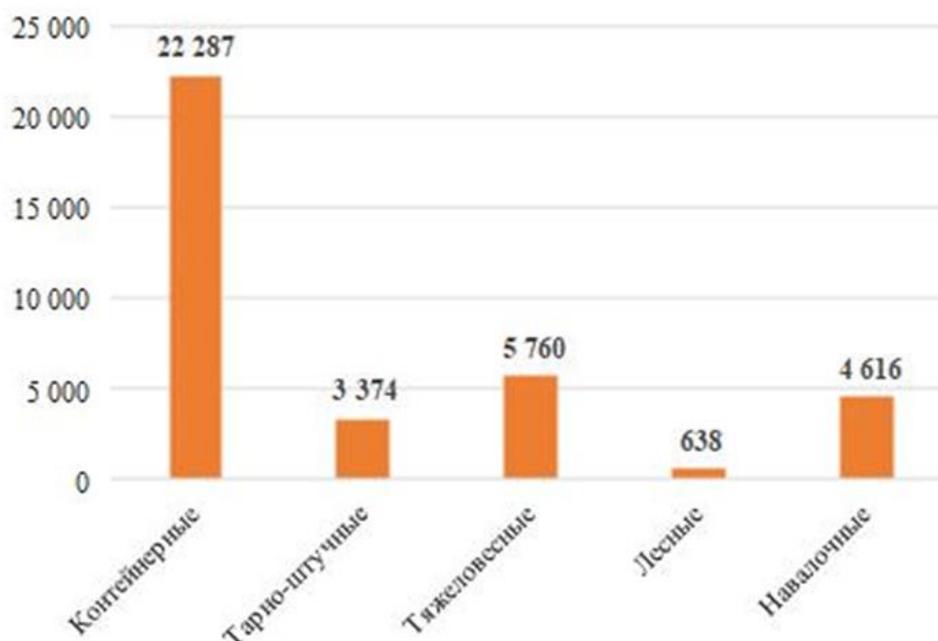
Как видно из диаграмм, наибольший доход ВС ДМ получает от переработки большегрузных контейнеров, а также навалочных грузов, при этом следует заметить, что переработ-

ка тяжеловесных грузов обходится дороже навалочных при меньших объемах грузопереработки.

Анализируемый производственный участок Иркутск-Пассажирский, в соответствии с произведенным анализом, демонстрирует стабильный рост доходности по причине взаимодействия с ООО «ПЛК» в области контейнерных перевозок и увеличения спроса на перевозки зерна в «биг-бэгах». Рост доходов за перевозки грузов в контейнерах за прошедший период стимулируют государственные реформы по переориентации российской экономики с внешнего рынка на внутренний.

На рис. 3 представлена динамика доходов производственного участка Иркутск-Пассажирский за девять месяцев 2023 г. от грузочно-разгрузочных работ по видам грузов. На рис. 4 показана динамика переработанных контейнеров за аналогичный период.

За анализируемый период в целом на производственном участке Иркутск-Пассажирский переработано 2,5 тыс. контейнеров, что в 5,5 раз больше чем за тот же период 2022 г. (448 ед.). За данный период доход ВС ДМ составил 6,3 млн руб., за аналогичный период 2022 г. – 1,02 млн руб. [8, 9].



**Рис. 2.** Динамика доходов Восточно-Сибирской дирекции по управлению терминально-складским комплексом по родам грузов, тыс. руб.

**Fig. 2.** Dynamics of income of the Armed Forces of the East Siberian Directorate for Terminal and Warehouse complex management by type of cargo, thousand rubles

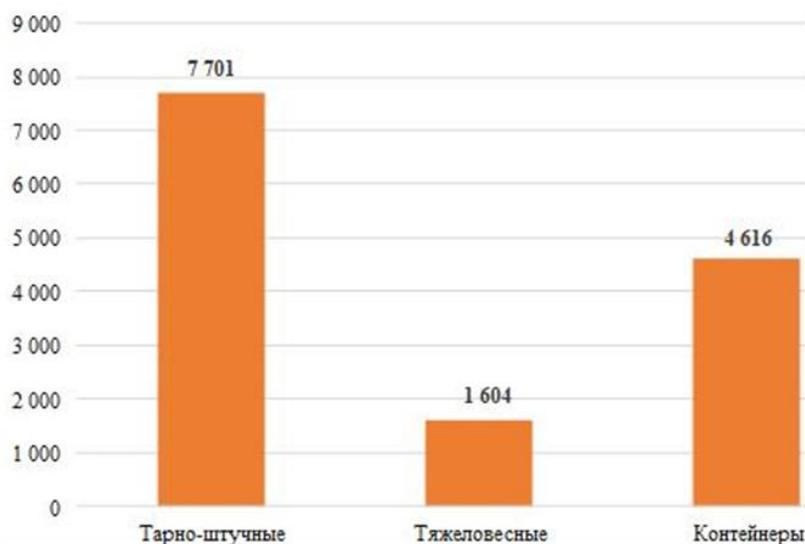


Рис. 3. Динамика доходов производственного участка Иркутск-Пассажирский по видам грузов, тыс. руб.  
Fig. 3. Revenue dynamics of the Irkutsk-Passenger production site by type of cargo, thousand rubles

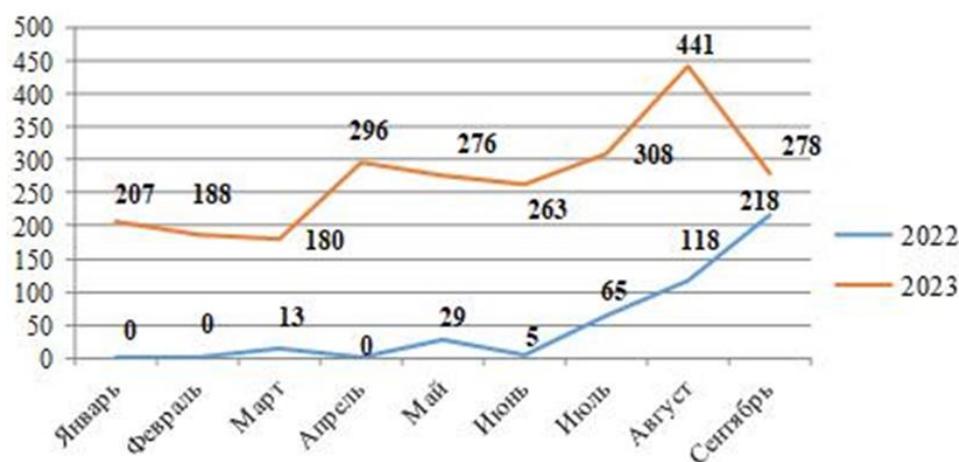


Рис. 4. Количество переработанных контейнеров, ед.  
Fig. 4. Number of recycled containers, units

### Перспективы развития транспортно-логистического центра ст. Иркутск-Пассажирский с учетом внедрения проекта «ЦМ-Авто»

Введение санкций в отношении России начиная с 2014 г. привело к значительным изменениям в экономической и политической сферах. Импорт автомобилей стал одним из секторов, подвергшихся негативному воздействию этих мер. Санкции в данном случае включают в себя запреты на импорт определенных марок и моделей автомобилей из некоторых стран, ограничение доступа к рынку определенных зарубежных производителей, а также повышение торговых пошлин на автомобили. Это закономерно привело к снижению

ассортимента и разнообразия автомобилей на рынке России [10].

Кроме того, санкции также повлияли на экономические аспекты импорта автомобилей. С ужесточением финансовых ограничений отечественные компании столкнулись с проблемой получения кредитов и финансирования для импорта автомобилей. Отсутствие доступных финансовых ресурсов сделало его менее привлекательным и в большинстве случаев невозможным.

Высокие торговые пошлины и недостаток комплектующих к некоторым маркам автомобилей также стали значительными факторами, негативно влияющими на импорт автомобилей. К тому же с августа 2023 г. вырос утилизационный сбор на большинство популярных и вос-

требуемых на российском рынке марок легковых автомобилей японского производства (Mitsubishi, Toyota, Kia). Данные меры привели к удорожанию импортных автомобилей для российских дилеров и увеличили конечные цены для потребителей, однако рост утиль-сбора не коснется цен на отечественные автомобили, наоборот, программы государственной поддержки приведут к наращиванию объемов производства отечественных автомобилей [10, 11].

В создавшихся условиях российские потребители вынуждены были обратить внимание на отечественный автопром и иномарки, импортируемые из Китая, что вызвало увеличение спроса в различных регионах страны. С учетом данной ситуации предлагается внедрение нового проекта «ЦМ-Авто» на производственных участках ВСЖД, основными целями которого являются обеспечение потребителей данным товаром в Иркутском регионе и Бурятии, увеличение размера доходности ВС ДМ от предоставления флагманской услуги, привлечение дополнительного потока клиентов, реализация политики клиентоориентированного подхода. Ввиду того, что производство отечественных автомобилей типа «Москвич» сосредоточено в Москве, в 2024 г. планируется перевозка стартовой партии автомобилей марок «Москвич» и «Geely» в размере 500 шт. в крупнотоннажных контейнерах железнодорожным транспортом назначением Москва – Иркутск-Пассажи́рский – транспортно-складской комплекс (ТСК). В сравнении с другими видами транспорта железнодорожные перевозки предлагают более низкие тарифы, что существенно снизит общую стоимость доставки автомобилей.

Задачи предлагаемого проекта «ЦМ-Авто» включают:

- разработку маршрута перевозки для обеспечения своевременной доставки автомобилей от Москвы до Иркутска и расчет сроков доставки;
- составление схемы крепления автомобилей марок «Москвич» и «Geely» в 40-футовом крупнотоннажном контейнере;
- разработку технологического процесса работы контейнерного пункта (КП) ТСК Иркутск-Пассажи́рский с данным видом груза;
- расчет экономического эффекта и рентабельности предлагаемого проекта.

Проведенный анализ показал, что перевозка легковых автотранспортных средств в

контейнерах является актуальной и востребованной практикой по ряду причин:

1. Надежность и безопасность. Доставка автомобилей в контейнерах является надежным способом транспортировки, так как этот тип подвижного состава обеспечивает надежную защиту автомобилей от повреждений, ударов и внешних воздействий, предоставляет защиту от погодных условий во время перевозки, а также снижает риски утраты грузов.

2. Экономическая эффективность. Перевозка автомобилей в контейнерах позволяет оптимизировать использование пространства в транспортных средствах и сократить затраты на перевозку. В контейнер возможно загрузить как один, так и два легковых автотранспортных средства одновременно, что позволяет снизить расходы на аренду подвижного состава и, таким образом, сделать процесс более экономически целесообразным.

3. Удобство и гибкость. Контейнерные перевозки легковых автотранспортных средств обеспечивают гибкость в планировании и координации поставок. Контейнеры могут быть легко перевозимы разными видами транспорта, включая морской, железнодорожный и автомобильный, что позволяет организовывать мультимодальные перевозки и оптимизировать логистические процессы.

Перечисленные факторы делают проект перевозок легковых автотранспортных средств в контейнерах актуальным и выгодным, а более безопасная и экономически эффективная доставка автомобилей содействует устойчивому развитию логистической отрасли [12, 13].

### **SWOT-анализ проекта «ЦМ-Авто»**

SWOT-анализ, также известный как анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, является стратегическим инструментом анализа, который используется для оценки внутренней и внешней среды организации или проекта [14].

Проведение данного вида анализа в отношении проекта «ЦМ-Авто» позволило структурировать информацию о его преимуществах и недостатках, а также выделить потенциальные возможности и внешние факторы, которые помогут его успешной реализации. Авторами разработана матрица SWOT-анализа проекта «ЦМ-Авто», которая представлена на рис. 5.



Рис. 5. Матрица SWOT-анализа проекта «ЦМ-Авто»

Fig. 5. SWOT Analysis Matrix for «TsM-Auto» project

Выявлены следующие сильные стороны проекта:

1. Экологичность и безопасность перевозок. Перевозка легковых автотранспортных средств в контейнерах с использованием железнодорожного транспорта считается наиболее экологически чистой по сравнению с другими видами транспорта. Контейнерная перевозка также позволит обеспечить более высокий уровень безопасности, что особенно важно при перевозке дорогостоящих грузов.

2. Экономическая эффективность. Перевозки железнодорожным транспортом более экономичны в случае доставок крупных объемов груза на дальние расстояния.

3. Масштабируемость. Железнодорожная инфраструктура и вагоны позволяют перевозить как небольшие, так и крупные партии грузов.

4. Развитая бонусная система. ОАО «РЖД» предоставляет множество возможностей для клиентов получить привилегии и дополнительные скидки при использовании услуг

железнодорожного транспорта.

В качестве слабых сторон проекта можно обозначить следующие:

1. Низкий уровень использования инновационных технологий. Технические и финансовые ограничения затрудняют процесс внедрения инноваций.

2. Ограниченная география сети дорог. Большая протяженность страны и разнообразная природная местность затрудняют расширение и модернизацию сети железных дорог в удаленных и малонаселенных регионах.

3. Зависимость от логистической инфраструктуры. Отсутствие или недостаточный уровень развития логистической инфраструктуры, включающей грузовые терминалы, склады, пути следования и коммуникационные системы, могут привести к задержкам и снижению общей производительности.

4. Зависимость от внешних факторов. Железнодорожная перевозка подвержена влиянию внешних факторов, таких как технические сбои и график движения поездов. Это может

привести к задержкам и несоответствию сроков доставки, следовательно, отрицательно сказаться на удовлетворенности клиентов.

Перспективы реализации проекта:

1. Рост спроса. В связи с растущим спросом на автомобили и необходимостью их транспортировки, данный проект может успешно развиваться на рынке логистических услуг.

2. Улучшение логистической инфраструктуры.

3. Внедрение инновационных проектов.

4. Интеграция с другими видами транспорта. Возможность комбинировать железнодорожную перевозку с другими видами транспорта может создать новые перспективы для проекта и повысить его конкурентоспособность.

5. Возможность выхода на внешние рынки. Развитие проекта позволит выйти на международный рынок, где есть спрос на перевозку автомобилей.

Угрозы проекта:

1. Конкуренция со стороны других видов транспорта.

2. Регулятивные ограничения. Существуют различные регулятивные ограничения и нормативы, которые могут повлиять на возможности и условия. Необходимо учитывать такие ограничения и обеспечить соблюдение всех необходимых норм и требований.

3. Изменения рыночных условий. Такие факторы, как экономическая ситуация и изменение потребительского спроса, могут оказать негативное влияние на перевозочный процесс и

востребованность проекта [15–21].

## Заключение

В рамках данного исследования авторами установлено, что оптимизация работы терминально-складского комплекса играет важную роль в повышении эффективности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта. Выявлены проблем, которые могут препятствовать внедрению инновационных технологий на данном этапе развития.

В этой связи внедрение инновационных технологий в работу ТСК может повысить конкурентоспособность ВСЖД на рынке грузовых перевозок. Современные и эффективные процессы работы позволят привлечь новых клиентов, что приведет к росту дополнительных инвестиций в развитие железнодорожной транспортной инфраструктуры.

Исследование процесса работы и состояния элементов инфраструктуры ТСК Иркутск-Пассажирский ВСЖД привело к разработке флагманского проекта создания грузового сервиса «ЦМ-Авто». Предложенный проект имеет потенциальные перспективы для успешной реализации и может стать значимым вкладом в развитие транспортного бизнеса и логистических систем региона. Посредством использования контейнеров в перевозке легковых автотранспортных средств возможно снижение времени переработки грузов, сокращение уровня рисков и повышение безопасности перевозочного процесса в целом, а также уменьшение негативного влияния на окружающую среду.

## Список литературы

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД»: сайт. URL: <http://www.rzd.ru> (Дата обращения 29.01.2024).
2. Лидерство по грузонапряженности, новейшие вагоны и перспективы логистических коридоров // Gudok.ru: сайт. URL: <https://www.gudok.ru/content/obshchestvo/vlast/1655240/> (Дата обращения 15.01.2024).
3. Власова Н.В., Оленцевич В.А. Необходимость разработки новых проектных решений по реконструкции контейнерных терминалов в современных условиях // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2022. С. 96–104.
4. Соляник А. Декларация о бесшовной логистике в Евразии // Gudok.ru: сайт. URL: <https://www.gudok.ru/content/analitika/logistika/1655213/> (Дата обращения 15.01.2024).
5. Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.09.2018 г. № 2101-р (ред. 24.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
6. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
7. Динец Д.А., Конотопов М.В. Международные транспортные коридоры: перспективы для России // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2018. Т. 2. С. 48–53.
8. Восточно-Сибирская дирекция по управлению терминально-складским комплексом // ОАО «РЖД»: сайт. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=2242#enttab-main/> (Дата обращения 20.12.2023).
9. Центральная дирекция по управлению терминально-складским комплексом (ЦМ): // ОАО «РЖД»: сайт. URL:

<https://cargo.rzd.ru/ru/10078#main-header> (дата обращения 20.12.2023).

10. Каманин Р. Доля продаж новых легковых автомобилей из Китая в России выросла до 51% за 2023 год // МКРУ : сайт. URL: <https://www.mk.ru/economics/2024/01/13/dolya-prodazh-novykh-legkovykh-avtomobiley-iz-kitaya-v-rossii-vyroslo-do-51-za-2023-god-avtostat.html> (Дата обращения 16.01.2024).

11. Китай, вероятно, стал крупнейшим мировым экспортером машин благодаря спросу в РФ // Интерфакс : сайт. URL: <https://interfax.ru/business/939469> (Дата обращения 12.01.2024).

12. Власова Н.В., Зверькова М.Е., Шнейдер Д.И. Направления совершенствования привлечения клиентов на железнодорожные перевозки // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2022. № 8 (66). С. 18–22.

13. Костыльков М.Н. Развитие российского рынка легковых автомобилей : автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., 2002. 23 с.

14. Катькало В.С., Веселова А.С., Смелцова С.В. Методические указания для подготовки курсового проекта «SWOT-анализ». М. : НИУ ВШЭ, 2021. 51 с.

15. Оленевич В.А., Асташков Н.П. Методы привлечения клиентов к услугам транспортно-логистического бизнес блока в целях увеличения конкурентоспособности холдинга ОАО «РЖД» // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 4–8.

16. Асташков Н.П., Оленевич А.А. Изменение технологии работы транспортно-технологической системы железнодорожного транспорта за счет использования нового типа подвижного состава // Наука сегодня: задачи и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Вологда, 2019. С. 16–17.

17. Поспелова П.В., Файзрахманова Е.В. Развитие и совершенствование мультимодальных грузовых перевозок транспортной компании на примере ООО «Деловые линии» // Инновационная экономика : перспективы развития и совершенствования. 2023. № 4 (70). С. 97–103.

18. Купин Ю. Перевозка автомобилей в контейнерах // Lobanov-Logist.ru : логист. портал. URL: <https://www.lobanov-logist.ru/library/355/55533/> (Дата обращения 10.01.2024).

19. Власова Н.В., Оленевич В.А. Инновационные подходы к оценке погрузочно-разгрузочных операций на местах общего пользования (на примере Восточного полигона железных дорог) // Постсоветский материк. 2022. № 3 (35). С. 65–75.

20. Организационно-экономическая модель управления инновационным потенциалом Иркутской области / В.Н. Гордеев, В.Ю. Конюхов, К.И. Новикова и др. Иркутск : ИрНИТУ, 2014. 91 с.

21. Нечаева М.Н. Альтернативные перевозки легковых автомобилей в контейнерах // Логистические системы в глобальной экономике : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 2011. С. 146–149.

## References

1. Rossiiskie zheleznye dorogi (Elektronnyi resurs) [Russian Railways (Electronic Resource)]: Available at: <http://www.rzd.ru> (Accessed January 29, 2024).

2. Liderstvo po gruzonapryazhennosti, noveishie vagony i perspektivy logisticheskikh koridorov (Elektronnyi resurs) [Leadership in load capacity, the latest wagons and prospects for logistics corridors (Electronic resource)]. Available at: <https://www.gudok.ru/content/obshchestvo/vlast/1655240/> (Accessed January 15, 2024).

3. Vlasova N.V., Olenetsevich V.A. Neobkhodimost' razrabotki novykh proektnykh reshenii po rekonstruktsii konteynernykh terminalov v sovremennykh usloviyakh [The need to develop new design solutions for the reconstruction of container terminals in modern conditions]. *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Innovatsionnye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte»* [Proceedings of the scientific and practical conference with international participation «Innovative technologies in railway transport»]. Moscow, 2022, pp. 96–104.

4. Deklaratsiya o besshovnoi logistike v Evrazii (Elektronnyi resurs) [Declaration on seamless logistics in Eurasia (Electronic resource)]. Available at: <https://www.gudok.ru/content/analitika/logistika/1655213/> (Accessed January 15, 2024).

5. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 30.09.2018 g. № 2101-r «Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana modernizatsii i rasshireniya magistral'noi infrastruktury na period do 2024 goda» (red. 24.06.2023) [Decree of the Government of the Russian Federation no 2101-r dated September 30, 2018 «On approval of the Comprehensive Plan for Modernization and Expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024» (ed. June 24, 2023)].

6. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021 « On the approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035 »].

7. Dinets D.A., Konotopov M.V. Mezhdunarodnye transportnye koridory: perspektivy dlya Rossii [International transport corridors: prospects for Russia]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2018, vol. 2, pp. 48–53.

8. Vostochno-Sibirskaya direktsiya po upravleniyu terminal'no-skladskim kompleksom (Elektronnyi resurs) [East Siberian Directorate for Terminal and Warehouse Complex Management (Electronic resource)]. Available at: <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=2242#enttab-main/> (Accessed December 20, 2023).

9. Tsentral'naya direktsiya po upravleniyu terminal'no-skladskim kompleksom (Elektronnyi resurs) (TsM) [Central Directorate for Terminal and Warehouse Complex Management (TsM) (Electronic resource)]. Available at: <https://cargo.rzd.ru/ru/10078#main-header> (Accessed December 20, 2023).

10. Dolya prodazh novykh legkovykh avtomobiley iz Kitaya v Rossii vyroslo do 51% za 2023 god (Elektronnyi resurs) [The share of sales of new passenger cars from China in Russia increased to 51% in 2023 (Electronic resource)]. Available at: <https://www.mk.ru/economics/2024/01/13/dolya-prodazh-novykh-legkovykh-avtomobiley-iz-kitaya-v-rossii-vyroslo-do-51-za->

2023-god-avtostat.html (Accessed January 16, 2024).

11. Kitai, veroyatno, stal krupneishim mirovym eksporterom mashin blagodarya spros v RF (Elektronnyi resurs) [China has probably become the world's largest exporter of cars due to demand in the Russian Federation (Electronic resource)]. Available at: <https://interfax.ru/business/939469> (Accessed January 12, 2024).

12. Vlasova N.V., Zver'kova M.E., Schneider D.I. Napravleniya sovershenstvovaniya privlecheniya klientov na zheleznodorozhnye perevozki [Directions for improving customer attraction to railway transportation]. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya* [Innovative economics: prospects for development and improvement], 2022, no. 8 (66), pp. 18–22.

13. Kostyl'kov M.N. Razvitie rossiiskogo rynka legkovykh avtomobilei [Development of the Russian passenger car market]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2002. 23 p.

14. Kat'kalo V.S., Veselova A.S., Smel'tsova S.V. Metodicheskie ukazaniya dlya podgotovki kursovogo proekta «SWOT-analiz» [Methodological guidelines for the preparation of the course project «SWOT analysis»]. Moscow: NIU VShE Publ., 2021. 51 p.

15. Olentsevich V.A., Astashkov N.P. Metody privlecheniya klientov k uslugam transportno-logisticheskogo biznes bloka v tselyakh uvelicheniya konkurentosposobnosti kholdinga OAO «RZhD» [Methods of attracting customers to the services of the transport and logistics business unit in order to increase the competitiveness of the Russian Railways holding company]. *Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference «Transport Infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2019, vol. 1, pp. 4–8.

16. Astashkov N.P., Olentsevich A.A. Izmenenie tekhnologii raboty transportno-tekhnologicheskoi sistemy zheleznodorozhnogo transporta za schet ispol'zovaniya novogo tipa podvizhnogo sostava [Changing the technology of operation of the transport and technological system of railway transport through the use of a new type of rolling stock]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka segodnya: zadachi i puti ikh resheniya»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Science today: tasks and ways to solve them»]. Vologda, 2019, pp. 16–17.

17. Pospelova P.V., Faizrahmanova E.V. Razvitie i sovershenstvovanie mul'timodal'nykh gruzovykh perevozok transportnoi kompanii na primere OOO «Delovye linii» [Development and improvement of multimodal freight transportation of a transport company on the example of LLC «Business lines»]. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya* [Innovative economics: prospects for development and improvement], 2023, no. 4 (70), pp. 97–103.

18. Perevozka avtomobilei v konteynerakh (Elektronnyi resurs) [Transportation of cars in containers (Electronic resource)]. Available at: <https://www.lobanov-logist.ru/library/355/55533/> (Accessed January 10, 2024).

19. Vlasova N.V., Olentsevich V.A. Innovatsionnye podkhody k otsenke pogruzochno-razgruzochnykh operatsii na mestakh obshchego pol'zovaniya (na primere Vostochnogo poligona zheleznykh dorog) [Innovative approaches to the assessment of loading and unloading operations in public areas (on the example of the Eastern Railway Polygon)]. *Postsovetskii materik* [Post-Soviet continent], 2022, no. 3 (35), pp. 65–75.

20. Gordeev V.N., Konyukhov V.Yu., Novikova K.I., Nagaeva A.V., Vasil'kova A.V., Shchadov I.M. Organizatsionno-ekonomicheskaya model' upravleniya innovatsionnym potentsialom Irkutskoi oblasti [Organizational and economic model of management of innovative potential of Irkutsk region]. Irkutsk: IRNITU Publ., 2014. 91 p.

21. Nechaeva M.N. Al'ternativnye perevozki legkovykh avtomobilei v konteynerakh [Alternative transportation of passenger cars in containers]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Logisticheskie sistemy v global'noi ekonomike»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Logistics systems in the global economy»]. Krasnoyarsk, 2011, pp. 146–149.

### Информация об авторах

**Власова Наталья Васильевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: natalya.vlasova.76@list.ru.

**Буяннэмэх Архит**, аспирант кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: buyan\_s@yahoo.com.

### Information about the authors

**Natal'ya V. Vlasova**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: natalya.vlasova.76@list.ru.

**Arkhit Buyannemekh**, Ph.D. Student of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: buyan\_s@yahoo.com.

## Применение линий электропередачи с резервными проводами в системах электроснабжения железных дорог

А.В. Крюков<sup>1,2</sup>, А.В. Черепанов<sup>1</sup>✉, И.А. Фесак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

✉smart\_grid@mail.ru

### Резюме

Рассмотрены две конструкции линий электропередач: с одним и тремя резервными проводами. Для сравнения выполнено моделирование питающей сети с типовой линией электропередачи. На их основе определялись серии режимов с нагрузками, создаваемыми при движении пяти грузовых поездов массой 5 000 т в четном и нечетном направлениях. Расчеты осуществлялись на основной частоте и частотах канонических высших гармоник: 3, 5, 7, ... 39. Также проведено моделирование тепловых процессов и построены временные зависимости температур нагрева проводов линий электропередач. Для анализа энергоэффективности вычислялись потери активной мощности в линии электропередачи, с целью оценки условий безопасности рассчитаны ее электромагнитные поля. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы: применение линии электропередачи с резервными проводами способствует повышению минимального напряжения на пантографах на 2,5–3%; по сравнению с типовой линией электропередачи средние значения напряжений линии с одним резервным проводом увеличиваются на 0,4–2,4%; для линии электропередачи с тремя резервными проводами эти показатели лежат в пределах 1,4–3,2%. Использование линии электропередачи с резервными проводами помогает снизить коэффициенты несимметрии по обратной последовательности для тяговой подстанции, наиболее удаленной от источника питания. Для линии электропередачи с одним резервным проводом несимметрия снижается на 5,5%, а при трех резервных проводах – на 29%. Разработанные цифровые модели могут применяться на практике при выборе средств повышения надежности электроснабжения тяговых подстанций переменного тока.

### Ключевые слова

системы электроснабжения тяговых подстанций, линии электропередачи с резервными проводами, моделирование

### Для цитирования

Крюков А.В. Применение линий электропередачи с резервными проводами в системах электроснабжения железных дорог / А.В. Крюков, А.В. Черепанов, И.А. Фесак // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 82–93. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).82-93.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 07.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 01.03.2024 г.; принята к публикации: 04.03.2024 г.

### Благодарность

Исследования выполнены в рамках государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» по теме «Разработка методов, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования режимов систем тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока»

## Application of power lines with backup wires in railway power supply systems

A.V. Kryukov<sup>1,2</sup>, A.V. Cherepanov<sup>1</sup>✉, I.A. Fesak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

✉smart\_grid@mail.ru

### Abstract

Two designs of power lines are considered: with one and three backup wires. For comparison, a simulation of the supply network with a typical power line was performed. Based on it, a series of modes were determined, with loads created when five freight trains weighing 5 000 tons were moving in even and odd directions. Calculations were performed at the fundamental frequency and the frequencies of the canonical higher harmonics: 3, 5, 7, ... 39. Thermal processes were also simulated and time dependences of heating temperatures of power line wires were constructed. To analyze energy efficiency, active power losses in power transmission lines were calculated. In order to assess the safety conditions, calculations of the electromagnetic fields of the power line were carried out. The results obtained allowed to draw the following conclusions: the use of a power line with backup wires allows to increase the minimum voltage on pantographs by 2.5–3%; as compared with a typical power line, the average voltage values of a line with one

backup wire increase by 0.4–2.4 % while for a power line with three backup wires, these indicators lie in the range of 1.4–3.2 %. The use of a power line with backup wires allows to reduce the coefficients of asymmetry in the reverse sequence for the traction substation furthest from the power source. For a power line with one backup wire, the asymmetry is reduced by 5.5 %, while for three backup wires it's 29 %. The developed digital models can be applied in practice when choosing means to increase the reliability of power supply to AC traction substations.

### Keywords

power supply systems for traction substations, power lines with backup wires, modeling

### For citation

Kryukov A.V., Cherepanov A.V., Fesak I.A. Primenenie linii elektroperedachi s rezervnymi provodami v sistemakh elektrosnabzheniya zheleznikh dorog [Application of power lines with backup wires in railway power supply systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 82–93. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).82-93.

### Article Info

Received: February 7, 2024; Revised: March 1, 2024; Accepted: March 4, 2024.

### Acknowledgement

The research was carried out within the framework of the state task «Conducting applied scientific research» on the topic «Development of methods, algorithms and software for modeling modes of traction power supply systems of direct current railways»

### Введение

Эффективность процессов перевозок грузов и пассажиров по железным дорогам невозможно обеспечить без высокого уровня надежности электроснабжения тяговых подстанций (ТП) [1]. Основной способ решения этой задачи состоит в использовании резервирования. Так, для питания ТП переменного тока применяются двухцепные линии электропередачи (ЛЭП) 110–220 кВ или две ЛЭП, расположенные на отдельных опорах, подключенные на отправном и приемном концах к опорным подстанциям электроэнергетической системы (ЭЭС).

Альтернативный способ повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей состоит в использовании ЛЭП

специальной конструкции, оборудованных резервными проводами (РП) [2–4]. Изучению таких ЛЭП посвящено значительное число работ. Например, в [5] предложено использовать в качестве РП грозозащитный трос (ГЗ). Результаты исследования ЛЭП с таким ГЗ приведены в [6–9]. Инновационная линия с резервной фазой описана в [10], ЛЭП с тремя РП рассмотрены в [11–16].

Цель представленных в статье исследований заключалась в разработке цифровых моделей для определения режимов электрических сетей, питающих ТП. Предполагалось, что часть ЛЭП оборудована РП, за счет которых обеспечивается быстрое восстановление электроснабжения при возникновении однофазных

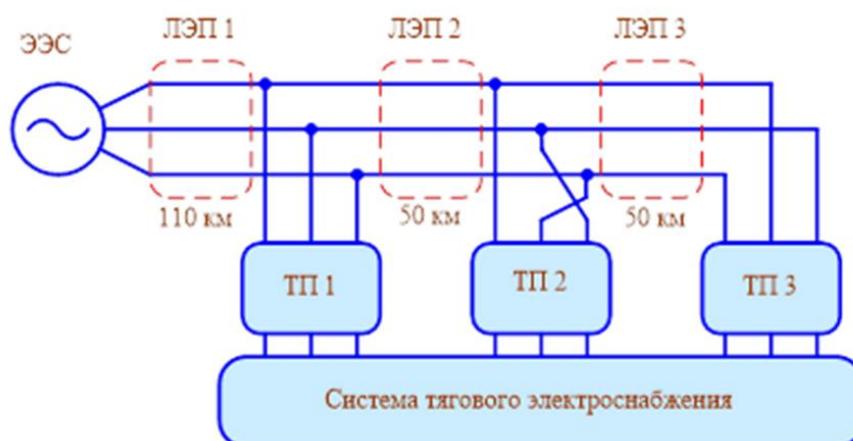


Рис. 1. Схема электрической сети, питающей тяговые подстанции

Fig. 1. Diagram of the electrical network feeding traction substations

ЭЭС – electric energy system; ЛЭП – power transmission line; ТП – traction substation

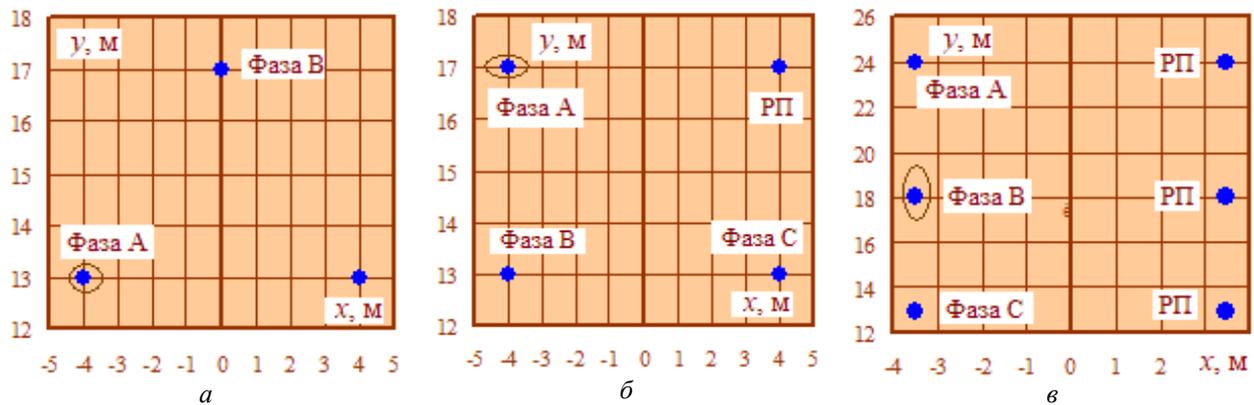


Рис. 2. Координаты токоведущих частей:

*a* – типовая линия электропередачи; *б* – линия электропередачи с одним резервным проводом;

*в* – линия электропередачи с тремя резервными проводами

Fig. 2. Coordinates of live parts:

*a* – typical power transmission line; *b* – power line with one backup wire; *c* – power line with three backup wires

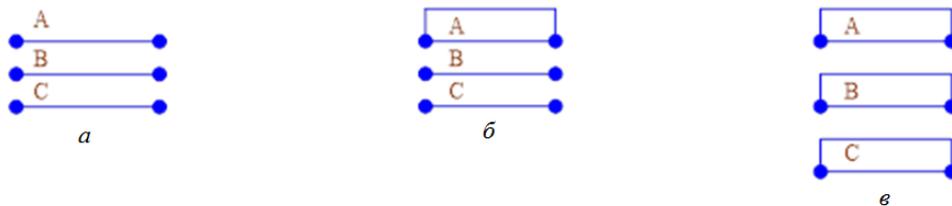


Рис. 3. Схемы соединений проводов в нормальном режиме:

*a* – типовая линия электропередачи; *б* – линия электропередачи с одним резервным проводом;

*в* – линия электропередачи с тремя резервными проводами

Fig. 3. Wire connection diagrams in normal mode:

*a* – typical power transmission line; *b* – power line with one backup wire; *c* – power line with three backup wires



Рис. 4. Схемы соединений в послеаварийном режиме при отключении провода фазы А:

*a* – линия электропередачи с одним резервным проводом; *б* – линия электропередачи с тремя резервными проводами

Fig. 4. Connection diagrams in post-emergency mode with phase A wire disconnected:

*a* – power line with one backup wire; *b* – power line with three backup wires

коротких замыканий; при этом отключенный провод поврежденной фазы автоматически заменяется на резервный. Модели были реализованы в программном комплексе Fazonord [17, 18] версии 5.3.3.0-2024.

### Результаты моделирования

Моделирование осуществлялось для электрической сети 220 кВ (рис. 1), питающей ТП железной дороги переменного тока. Пред-

полагалось, что головная ЛЭП 1 может быть реализована в трех вариантах: ЛЭП типовой конструкции (рис. 2, *a*; 3, *a*); линия с одним РП (рис. 2, *б*; 3, *б*; 4, *a*); ЛЭП с тремя РП (рис. 2, *в*; 3, *в*; 4, *б*) [11].

В нормальном режиме ЛЭП с одним РП его подключение происходит параллельно проводу рабочей фазы линии (см. рис. 3, *б*). При возникновении однофазного короткого замыкания (КЗ) поврежденная фаза отключается и

вместо нее используется РП (см. рис. 4, а), в качестве которого может выступать любая из токоведущих частей фазы с параллельными проводами [10].

Линия с тремя РП в нормальном режиме работает как ЛЭП с расщепленными на два провода фазами (см. рис. 3, в). В аварийном режиме на место поврежденной фазы включаются три РП, соединенных параллельно (см. рис. 4, б). Технология необходимых коммутаций описана в [12].

Для оценки эффективности применения ЛЭП с резервными проводами для систем электроснабжения железных дорог в программном комплексе Fazonord (версия 5.3.3.0-2024) проведено моделирование серии режимов сети (см. рис. 1) с нагрузками, создаваемыми при движении пяти грузовых поездов массой 5 000 т в четном и нечетном направлениях (рис. 5, 6).

Результаты моделирования представлены в табл. 1–4 и на рис. 7–16. На рис. 7 показаны графики, характеризующие изменения напря-

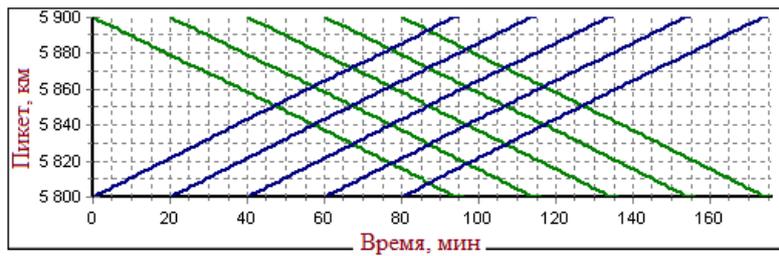


Рис. 5. График движения  
Fig. 5. Traffic schedule

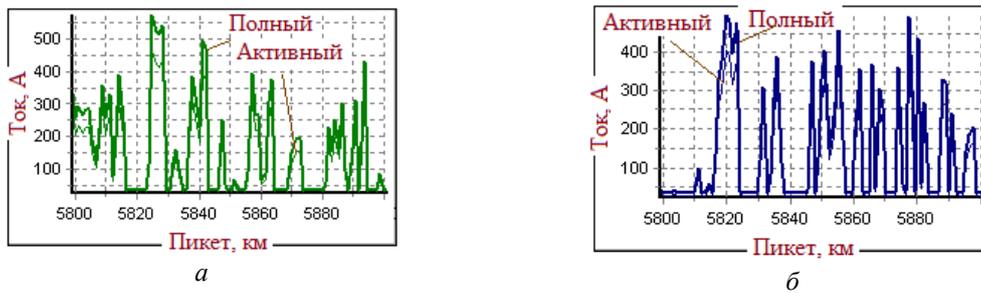


Рис. 6. Токвые профили поездов массой 5 000 т:  
а – нечетное направление; б – четное направление  
Fig. 6. Current profiles of trains weighing 5 000 tons:  
а – odd direction; б – even direction

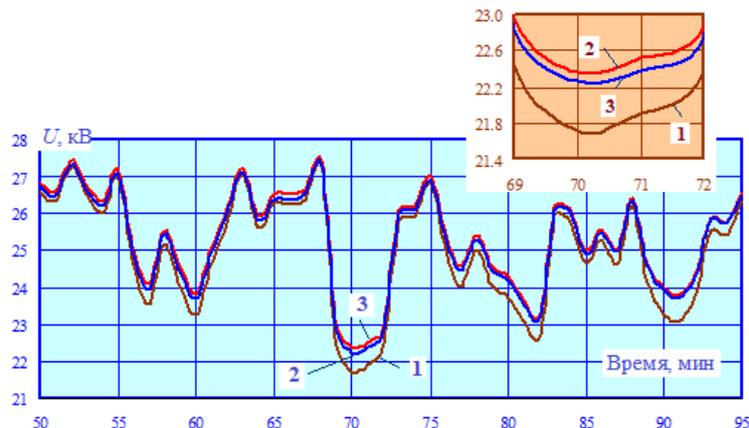


Рис. 7. Напряжения на пантографах электровозов:  
1 – типовая линия электропередачи; 2 – линия электропередачи с одним резервным проводом;  
3 – линия электропередачи с тремя резервными проводами  
Fig. 7. Voltages on pantographs of electric locomotives:  
1 – typical power line; 2 – power line with one backup wire; 3 – power line with three backup wires

жений на пантографе электровоза первого поезда. Сводные данные представлены в табл. 1. Анализ полученных результатов дает возможность сделать вывод, что применение ЛЭП с РП позволяет повысить минимальное напряжение на пантографах электровозов на 2,5–3 %.

На рис. 8 и 9 и в табл. 2 приведены результаты определения напряжений на приемном конце ЛЭП 1 для трех указанных вариантов ее исполнения. Полученные данные показывают, что по сравнению с типовой ЛЭП средние значения напряжений линии с одним РП увеличи-

Таблица 1. Сводные данные по напряжениям на пантографах

Table 1. Summary of stresses on pantographs

№	Конструктивное исполнение Design	Показатель Indicator		
		Минимум Minimum	Среднее значение Average value	Максимум Maximum
1	Типовая линия электропередачи Typical power line	21,72	25,55	27,29
2	Линия электропередачи с одним резервным проводом Power line with one backup wire	22,36	25,83	27,44
3	Линия электропередачи с тремя резервными проводами Power line with three backup wires	22,26	25,76	27,34
4	Различие между строками 1 и 2, % Difference between lines 1 and 2, %	-2,99	-1,09	-0,54
5	Различие между строками 1 и 3, % Difference between lines 1 and 3, %	-2,51	-0,83	-0,18

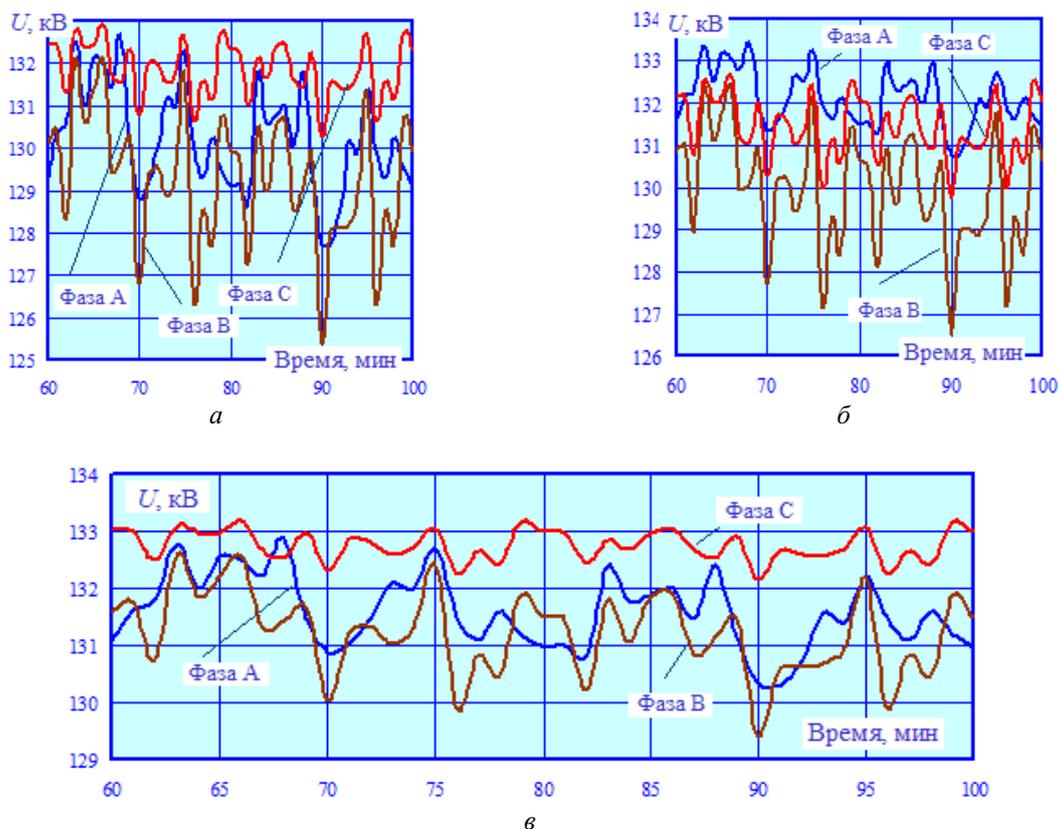


Рис. 8. Изменения напряжений на приемном конце головной линии электропередач, вызванные вариациями тяговых нагрузок:

*a* – типовая линия электропередачи; *б* – линия электропередачи с одним резервным проводом;

*в* – линия электропередачи с тремя резервными проводами

Fig. 8. Changes in voltage at the receiving end of the head power line, caused by variations in traction loads: *a* – typical power transmission line; *b* – power line with one backup wire; *c* – power line with three backup wires

ваются на 2,4 % по фазе А, на 1 % по В и 0,4 % по С. Для линии с тремя РП эти показатели равны: 2,1, 3,2 и 1,4 % соответственно. Размах колебаний  $S_c$  напряжений по фазам А и В для ЛЭП с одним РП уменьшается на 45 и 11 % соответственно, а для линии с тремя РП – на 48 и 51 %. Для фазы С наблюдается повышение этого показателя на 18 %. Для линии с тремя РП  $S_c$  по все фазам уменьшается на 48–59 %.

На рис. 10 и 11 и в табл. 3 представлены результаты определения потерь активной мощно-

сти в ЛЭП 1 для трех рассматриваемых вариантов ее исполнения. Полученные данные позволяют сделать вывод, что за счет применения резервных проводов повышается энергоэффективность транспорта электроэнергии к тяговым подстанциям: по сравнению с типовой ЛЭП потери в линии с одним РП снижаются на 30 %, а при трех резервных проводах – на 57 %.

На рис. 12 и 13 и в табл. 4 приведены результаты определения несимметрии на выводах 220 кВ тяговых подстанций.

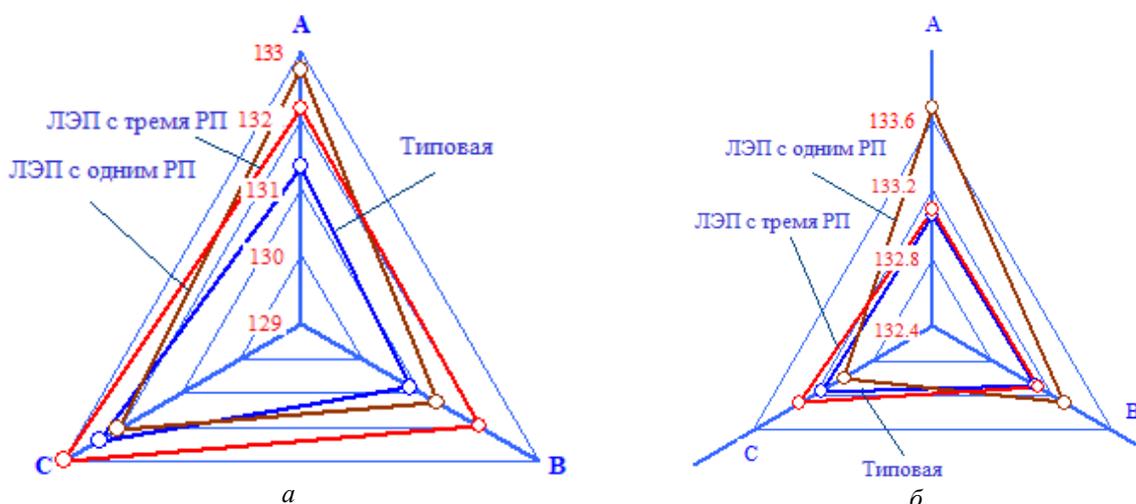


Рис. 9. Значения напряжений на приемном конце головной линии электропередачи:  
а – средние; б – максимальные

Fig. 9. Voltage values at the receiving end of the head power line:  
а – average; б – maximum

Таблица 2. Сводные данные по результатам моделирования фазных напряжений на приемном конце головной линии электропередачи, кВ

Table 2. Summary of phase voltage modeling results at the receiving end of the main power line, kV

Показатель Indicator	Конструкция линии электропередачи Power transmission line design								
	Типовая Typical			С одним резервным проводом With one backup wire			С тремя резервными проводами With three backup wires		
	Фаза Phase								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Минимум Minimum	127,73	125,45	130,30	130,80	126,56	129,76	130,30	129,42	132,14
Среднее значение Average value	131,32	130,83	132,39	132,72	131,30	132,08	132,16	131,97	132,96
Максимум Maximum	133,05	133,09	133,15	133,67	133,28	132,99	133,08	133,10	133,29
Размах Span	5,32	7,64	2,85	2,88	6,72	3,24	2,78	3,68	1,15
Среднеквадратичное отклонение RMS deviation	1,30	1,58	0,60	0,71	1,41	0,72	0,68	0,77	0,25

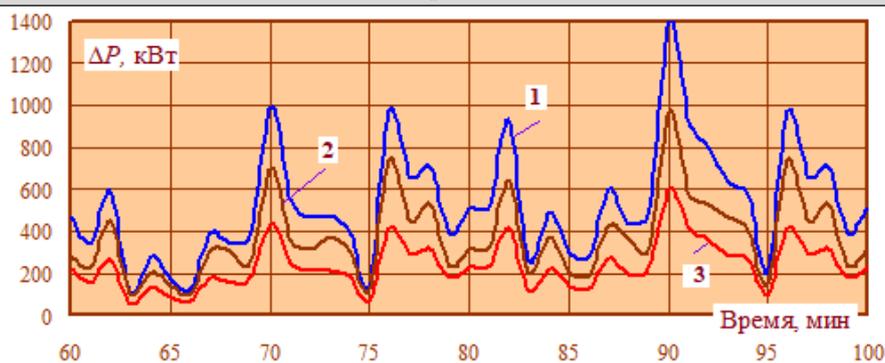


Рис. 10. Потери в головной линии электропередач

Fig. 10. Losses in the main power line



Рис. 11. Максимумы и средние значения потерь в головной линии электропередачи

Fig. 11. Maximum and average values of losses in the head power line

Таблица 3. Сводные данные по результатам потерь в головной линии электропередачи, кВт

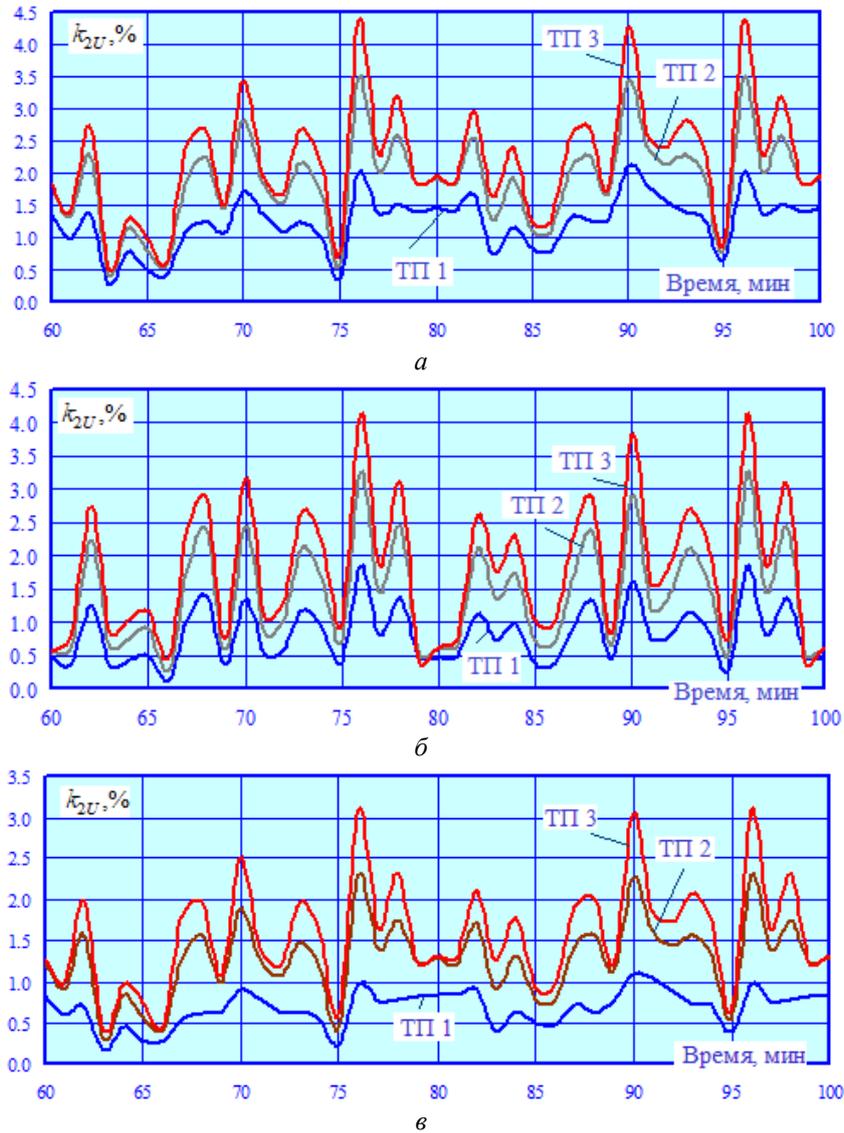
Table 3. Maximum and average values of losses in the head power line

Показатель Indicator	Конструкция линии электропередачи Transmission line design			Различие, % Difference, %	
	Типовая Typical	С одним резервным проводом With one backup wire	С тремя резервными проводами With three backup wires	Между столбцами 2 и 3 Between columns 2 and 3	Между столбцами 2 и 4 Between columns 2 and 4
1	2	3	4	5	6
Среднее значение Average value	299,10	222,06	140,43	25,76	53,05
Максимум Maximum	1 394,00	967,00	603,00	30,63	56,74

Таблица 4. Максимумы коэффициентов несимметрии на шинах 220 кВ тяговых подстанций

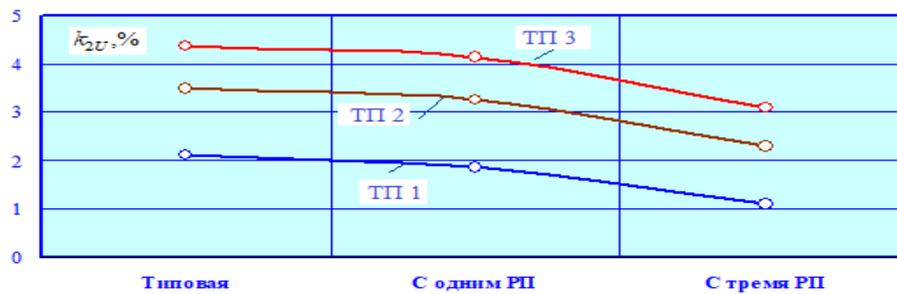
Table 4. Maximum asymmetry coefficients on busbars of 220 kV traction substations

Тяговая подстан- ция Traction substation	Конструкция линии электропередачи Transmission line design			Различие, % Difference, %	
	Типо- вая Typical	С одним резервным проводом With one backup wire	С тремя резервными проводами With three backup wires	Между столбца- ми 2 и 3 Between columns 2 and 3	Между столбца- ми 2 и 4 Between columns 2 and 4
1	2	3	4	5	6
ТП 1	2,11	1,85	1,10	12,32	47,87
ТП 2	3,48	3,26	2,29	6,32	34,20
ТП 3	4,36	4,12	3,09	5,50	29,13



**Рис. 12.** Коэффициенты несимметрии по обратной последовательности на шинах 220 кВ тяговых подстанций:  
 а – типовая линия электропередачи; б – линия электропередачи с одним резервным проводом;  
 в – линия электропередачи с тремя резервными проводами

**Fig. 12.** Negative sequence asymmetry coefficients on buses of 220 kV traction substations:  
 a – typical power transmission line; б – power line with one backup wire;  
 c – power line with three backup wires



**Рис. 13.** Максимумы коэффициентов  $k_{2U}$   
**Fig. 13.** Maximum of  $k_{2U}$  coefficients

Полученные результаты дают возможность сделать вывод, что применение ЛЭП с одним РП позволяет снизить коэффициент  $k_{2U}$  на 5,5–12 %, а при наличии трех РП – на 29–48 %.

На рис. 14 приведены результаты определения температур нагрева проводов головной ЛЭП. Из него видно, что наименьшие значения этих показателей наблюдаются для ЛЭП с тремя РП.

На рис. 15 приведены результаты моделирования условий электромагнитной безопасности на трассе головной ЛЭП 220 кВ. Из анализа представленных зависимостей можно сделать следующие выводы:

1. В точке с координатой  $z = 0$  максимум напряженности электрического поля ЛЭП с одним РП уменьшается по сравнению с линией типовой конструкции на 48 %; для ЛЭП с тремя РП этот показатель равен 7 %.

2. Максимум напряженности магнитного поля ЛЭП с одним РП повышается по сравнению с типовой линией на 50 % а для ЛЭП с тремя РП этот показатель снижается на 8 %.

3. Максимум напряженности электрического поля ЛЭП с одним РП повышается по сравнению с типовой линией на 50 % а для ЛЭП с тремя РП этот показатель снижается на 8 %.

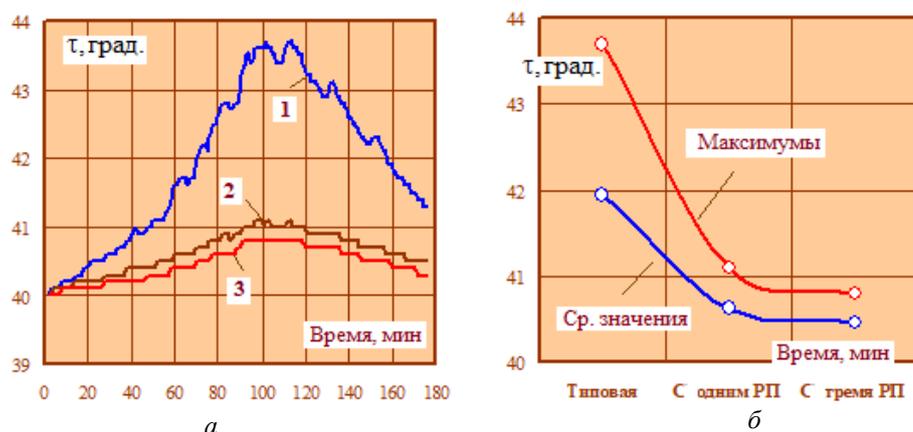


Рис. 14. Температуры нагрева проводов, выделенных на рис. 2 овалом:

$a$  – временные зависимости;  $b$  – средние значения и максимумы

(1 – типовая линия электропередачи; 2 – линия электропередачи с одним резервным проводом; 3 – линия электропередачи с тремя резервными проводами)

Fig. 14. Heating temperatures of the wires highlighted in Fig. 2 by an oval:

$a$  – time dependencies;  $b$  – average values and maximums

(1 – standard power line; 2 – power line with one backup wire; 3 – power line with three backup wires)

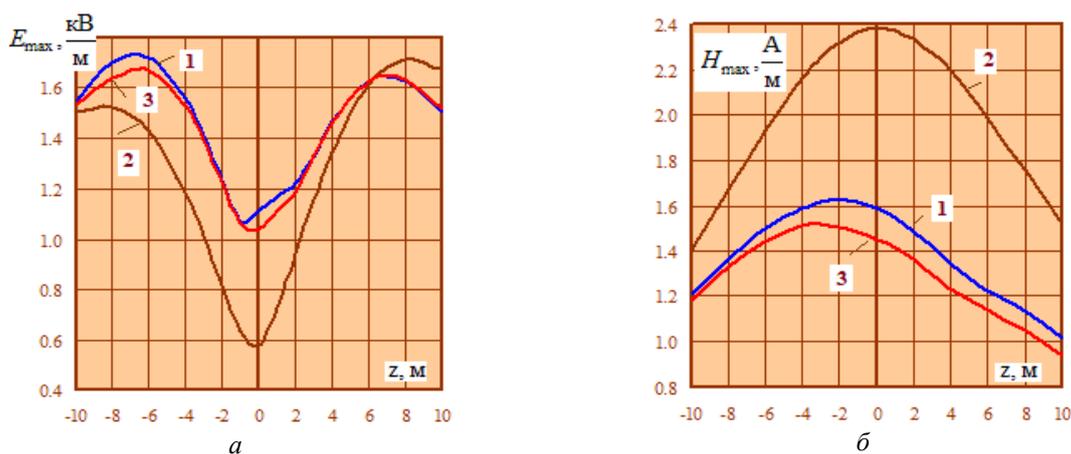


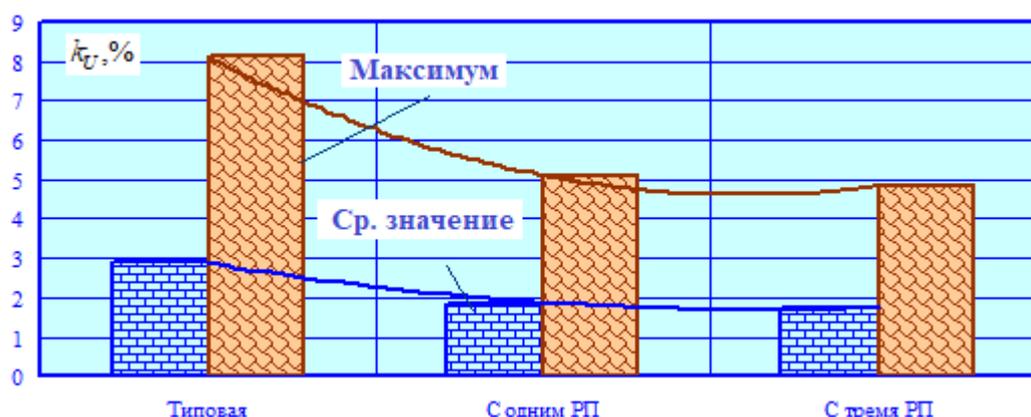
Рис. 15. Зависимости максимумов амплитуд напряженностей электрического ( $a$ ) и магнитного ( $b$ ) полей на высоте 1,8 м от координаты  $z$  оси, расположенной перпендикулярно трассе линии:

1 – типовая линия электропередачи; 2 – линия электропередачи с одним резервным проводом;

3 – линия электропередачи с тремя резервными проводами

Fig. 15. Dependences of the maximum amplitudes of the electric ( $a$ ) and magnetic ( $b$ ) field strengths at a height of 1,8 m from the  $z$ -axis coordinate located perpendicular to the line route:

1 – typical power line; 2 – power line with one backup wire; 3 – power line with three backup wires



**Рис. 16.** Максимумы и средние значения суммарных коэффициентов гармоник  
**Fig. 16.** Maximum and average values of total harmonic coefficients

На рис. 16 представлены результаты моделирования несинусоидальных режимов для фазы на приемном конце головной ЛЭП. На их основе может быть сделан вывод, что по сравнению с типовой ЛЭП средние значения суммарных коэффициентов гармоник для линии с одним РП снижаются на 35 %, а максимумы – на 40 %. Аналогичные показатели для ЛЭП с тремя РП – 37 % и 41 %.

### Заключение

Разработаны цифровые модели для определения режимов электрических сетей, питающих ТП, при наличии ЛЭП, оборудованных РП. За счет них обеспечивается быстрое восстановление электроснабжения при возникновении

однофазных коротких замыканий, при этом отключенный провод поврежденной фазы автоматически заменяется на резервный. Рассмотрены два вида таких ЛЭП: с одним и тремя РП. Для сравнения выполнено моделирование питающей сети с ЛЭП типовой конструкции.

Результаты расчетов показали, что применение резервных проводов позволяет улучшить качество электроэнергии по несимметрии и гармоническим искажениям, а также снизить потери активной мощности.

Разработанные модели могут применяться на практике при выборе средств повышения надежности электроснабжения ТП переменного тока.

### Список литературы

1. Третьяков Е.А., Денисов И.Н., Истомин С.Г. Интеллектуальная система координированного управления тяговым подвижным составом и энергетической инфраструктурой железных дорог // Актуальные теоретико-методологические и прикладные проблемы виртуальной реальности и искусственного интеллекта : материалы Междунар. науч. конф. Хабаровск, 2021. С. 64–70.
2. Бушуев В.В., Красильникова Т.Г., Самородов Г.И. Дальние электропередачи переменного тока и их сравнительный анализ // Электро. 2012. № 2. С. 2–7.
3. Зильберман С.М. Пути обеспечения режимной надежности электропередач напряжением 500 кВ и выше // Электрические станции. № 5. 2009. С. 42–45.
4. Федин В.Т. Инновационные технические решения в системах передачи электроэнергии. Минск : БНТУ, 2012. 222 с.
5. Жанаев Д.Т., Заславская Т.Б. Линии электропередач с резервной фазой. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1990. 120 с.
6. Использование грозозащитного троса в качестве резервной фазы на воздушных линиях электропередачи / Д.С. Левин, А.В. Карнаух, Д.А. Вырыханов и др. // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. 2010. Т. 4. № 3 (51). С. 76–81.
7. Левин Д.С., Угаров Г.Г. Эффективность применения резервной фазы на воздушных линиях электропередачи 110–330 кВ // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. 2012. № 4 (36). С. 168–172.
8. Левин Д.С. Режимы одноцепных воздушных линий электропередачи 110–330 кВ с использованием резервной фазы // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 13. № 1-2 (70-71). С. 93–96.
9. Левин Д.С., Вырыханов Д.А. Расчет и анализ режимов воздушных линий электропередачи с резервной фазой с учетом их пофазных различных распределенных параметров // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 2. № 2 (66). С. 86–92.
10. Красильникова Т.Г., Махмудов К.А., Новиков Н.Л. Инновационная линия СВН и ее основные показатели // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики : сб. науч. ст. Вып. 73 : Надежность систем энергетики в условиях энергетического перехода. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2022. С. 143–152.
11. Повышение эффективности эксплуатации воздушных линий электропередачи с резервной фазой / А.С. Нестеров, М.П. Лебедев, В.П. Кобылин и др. // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер.: Энергетика. 2016. Т. 16. № 4. С. 45–48.

12. Нестеров А.С., Васильев П.Ф., Кобылин В.П. Анализ и расчет пропускной способности воздушных линий электропередачи // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер.: Энергетика. 2018. Т. 18. № 1. С. 21–26.
13. Васильев П.Ф., Нестеров А.С., Кобылин В.П. Оценка надежности воздушной линии электропередачи с расщепленной резервной фазой // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 4. С. 294–298.
14. Повышение пропускной способности воздушных линий электропередачи за счет резервирования фазных проводов / А.С. Нестеров, П.Ф. Васильев, Г.И. Давыдов и др. // Actualscience. 2016. Т. 2. № 11. С. 15–17.
15. Vasil'ev P.F., Nesterov A.S., Khoiutanov A.M. Overhead Power Line with Backup Split-Phase // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934844.
16. Vasil'ev P.F., Nesterov A.S., Maleeva E.I. Increasing the Capacity of the Double-Circuit Transmission Line in Emergency Mode // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, 2019. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934821.
17. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск : ИРГУПС, 2005. 273 с.
18. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование систем тягового электроснабжения постоянного тока на основе фазных координат. М. : Директ-Медиа, 2023. 156 с.

### References

1. Tret'yakov E.A., Denisov I.N., Istomin S.G. Intellektual'naya sistema koordinirovannogo upravleniya tyagovym podvizhnym sostavom i energeticheskoi infrastrukturoi zheleznnykh dorog [Intelligent system for coordinated control of traction rolling stock and energy infrastructure of railways]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Aktual'nye teoretiko-metodologicheskie i prikladnye problemy virtual'noi real'nosti i iskusstvennogo intellekta»* [Proceedings of the International Scientific Conference «Current theoretical, methodological and applied problems of virtual reality and artificial intelligence»]. Khabarovsk, 2021, pp. 64–70.
2. Bushuev V.V., Krasil'nikova T.G., Samorodov G.I. Dal'nie elektroperedachi peremennogo toka i ikh sravnitel'nyi analiz [Long-distance AC power transmission and their comparative analysis]. *Elektro* [Electro], 2012, no. 2, pp. 2–7.
3. Zil'berman S.M. [Ways to ensure operational reliability of power transmission voltages of 500 kV and higher]. [Electric stations], 2009, no. 5, pp. 42–45.
4. Fedin V.T. Innovatsionnye tekhnicheskie resheniya v sistemakh peredachi elektroenergii [Innovative technical solutions in power transmission systems]. Minsk: BNTU Publ., 2012. 222 p.
5. Zhanaev D.T., Zaslavskaya T.B. Linii elektroperedach s rezervnoi fazoi [Power lines with a backup phase]. Saratov: Saratovskii universitet Publ., 1990. 120 p.
6. Levin D.S., Karnaukh A.V., Vyrykhanov D.A., Ugarov G.G. Ispol'zovanie grozozashchitnogo trosa v kachestve rezervnoi fazy na vozdushnykh liniyakh elektroperedachi [Using a lightning protection cable as a backup phase on overhead power lines]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Technical University], 2010, vol. 4, no. 3 (51), pp. 76–81.
7. Levin D.S., Ugarov G.G. Effektivnost' primeneniya rezervnoi fazy na vozdushnykh liniyakh elektroperedachi 110–330 kV [Efficiency of using the reserve phase on overhead power lines 110–330 kV]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences], 2012, no. 4 (36), pp. 168–172.
8. Levin D.S. Rezhimy otnosenykh vozdushnykh linii elektroperedachi 110–330 kV s ispol'zovaniem rezervnoi fazy [Modes of single-circuit overhead power lines 110–330 kV using a backup phase]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Don State Technical University], 2013, vol. 13, no. 1-2 (70-71), pp. 93–96.
9. Levin D.S., Vyrykhanov D.A. Raschet i analiz rezhimov vozdushnykh linii elektroperedachi s rezervnoi fazoi s uchedom ikh pofazno razlichnykh raspredelennykh parametrov [Calculation and analysis of modes of overhead power lines with a backup phase, taking into account their phase-by-phase different distributed parameters]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Technical University], 2012, vol. 2, no. 2 (66), pp. 86–92.
10. Krasil'nikova T.G., Makhmudov K.A., Novikov N.L. Innovatsionnaya liniya SVN i ee osnovnye pokazateli [Innovative HVV line and its main indicators]. Materialy 94-go zasedaniya Mezhdunarodnogo nauchnogo seminar «Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki» [Proceedings of the 94th meeting of the International Scientific Seminar «Methodological issues in studying the reliability of large energy systems»]. Irkutsk, 2022, pp. 143–152.
11. Nesterov A.S., Lebedev M.P., Kobylin V.P., Vasil'ev P.F., Davydov G.I., Khoiutanov A.M. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii vozdushnykh linii elektroperedachi s rezervnoi fazoi [Increasing the efficiency of operation of overhead power lines with a backup phase]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy], 2016, vol. 16, no. 4, pp. 45–48.
12. Nesterov A.S., Vasil'ev P.F., Kobylin V.P. Analiz i raschet propusknoi sposobnosti vozdushnykh linii elektroperedachi [Analysis and calculation of the capacity of overhead power lines]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy], 2018, vol. 18, no. 1, pp. 21–26.
13. Vasil'ev P.F., Nesterov A.S., Kobylin V.P. [Assessing the reliability of an overhead power transmission line with a split backup phase]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Reliability and safety of energy], 2018, vol. 11, no. 4, pp. 294–298.
14. Nesterov A.S., Vasil'ev P.F., Davydov G.I., Khoiutanov A.M. Povyshenie propusknoi sposobnosti vozdushnykh linii elektroperedachi za schet rezervirovaniya faznykh provodov [Increasing the capacity of overhead power lines by reserving phase wires]. *Actualscience*, 2016, vol. 2, no. 11, pp. 15–17.

15. Vasil'ev P.F., Nesterov A.S., Khoiutanov A.M. Overhead Power Line with Backup Split-Phase. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934844

16. Vasil'ev P.F., Nesterov A.S., Maleeva E.I. Increasing the Capacity of the Double-Circuit Transmission Line in Emergency Mode. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, 2019. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934821.

17. Zakaryukin, V.P., Kryukov A.V. Slozhnonessimmetrichnye rezhimy elektricheskikh sistem [Complicated asymmetrical modes of electrical systems]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2005. 273 p.

18. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modelirovanie sistem tyagovogo elektrosnabzheniya postoyannogo toka na osnove faznykh koordinat [Modeling of DC traction power supply systems based on phase coordinates]. Moscow: Direkt-Media Publ., 2023. 156 p.

### Информация об авторах

**Крюков Андрей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения; профессор кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск; e-mail: and\_kryukov@mail.ru.

**Черепанов Александр Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: smart\_grid@mail.ru.

**Фесак Илья Анатольевич**, аспирант кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: fesakilya@yandex.ru.

### Information about the authors

**Andrei V. Kryukov**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University; Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk; e-mail: and\_kryukov@mail.ru.

**Alexandr V. Cherepanov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: smart\_grid@mail.ru.

**Ilya A. Fesak**, Ph.D. Student of the Department of Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: fesakilya@yandex.ru.

## Повышение эффективности иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар подвижного состава

А.Г. Отока✉, О.В. Холодилов

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

✉otokaa@mail.ru

### Резюме

Статья посвящена усовершенствованию технологии ультразвукового иммерсионного контроля цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар грузовых и пассажирских вагонов. В работе проведен сравнительный анализ иммерсионных пьезоэлектрических преобразователей различных производителей на способность выявлять внутренние дефекты в области обода цельнокатаного колеса колесной пары подвижного состава, прилегающей к поверхности ввода ультразвука. Оценка чувствительности иммерсионных преобразователей проводилась по альтернативным эталонным отражателям в настроечном образце в виде цилиндрических отражателей диаметром 5 мм в сечении В–В, Г–Г, Д–Д. В статье представлены дефектограммы выявления эталонных отражателей в настроечном образце с использованием иммерсионных преобразователей П211-2,5-20 и П211-5,0-0-16. Предложен подход разделения обода колеса на несколько зон при ультразвуковом контроле по варианту методов DR2.1, DR2.2 и переход преобразователей от частоты 2,5 МГц на 5,0 в целях уменьшения «мертвой зоны», в которой могут залегать скрытые дефекты. Эксперимент показал, что применение преобразователей с частотой 5 МГц по варианту обозначенных методов при выявлении отражателя в сечении В–В предпочтительнее, поэтому использование П211-5,0-0-16 в целом позволит повысить качество иммерсионного ультразвукового контроля при ремонте колесных пар грузовых и пассажирских вагонов. Однако следует понимать, что плохое качество материалов, применяемых при производстве пьезоэлектрических преобразователей, недостатки, допущенные при их изготовлении, а также появление ложных сигналов в зоне контроля основного сечения обода колеса, мешающих идентификации полезных сигналов, ведет к целесообразности перехода на более низкую частоту – 2,5 МГц.

### Ключевые слова

ультразвуковой контроль, иммерсионный ввод ультразвука, пьезоэлектрический преобразователь, цельнокатаное колесо, колесная пара, мертвая зона

### Для цитирования

Отока А.Г. Повышение эффективности иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар подвижного состава / А.Г. Отока, О.В. Холодилов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 94–102. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).94-102.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 29.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 12.03.2024 г.; принята к публикации: 14.03.2024 г.

## Improving the efficiency of immersion ultrasonic testing of the rims of solid-rolled wheels during scheduled wheel set repairs of rolling stock

A.G. Otoka✉, O.V. Kholodilov

Belarusian State University of Transport, Gomel, the Republic of Belarus

✉otokaa@mail.ru

### Abstract

The article is devoted to the improvement of the technology of ultrasonic immersion testing of solid-rolled wheels during scheduled repairs of wheel sets of freight and passenger wagons. The article presents a comparative analysis of immersion piezoelectric transducers from various manufacturers for their ability to detect internal defects in the area of the rim of a solid-rolled wheel adjacent to the surface of the ultrasound input. The sensitivity of immersion transducers was evaluated using alternative reference reflectors in a tuning sample in the form of cylindrical reflectors with a diameter of 5 mm in cross section B–B, G–G, D–D. The paper presents flaw detection diagrams of reference reflectors in a tuning sample using P211-2.5-20 and P211-5.0-0-16. An approach is proposed to divide the wheel rim into several zones during ultrasonic testing according to the variant of the DR2.1 and DR2.2 methods and the transition of converters from a frequency of 2.5 to 5.0 MHz in order to reduce the «dead zone», in which hidden defects may potentially lie. The experiment showed that the use of converters with a frequency of 5 MHz according to the variant of the DR2.1 and DR2.2 methods when detecting a reflector in the B–B section is preferable. Therefore, the use of P211-5.0-0-16 in general will improve the quality of immersion ultrasonic inspection during the repair of wheelsets of freight and pas-

senger wagons. However, it should be noted that poor quality of materials used in the production of piezoelectric transducers, shortcomings in their manufacture as well as the appearance of false signals in the wheel rim control area, when using a 5,0 MHz piezoelectric converters makes it advisable to switch to a lower frequency of 2,5 MHz.

### Keywords

ultrasonic testing, immersion ultrasound input, piezoelectric transducer, solid-rolled wheel, wheelset, dead zone

### For citation

Otoka A.G., Kholodilov O.V. Povysheniye effektivnosti immersionnogo ul'trazvukovogo kontrolya obod'ev tsel'nokatanykh koles pri planovykh vidakh remonta kolesnykh par podvizhnogo sostava [Improving the efficiency of immersion ultrasonic testing of the rims of solid-rolled wheels during scheduled wheel set repairs of rolling stock]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 94–102. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).94-102.

### Article info

Received: February 29, 2024; Revised: March 12, 2024; Accepted: March 14, 2024.

### Введение

При проведении текущего, среднего и капитального ремонта колесных пар выполняют механизированный ультразвуковой контроль (УЗК) колес на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом (методом отраженного излучения) с внутренней боковой поверхности обода.

Основные виды дефектов колес, выявляемых при УЗК, продольные трещины, закаты, плены, расслоения и неметаллические включения в ободе колеса, поперечные трещины на поверхности катания обода колеса, трещины гребня колеса (дефекты номер 511, 513, 517 в соответствии с [1]).

Для контактного ввода ультразвука (УЗ) с внутренней грани колеса применяются углы ввода на  $0^\circ$  (вариант метода DR2.1, DR2.2),  $40^\circ$  (DR3.1),  $50^\circ$  (DR3.3) частотой 2,5 МГц [2].

На Белорусской железной дороге хорошо зарекомендовал себя иммерсионный ввод УЗ, реализуемый на автоматизированном стенде УЗ-дефектоскопии колесных пар СУДКП (СДВК) с использованием иммерсионного преобразователя П211-2,5-20 [3–8]. Угол падения луча таких пре-

образователей устанавливается по горизонтали и вертикали при помощи специального шаблона таким образом, чтобы угол ввода в сталь соответствовал аналогичным углам ввода при контактом способе [4].

В России иммерсионный ввод УЗ хорошо зарекомендовал себя в системе автоматизированного УЗК свободных осей колесных пар при изготовлении и капитальном ремонте САУЗК «Ось-4». (НПП «Промприбор») [9].

Применение иммерсионного способа связано с меньшим изменением чувствительности контроля из-за нестабильности контакта через поверхность материала при контроле контактным способом. При этом обеспечивается высокая скорость сканирования и производительность контроля. Также при иммерсионном вводе УЗ исключается механический износ пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) из-за отсутствия трения между ним и поверхностью контролируемого изделия [10–13].

Целью настоящей работы является усовершенствование технологии иммерсионного УЗК ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар.

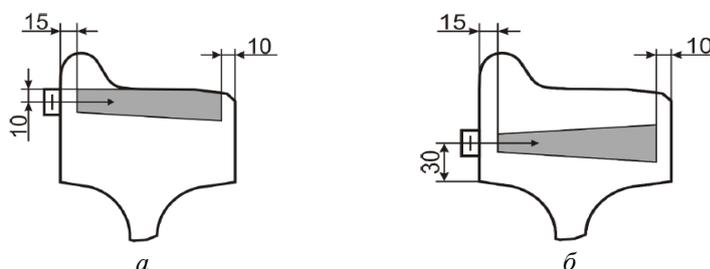


Рис. 1. Схема ультразвукового контроля обода колеса с углом ввода  $0^\circ$ :  
 а – вариант метода DR2.1; б – вариант метода DR2.2

Fig. 1. Wheel rim ultrasonic testing scheme with an input angle of  $0^\circ$ :  
 a – is a variant of the DR2.1 method; b – is a variant of the DR2.2 method

Задачи, которые авторы поставили перед собой, заключались в следующем:

1. Проведение сравнительной оценки чувствительности иммерсионных УЗ ПЭП различных по исполнению и частоте на предмет выявления альтернативных отражателей по варианту методов DR2.1 и DR2.2 с использованием угла ввода в сталь  $0^\circ$  (рис. 1).

2. Изучение возможности исключения пропуска дефектов в «мертвой зоне» (неконтролируемые зоны, прилегающие к поверхности объекта контроля [14]) в сечении В–В путем деления ширины обода колеса на несколько зон контроля.

На практике установлено, что при использовании прямых преобразователей П111-2,5 и П211-2,5 при проверке браковочной чувствительности УЗК по альтернативным эталонным отражателям в сечении В–В (рис. 2) по варианту методов DR2.1 и DR2.2 зачастую сигнал от цилиндрического бокового искусственного отражателя (ЦБО) в виде отверстия диаметром 5 мм в настроечном образце (НО) трудно различить на фоне слияния с зондирующим (для контактного) и с отраженным импульсами от внутренней грани обода колеса (для иммерсионного) [15].

### Технические средства и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо было провести регистрацию эхо-сигналов от цилиндрических отражателей диаметром 5 мм в настроечном образце (сформированная колесная пара с отражателями в ободке цельнокатаного колеса) и сравнить полученные

результаты. Особое внимание при УЗК уделялось выявлению отражателя, располагающегося в гребне колеса (сечение В–В). Использование цилиндрического отверстия в качестве отражателя является очень удобным на практике и наиболее простым для настройки параметров УЗК [16, 17].

В работе использовались УЗ-дефектоскоп УД2-102ВД «Пеленг» в составе стенда СУДКП, в качестве ПЭП П211-2,5-20 (угол ввода  $\alpha = 0^\circ$ , частота  $f = 2,5$  МГц) и П211-5,0-0-16 (угол ввода  $\alpha = 0^\circ$ , частота  $f = 5,0$  МГц).

Рассмотрим иммерсионный ввод УЗ в сталь по варианту методов DR2.1 и DR2.2 преобразователями с  $f = 2,5–5,0$  МГц различных производителей, отличающихся по исполнению.

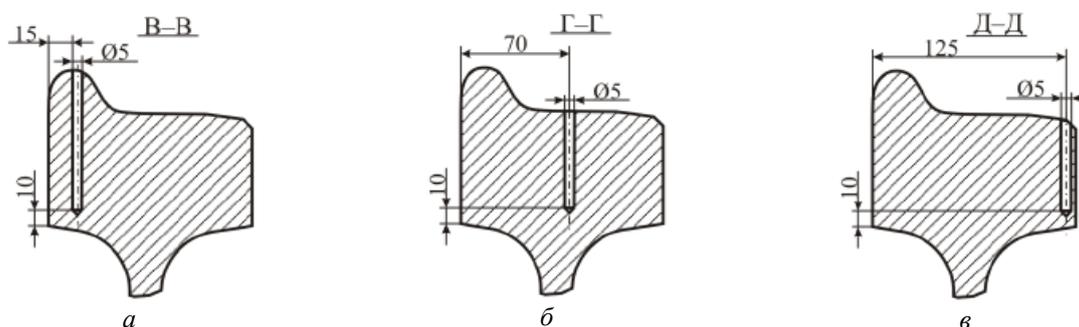
Учитывая конкуренцию между фирмами-изготовителями ПЭП, авторы сознательно не приводят их названия в статье.

Каждый ПЭП (рис. 3) устанавливался на расстоянии 50 мм от внутреннего торца обода при помощи измерительной линейки, юстировка проводилась с помощью настроечного шаблона ШН-1 [18].

Чувствительность контроля в работе определялась способностью нахождения отражателей на определенной глубине при заданной настройке дефектоскопа и меньших значениях его общего усиления, а также наличием или отсутствием мешающих эхо-сигналов, в массиве которых может находиться полезный сигнал.

### Результаты исследований и их обсуждение

В ходе эксперимента было установлено, что чувствительность П211-2,5-20 с пластиковым корпусом низкая к выявлению эталонного

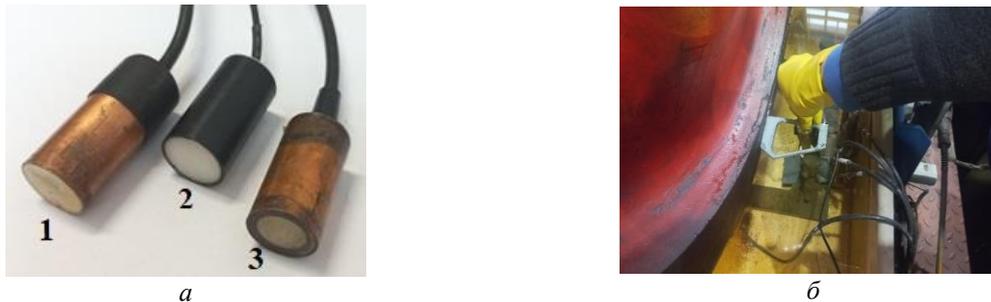


**Рис. 2.** Альтернативные цилиндрические боковые отражатели диаметром 5 мм в настроечном образце с различной глубиной от поверхности ввода ультразвука: *a* – 17,5 мм; *b* – 70 мм; *c* – 125 мм

**Fig. 2.** Alternative cylindrical side reflectors with a diameter of 5 mm in the tuning sample with different depths of the ultrasound input from the surface *a* – 17,5 мм; *b* – 70 мм; *c* – 125 мм

отражателя в сечении В–В (рис. 4). Сигнал от отверстия диаметром 5 мм на расстоянии 17,5 мм лежит в «мертвой зоне» и практически сливается с отраженным сигналом от внутренней грани обода колеса. При этом все остальные отражатели НО в сечении Г–Г и Д–Д выявляются при общем высоком усилении дефектоскопа, что приводит к появлению шумов в зоне контроля.

На рис. 5 показано, что чувствительность П211-2,5-20 с медным корпусом значительно выше по сравнению с П211-2,5-20 из пластика к выявлению эталонных отражателей в сечении В–В, Г–Г, Д–Д (общее усиление дефектоскопа меньше  $\approx$  в 2,1 раза). Однако сигнал от отверстия диаметром 5 мм на расстоянии 17,5 мм все также близко располагается к отраженному сигналу от внутренней грани обода колеса и на

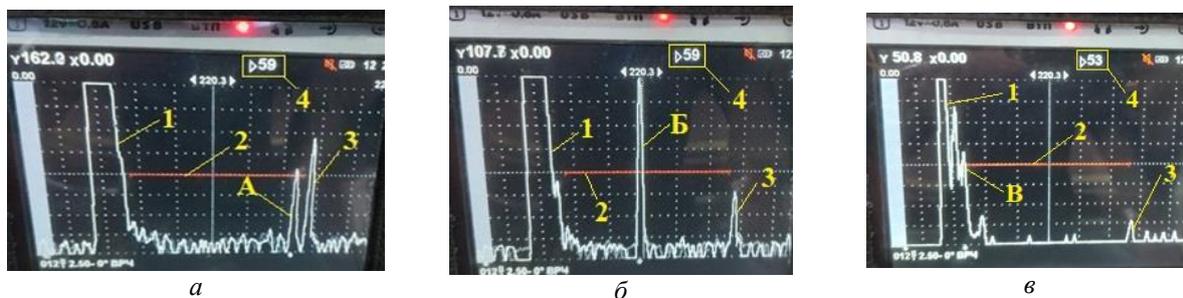


**Рис. 3.** Общий вид пьезоэлектрических преобразователей и технологии выставления угла ввода ультразвука в сталь при выявлении отражателей настроечного образца в виде цельнокатаного колеса колесной пары:

*a* – пьезоэлектрические преобразователи различные по частоте и исполнению (1 – П211-2,5-20, корпус из медного сплава; 2 – П211-2,5-20, корпус из пластмассы; 3 – П211-5,0-0-16, корпус из медного сплава); *б* – выставление угла ориентации пьезоэлектрических преобразователей при помощи настроечного шаблона ШН-1

**Fig. 3.** General view of the piezoelectric converters and technology for setting the angle of insertion of the ultrasonic into steel when detecting reflectors of tuning sample in the form of a solid-rolled wheel of a wheelset:

*a* – piezoelectric converters are different in frequency and design (1 – P211-2,5-20, copper alloy housing; 2 – P211-2,5-20, plastic housing; 3 – P211-5,0-0-16, copper alloy housing); *b* – setting the orientation angle of the piezoelectric converters using the tuning template SHN-1



**Рис. 4.** Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в настроечном образце П211-2,5-20 (диаметр 22 мм, длина 38 мм, материал корпуса – пластмасса):

*a* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *б* – на расстоянии 70 мм; *в* – на расстоянии 17,5 мм (1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; А – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); Б – сигнал от отверстия (сечение Г–Г); В – сигнал от отверстия (сечение В–В))

**Fig. 4.** Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in the tuning sample P211-2,5-20 (diameter 22 mm, length 38 mm, box material – plastic)

*a* – a hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *b* – at a distance of 70 mm; *c* – at a distance of 17,5 mm (1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – a zone of temporary selection; 3 – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the general gain of the flaw detector; А – the signal from the hole (section D–D); В – the signal from the hole (section G–G); С – the signal from the hole (section C–C))

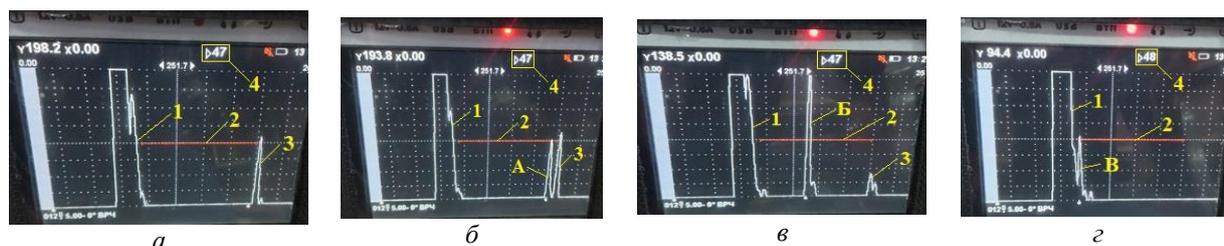
практике идентифицировать полезный сигнал все же проблематично в условиях автоматизированного контроля.

В соответствии с [19] допускается применять для контроля обода колеса методом DR2.1, DR2.2 прямые ПЭП с частотой 5,0 МГц.

Рассмотрим, как изменится в целом чувствительность контроля обода колеса при использовании П211-5,0-0-16. В работе чувствительность контроля определялась способностью нахождения отражателей на определенной глубине при заданной настройке дефектоскопа

и меньших значениях его общего усиления, а также наличием или отсутствием мешающих эхо-сигналов, в массиве которых может находиться полезный сигнал.

Видно (рис. 6), что чувствительность П211-5,0-0-16 высокая в случае выявления отражателей в сечении В–В, Г–Г, Д–Д. Общее усиление дефектоскопа выше  $\approx$  в 1,7 раза, чем у аналогичного ПЭП с медным корпусом частотой 2,5 МГц и ниже  $\approx$  в 1,3 раза в сравнении с ПЭП, корпус которого выполнен из пластмасы. При этом на экране дефектоскопа отсут-

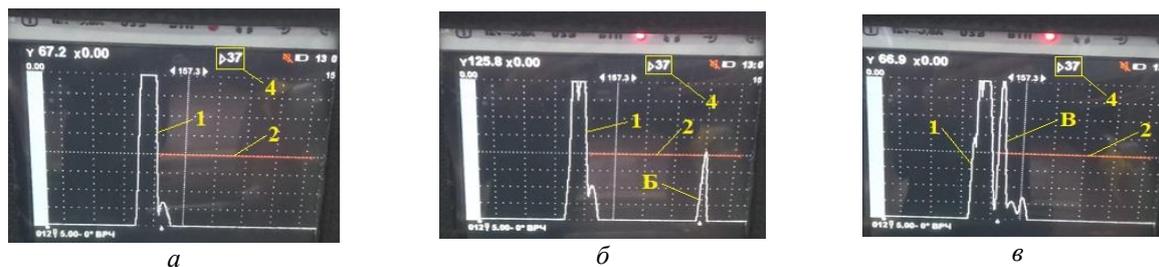


**Рис. 6.** Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в настроечном образце П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

- a* – бездефектная зона; *б* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *в* – на расстоянии 70 мм; *z* – на расстоянии 17,5 мм (*1* – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; *2* – зона временной селекции; *3* – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); *4* – общее усиление дефектоскопа; *A* – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); *B* – сигнал от отверстия (сечение В–В))

**Fig. 6.** Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in the tuning sample P211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper):

- a* – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *c* – at a distance of 70 mm; *d* – at a distance of 17,5 mm (*1* – a signal reflected from the near side surface of the rim; *2* – the zone of temporary selection; *3* – the signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); *4* – the general gain of the flaw detector; *A* – the signal from the hole (section D–D); *B* – the signal from the hole (section G–G); *C* – the signal from the hole (section C–C))



**Рис. 7.** Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в сечении настроечного образца Г–Г и Д–Д (зона № 1 – от 15 до 80 мм) П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

- a* – бездефектная зона; *б* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 70 мм; *в* – на расстоянии 17,5 мм (*1* – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; *2* – зона временной селекции; *3* – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); *4* – общее усиление дефектоскопа; *B* – сигнал от отверстия (сечение Г–Г); *B* – сигнал от отверстия (сечение В–В))

**Fig. 7.** Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in section of the tuning sample G–G and D–D (zone No 1 – from 15 to 80 mm) P211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper)

- a* – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 70 mm; *c* – at a distance of 17,5 mm (*1* – a signal reflected from the near side surface of the rim; *2* – a zone of temporary selection; *3* – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); *4* – the total gain of the flaw detector; *B* – the signal from the hole (section G–G); *B* – signal from the hole (section B–B))

ствуют ложные сигналы в виде помех и фиксируется постоянный донный сигнал от внешней стороны обода колеса в отличие от П211-2,5-20 из медного и пластикового корпусов.

Сигнал от отверстия в сечении В–В НО уверенный, но все также остается трудноотделимым от отраженного сигнала внутренней грани обода колеса. Связано это прежде всего с длительностью развертки дефектоскопа, которую невозможно расширить исходя из зоны контроля колеса (ширины обода) в 130 мм.

Поэтому на практике, в целях недопущения пропуска дефектов, в прилегающей части отраженного сигнала от внутренней грани обода колеса целесообразно разделять УЗК на две зоны: зона № 1 – от 15 до 80 мм (браковочный уровень по сечению Г–Г), зона № 2 – от 60 до 130 мм (браковочный уровень по сечению Д–Д). При этом выявление эталонного отражателя в сечении Г–Г будет дублироваться в двух зонах, что, в свою очередь, повышает подтверждаемость дефектов, развивающихся на расстоянии 70 мм от внутренней грани обода колеса.

Результаты такого варианта разделения зон обода колеса при контроле с использованием П211-5,0-0-16 приведены на рис. 7.

С учетом настройки браковочной чувствительности по отражателю в сечении Г–Г, что видно по общему усилению дефектоскопа, а также увеличению длительности развертки на рис. 7 отчетливо видно сигнал от отверстия в

сечении В–В.

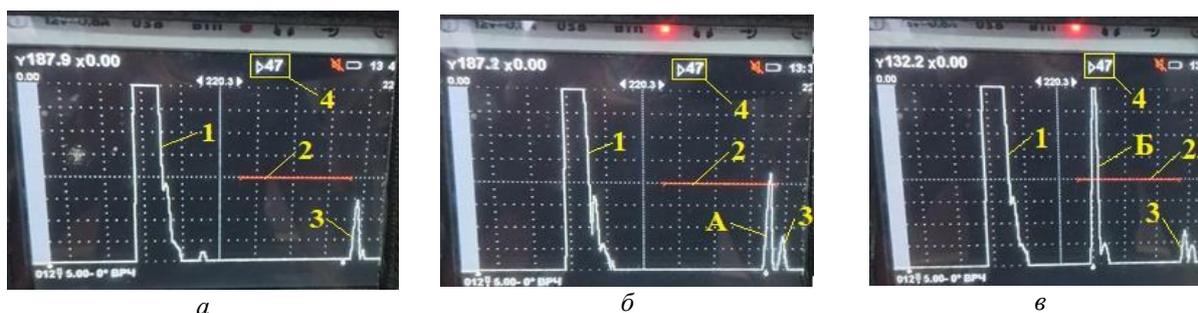
По рис. 8 понятно, что с учетом настройки браковочной чувствительности по отражателю в сечении Д–Д общее усиление дефектоскопа выросло на 10 дБ.

### Заключение

Сравнение исследуемых ПЭП показало, что их чувствительность зависит от материала и характеристик пьезоэлемента (в частности, электрической добротности, управлять которой можно на стадии изготовления за счет изменения конструктивных особенностей ПЭП). Установлено, что по значениям общего усиления дефектоскопа ПЭП П211-2,5-20 (корпус из пластмассы) значительно уступает (в 2,1 раза) в сравнении с П211-2,5-20 (корпус из медного сплава).

Выявление эталонного отражателя в сечении Д–Д НО при использовании ПЭП П211-2,5-20 (корпус из пластмассы) происходит при общем усилении дефектоскопа 59 дБ, в то время как с использованием П211-2,5-20 (корпус из медного сплава) – 28 дБ.

Переход преобразователей по варианту методов DR2.1 и DR2.2 с частоты 2,5 на 5,0 МГц способствует уменьшению «мертвой зоны». При этом чувствительность контроля при выявлении отражателей в сечениях Г–Г и Д–Д остается высокой без появления в зоне контроля ложных сигналов и шумов.



**Рис. 8.** Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в сечении настроечного образца Г–Г и Д–Д (зона № 2 – от 60 до 130 мм) П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

*a* – бездефектная зона; *b* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *c* – на расстоянии 70 мм

(1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; А – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); Б – сигнал от отверстия (сечение Г–Г))

**Fig. 8.** Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in section of the tuning sample Г–Г and Д–Д (zone No 2 – from 60 to 130 mm) P 211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper):

*a* – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *c* – at a distance of 70 mm

(1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – a zone of temporary selection; 3 – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the total gain of the flaw detector) A – the signal from the hole (section Д–Д); B – signal from the hole (section Г–Г))

Предложенный нами подход разделения обода колеса на две зоны контроля оправдывает себя на практике и способствует уверенному выявлению дефектов, лежащих в «мертвой зоне» колеса на расстоянии от внутренней грани обода колеса 15 мм и выше.

В случае появления ложных сигналов в зоне № 2 (от 60 до 130 мм) при использовании

ПЭП с частотой 5,0 МГц целесообразнее переходить на более низкую частоту – 2,5 МГц.

Проведенные исследования показали, что использование ПЭП частотой П211-5,0-0-16 по варианту методов DR2.1 и DR2.2 предпочтительнее и в целом приводит к повышению качества УЗК колесных пар вагонов и, как следствие, повышает безопасность движения поездов.

### Список литературы

1. РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар вагонов с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм) : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств - участников Содружества от 19–20 окт. 2017 г. № 67. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
2. ТИ НК В.21-1.2019. Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Ультразвуковой метод. М. : НИИ мостов, 2019. 179 с.
3. Отока А.Г., Холодилов О.В. Влияние температуры контактной среды на иммерсионный ультразвуковой контроль колесных пар вагонов при ремонте // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 24–33.
4. 1803.829-00.00.003 ТИ. Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю ободьев цельнокатаных колес дефектоскопом УД2-102 «Пеленг» на стенде СДВК 1803.829-00.00.000 : утв. распоряжением Белорус. железн. дороги от 20.12.2018 № 1094НЗ.
5. Пат. 6017 Респ. Беларусь. Стенд для ультразвуковых испытаний колесных пар рельсового подвижного состава / А.В. Дубина, И.С. Бычек, И.С. Комаровский. № а 20000607 ; заявл. 26.06.2000 ; опубл. 30.03.2004.
6. Дубина А.В., Чаевский В.П. Контроль вагонных колес с иммерсионным вводом ультразвука // Вагоны и вагонное хозяйство. 2023. № 1. С. 29–30.
7. Бычек И.С., Дубина А.В. Контроль колес на стенде с иммерсионным вводом ультразвука // Вагоны и вагонное хозяйство. 2010. № 2. С. 35.
8. Отока А.Г. Опыт использования стендов ультразвуковой дефектоскопии СУДКП (СДВК) на Белорусской железной дороге // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 12 (141) : сетев. изд. URL : <https://web.snauka.ru/issues/2022/12/99310> (Дата обращения 28.02.2024).
9. Слязин А.М., Кривоногова А.С. Автоматизированный ультразвуковой контроль железнодорожных осей // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Екатеринбург, 2019. С. 139–145.
10. Неразрушающий контроль : справочник. Т. 3. Ультразвуковой контроль. М. : Машиностроение, 2004. 864 с.
11. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М. : Машиностроение, 1981. 240 с.
12. Пасси Г.С. Сравнение способов оценки акустического контакта // Дефектоскопия. 1988. №4. С. 71–78.
13. Базулин Е.Г., Рухайло Н.В. Определение профиля поверхности объекта контроля при автоматизированном неразрушающем ультразвуковом контроле в иммерсионном режиме и восстановление изображений дефектов методом SAFT // Дефектоскопия. 2012. № 8. С. 16–29.
14. СТО ФПК 1.11.001-2011. Система неразрушающего контроля в ОАО «ФПК». Элементы колесных пар пассажирских вагонов колеи 1520 мм. Требования к ультразвуковому контролю : утв. распоряжением ОАО «ФПК» от 20.07.2011 № 613р.
15. Отока А.Г., Логунов В.Г., Холодилов О.В. Чувствительность контактного и иммерсионного способов ультразвукового контроля при выявлении эталонных отражателей в настроенном образце // Неразрушающий контроль и диагностика. 2023. № 1. С. 30–36.
16. Киреев А.Н., Витренко В.А. Применение функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 6. С. 377–382.
17. Могильнер Л.Ю. Применение цилиндрического отражателя для настройки чувствительности при ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. 2018. № 7. С. 27–36.
18. МА БЧ 47.135-2016. Стенд для ультразвуковой дефектоскопии ободьев и дисков колесных пар вагонов. Методика аттестации : утв. приказом Белорусской железной дороги от 04.10.2016 № 896НЗ.
19. ПР НК В.2. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 19–20 нояб. 2013 г. № 59. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.

### References

1. RD VNIIZhT 27.05.01-2017. Rukovodyashchii dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par vagonov s buksovymi uzlamy gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 (1524 mm): utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv - uchastnikov Sodruzhestva (Protokol ot 19–20 oktyabrya 2017 g. N 67. V red., utv. na 78-m zasedanii Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva) [RD VNIIZHT 27.05.01-2017. Guidance document on the repair and maintenance of wheel sets of wagons with axle boxes of freight wagons of mainline

railways of gauge 1520 (1524 mm): approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States (Protocol No 67 dated October 19–20, 2017. As amended, approved at the 78th meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States)].

2. TI NK V.21-1.2019. Tekhnologicheskaya instruktsiya po nerazrushayushchemu kontrolyu detalei i sostavnykh chastei kole-snykh par vagonov pri remonte. Ul'trazvukovoi metod [TI NK V.21-1.2019. Technological instructions for non-destructive testing of parts and components of wheel sets of wagons during repair. Ultrasonic method]. Moscow: NII mostov Publ., 2019. 179 p.

3. Otoka A.G., Kholodilov O.V. Vliyanie temperatury kontaktnoi sredy na immersionnyi ul'trazvukovoi kontrol' kolesnykh par vagonov pri remonte [Influence of the temperature of the contact medium on the immersion ultrasonic control of wheel pairs of wagons during repair]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Trans-Siberian Railway], 2023, no. 3 (55), pp. 24–33.

4. 1803.829-00.00.003 TI. Tekhnologicheskaya instruktsiya po ul'trazvukovomu kontrolyu obod'ev tsel'notkatanykh koles defektoskopom UD2-102 «Peleng» na stende SDVK 1803.829-00.00.000: utv. rasporyazheniem Belorusskoi zheleznoi dorogi ot 20.12.2018 № 1094NZ [1803.829-00.00.003 TI. Technological instructions for ultrasonic inspection of the rims of solid-rolled wheels flaw-pom UD2-102 «Bearing» at the SDVK stand 1803.829-00.00.000: approved by the order of the Belarusian Railway dated December 20, 2018 no 1094NZ].

5. Dubina A.V., Bychek I.S., Komarovskii I.S. Patent BY 6017 C1, 30.03.2004.

6. Dubina A.V., Chaevskii V.P. Kontrol' vagonnykh koles s immersionnym vvodom ul'trazvuka [Control of wagon wheels with immersion insertion of ultrasound]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo* [Wagons and wagon facilities], 2023, no. 1, pp. 29–30.

7. Bychek I.S., Dubina A.V. Kontrol' koles na stende s immersionnym vvodom ul'trazvuka [Wheel control on a stand with immersion ultrasound input]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo* [Wagons and wagon facilities], 2010, no. 2, pp. 35.

8. Otoka A.G. Opyt ispol'zovaniya stendov ul'trazvukovoi defektoskopii SUDKP (SDVK) na Belorusskoi zheleznoi doroge [The experience of using ultrasonic flaw detection stands of the SDKP (SDVK) on the Belarusian railway]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovations], 2022, no. 12 (141). Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2022/12/99310> (Accessed February 28, 2024).

9. Slyazin A.M., Krivonogova A.S. Avtomatizirovannyi ul'trazvukovoi kontrol' zheleznodorozhnykh osei [Automated ultrasonic control of railway axles]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Tekhnicheskoe regulirovanie v edinom ekonomicheskom prostranstve»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and practical conference with international participation «Technical regulation in the single economic space»]. Ekaterinburg, 2019, pp. 139–145.

10. Nerazrushayushchii kontrol': spravochnik v 8 t. T. 3. Ul'trazvukovoi kontrol' [Non-destructive testing: handbook in 8 volumes. Vol. 3. Ultrasonic control]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p.

11. Ermolov I.N. Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya [Theory and practice of ultrasonic control]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 240 p.

12. Passi G.S. Sravnenie sposobov otsenki akusticheskogo kontakta [Comparison of acoustic contact assessment methods]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 1988, no. 4, pp. 71–78.

13. Bazulin E.G., Rukhailo N.V. Opredelenie profilya poverkhnosti ob'ekta kontrolya pri avtomatizirovannom nerazrushayushchem ul'trazvukovom kontrole v immersionnom rezhime i vosstanovlenie izobrazhenii defektov metodom SAFT [Determination of the surface profile of the object of control during automated non-destructive ultrasonic inspection in immersion mode and restoration of defect images by the SAFT method]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 2012, no. 8, pp. 16–29.

14. STO FPK 1.11.001-2011. Sistema nerazrushayushchego kontrolya v OAO «FPK». Elementy kolesnykh par passazhir-skiikh vagonov kolei 1520 mm. Trebovaniya k ul'trazvukovomu kontrolyu: utv. rasporyazheniem OAO «FPK» ot 20.07.2011 № 613r [STO FPC 1.11.001-2011. The nondestructive testing system at JSC «FPC». Elements of wheel sets of passenger wagons of 1520 mm gauge. Requirements for ultrasound control: approved by the order of JSC «FPC» dated July 20, 2011 no 613r].

15. Otoka A.G., Logunov V.G., Kholodilov O.V. Chuvstvitel'nost' kontaktnogo i immersionnogo sposobov ul'trazvukovogo kontrolya pri vyyavlenii etalonnykh otrazhatelei v nastroechnom obratse [Sensitivity of contact and immersion methods of ultrasonic testing when detecting reference reflectors in a tuning sample]. *Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika* [Non-destructive testing and diagnostics], 2023, no. 1, pp. 30–36.

16. Kireev A.N., Vitrenko V.A. Primenenie funktsii vremennoi regulirovki chuvstvitel'nosti pri nastroiike uslovnoi chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo kontrolya detalei podvizhnogo sostava zheleznykh dorog ekho-impul'snym metodom [Application of the function of temporary sensitivity adjustment when setting the conditional sensitivity of ultrasonic inspection of railway rolling stock parts by the echo pulse method]. *Vestnik VNIIZhT* [Bulletin of the All-Russian Scientific and Research Institute of Railway transport], 2017, vol. 76, no. 6, pp. 377–382.

17. Mogil'ner L.Yu. Primenenie tsilindricheskogo otrazhatelya dlya nastroiike chuvstvitel'nosti pri ul'trazvukovom kontrole [The use of a cylindrical reflector for sensitivity adjustment during ultrasonic testing]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 2018, no. 7, pp. 27–36.

18. MA BCh 47.135-2016. Stend dlya ul'trazvukovoi defektoskopii obod'ev i diskov kolesnykh par vagonov. Metodika at-testatsii: utv. prikazom Belorusskoi zheleznoi dorogi ot 04.10.2016 No 896NZ (MA BCH 47.135-2016. A stand for ultrasonic flaw detection of rims and discs of wheel pairs of wagons. Certification methodology: approved by the order of the Belarusian Railway dated October 4, 2016 no 896NZ).

19. PR NK V.2. Pravila nerazrushayushchego kontrolya detalei i sostavnykh chastei kolesnykh par vagonov pri remonte. Spetsial'nye trebovaniya (utverzhdeny Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 19–20 noyabrya 2013 g. №59. S izm., utv. na 77-m zasedanii Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva) [PR NK V.2. Rules of non-destructive testing of parts and assemblies of wheel sets of wagons during repair. Special requirements (approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States, Protocol no 59 dated November 19–20, 2013. With amendments approved at the 77th meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States)].

**Информация об авторах**

*Отока Александр Генрикович*, аспирант кафедры вагонов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: otokaa@mail.ru.

*Холодильов Олег Викторович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вагонов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: olhol@tut.by.

**Information about the authors**

*Alexander G. Otoka*, Ph.D. Student of the Department of Wagons, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: otokaa@mail.ru.

*Oleg V. Kholodilov*, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Wagons, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: olhol@tut.by.

## Современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы России

В.А. Оленцевич<sup>1</sup>✉, В.В. Горшков<sup>2</sup>, В.С. Брытков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Центр управления перевозками на Восточном полигоне – структурное подразделение Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД»

✉olencevich\_va@mail.ru

### Резюме

Использование логистического центра в качестве промежуточного звена в цепи поставок – на сегодняшний день одна из основных тенденций на международном транспортном рынке. Практика взаимоотношений между видами транспорта, особенно морского и железнодорожного в сфере функционирования Восточного полигона железных дорог, показывает комплекс нерешенных проблем, которые в большей мере отражаются в организационном и технологическом секторах. Фундаментом, позволяющим обеспечить эффективное и бесперебойное взаимодействие данных видов транспорта, является: соблюдение графика подвода железнодорожного подвижного состава к транспортным комплексам в соответствии с возможностями погрузочно-выгрузочных устройств морских портов Дальнего Востока; совместное утверждение режима подвода морского подвижного состава по времени прибытия вагонов и контейнеров для конкретного судна в зону порта назначения; наличие технических и технологических резервов у терминально-складских комплексов, расположенных в морских портах, гарантирующих накопление прибывшей в их адрес грузовой базы в объеме судовой партии. Решение обозначенных вопросов в значительной степени актуально для развития международных отношений. Указанные факторы позволяют сделать вывод, что сегодня Россия стоит перед необходимостью скорейшего развития транспортной инфраструктуры, что в конечном счете позволит: снизить издержки на перевозку грузов и стоимость конечного продукта; использовать в полной мере транзитный потенциал; объединить всех участников перевозочного процесса и регулировать их взаимодействие; повысить уровень услуг в грузовых перевозках. В научной статье определено современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы Российской Федерации, дается оценка отечественного и международного опыта в секторе формирования объектов транспортно-логистической инфраструктуры, рассмотрены задачи формирования транспортно-логистической системы на национальном и региональном уровнях. Кроме того, в работе представлена методология рационального размещения логистических центров, определены предпосылки создания концепции развития терминально-логистических центров на примере организации деятельности Восточного полигона железных дорог. По результатам проведенного анализа выявлен дисбаланс между запросами пользователей услуг железнодорожного транспорта на полный комплекс логистических услуг высокого уровня, а также потребности в наращивании грузопотока и отсутствие необходимых мощностей и сервисов, особенно в регионах. Оценка эффективности реализуемого проекта по созданию центров должна учитывать категории рисков: политическую обстановку, состояние макроэкономики, рыночный спрос, финансовые и экономические операции.

### Ключевые слова

Восточный полигон железных дорог, транспортно-логистическая система, управление бизнес-процессами, грузовая база, транспортный инфраструктурный комплекс, параметризация объектов, высокодоходные грузы, контейнерные перевозки, терминально-логистический центр

### Для цитирования

Оленцевич В.А. Современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы России / В.А. Оленцевич, В.В. Горшков, В.С. Брытков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 103–112. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 01.03.2024 г.; поступила после рецензирования: 11.03.2024 г.; принята к публикации: 12.03.2024 г.

## The current state and development problems of the transport and logistics system of Russia

V.A. Olentsevich<sup>1</sup>✉, V.V. Gorshkov<sup>2</sup>, V.S. Brytkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>The Transportation Management Center at the Eastern Landfill – a Structural Subdivision of the Central Directorate of Traffic Management – a Branch of JSC Russian Railways, Irkutsk, the Russian Federation

✉olencevich\_va@mail.ru

**Abstract**

The use of a logistics center as an intermediate link in the supply chain is one of the main trends in the international transport market today. The practice of relations between types of transport, especially sea and railway ones, in the operation of the Eastern Railway Polygon, shows a set of unsolved problems reflected mostly in the organizational and technological sectors. The foundation for ensuring effective and uninterrupted interaction of these types of transport includes compliance with the schedule for the supply of railway rolling stock to transport complexes in accordance with the capabilities of loading and unloading devices of seaports of the Far East; joint approval of the regime for the supply of marine rolling stock at the time of arrival of wagons and containers, destination for a specific vessel in the area of the port of destination; the availability of technical and technological reserves at terminal and warehouse complexes located in seaports, which allow for the accumulation of the cargo base arriving at their address in the volume of the ship's consignment. The solution of these issues is largely relevant for the development of international relations. These factors allow us to conclude that today Russia is faced with the need to develop transport infrastructure as soon as possible, which, ultimately, will allow to reduce the cost of transporting goods and the cost of the final product, fully utilize the transit potential, unite and regulate the interaction of all participants in the transportation process and increase the level of services in cargo transportation. The scientific article defines the current state and problems of development of the transport and logistics system of the Russian Federation. The assessment of domestic and international experience in the sector of formation of transport and logistics infrastructure facilities is given, the issues of formation of a transport and logistics system at the national and regional levels are considered. The methodology of rational placement of logistics centers is presented, the prerequisites for the creation of a concept for the development of terminal and logistics centers are determined by the example of the organization of the Eastern Railway Polygon operation. According to the results of the analysis, an imbalance was revealed between the requests of users of railway transport services for a full range of high-level logistics services, as well as the need to increase freight traffic and the lack of necessary capacities and services, especially in the regions. The assessment of the effectiveness of the ongoing project to create centers should take into account such risk categories as the political situation, the state of macroeconomics, market demand, financial and economic transactions.

**Keywords**

the Eastern polygon of railways, transport and logistics system, business process management, cargo base, transport infrastructure complex, parameterization of facilities, high-yield cargo, container transportation, terminal and logistics center

**For citation**

Olenetsevich V.A., Gorshkov V.V., Brytkov V.S. *Sovremennoe sostoyanie i problemy razvitiya transportno-logisticheskoi sistemy Rossii* [The current state and development problems of the transport and logistics system of Russia]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 103–112. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112.

**Article Info**

Received: March 1, 2024; Revised: March 11, 2024; Accepted: March 12, 2024.

**Введение**

Формирование единого современного экономического пространства России – одна из стратегических задач, стоящих перед государством и способствующих приросту его благосостояния. Эффективное функционирование транспортного сектора как целостного комплекса будет способствовать преодолению территориальной разобщенности внутри страны и позволит удовлетворить запросы пользователей на логистические услуги и сервисы на уровне международных стандартов.

В связи с данными факторами одной из ключевых задач, стоящих перед ОАО «Российские железные дороги (ОАО «РЖД»)) в рамках регулярного прироста грузовой базы, являются организация эффективного размещения и технико-технологическая параметризация объектов транспортно-логистического блока [1–3].

Цель исследования заключается в разработке предложений по размещению и оптимиза-

ции работы узловых грузовых терминально-логистических центров (ТЛЦ) на Восточном полигоне железных дорог с учетом логистических принципов.

**Предпосылки создания концепции развития терминально-логистических центров на Восточном полигоне железных дорог**

Активное формирование транспортно-логистических центров – ключевая тенденции развития мирового рынка Европы и США в 1970-е гг., что в первую очередь было связано с ситуацией на мировом логистическом рынке. Поскольку именно в данное время в сфере распределения грузовых потоков стало не хватать складских площадей, располагавшихся вблизи прохождения основных транспортных коммуникаций и крупных городов. Дополнительный импульс придало широкое распространение использования универсальных контейнеров и, соответственно, развитие интермодальных и

мультимодальных перевозок.

С увеличением автоперевозок и избыточной перегруженности дорог, рассогласованности портовых мощностей и возможностей транспортной инфраструктуры требовалось решение для увеличения эффективности логистических процессов.

Цели создания ТЛЦ в разных странах имеют свои различия. В Германии – это обеспечение взаимодействия всех видов транспорта, в Португалии – эффективное использование существующей транспортной сети и стимулирование железнодорожных перевозок, перевозок между портами и внутренними районами страны, в Италии – привлечение транзита грузов по морю [4, 5].

Россия намерена создавать эффективные логистические коридоры вместе с дружественными странами. Шанхайская организация сотрудничества (ШОС) – система транспортно-логистической связанности территорий. Общая протяженность железных дорог стран ШОС – 348,3 тыс. км, электрифицированных линий – 210,2 тыс. км, суммарный объем погрузки гру-

зов – порядка 8,2 млрд т в год, годовой пассажирооборот – почти 1 424 млрд пасс.-км. Эксплуатационные показатели железных дорог стран ШОС за 2023 г. представлены в табл. [6].

Создание эффективной системы управления бизнес-процессами, формирование единого экономического пространства, реализация повышенных требований к надежности и безопасности функционирования железнодорожного перевозочного процесса, наличие объемов производственных мощностей и инфраструктурных комплексов, способных реализовать перспективные грузопотоки, особенно на восточном направлении – на современном этапе работы ОАО «РЖД» это лишь не многие требования, которые необходимо обеспечить руководству отрасли в условиях реализации стратегических целей, стоящих перед Правительством Российской Федерации [7, 8].

Большая территория страны, различные природно-климатические и географические условия функционирования транспортных предприятий формируют неравномерность развития транспортного инфраструктурного ком-

Эксплуатационные показатели железных дорог стран Шанхайской организации сотрудничества за 2023 гг.  
Operational indicators of railways of the Shanghai Cooperation Organization countries for 2023

Страна Country	Протяженность сети, тыс. км Length of railway network, thousand, km	Протяженность электрифицированных линий, тыс. км Length of electrified lines, thousand km	Объем грузовых перевозок, млн т Freight transportation volume, million tons	Грузооборот, млрд. т·км Freight turnover, billion t/km	Пассажирооборот, млрд пасс.-км Passenger turnover, billion passenger/km
Индия India	68,1	44,8	1 418,8	872,1	590
Иран Iran	9,4	0,2	46,9	32,9	11,1
Казахстан Kazakhstan	16,6	4,2	395,5	307,5	16,7
Киргизия Kyrgyzstan	0,4	0	2,7	1	0,1
Китай China	154,9	114,5	4 984,2	3 594,1	657,7
Пакистан Pakistan	7,8	0,3	4,3	4,3	0
Таджикистан Tadjikistan	0,9	0	6,1	0,3	21,8
Узбекистан Uzbekistan	4,7	1,9	100,1	24,9	3,5
Россия Russia	85,5	44,3	1 234,3	2 637	122,8
Итого Total	348,3	210,2	8 192,9	7 474,1	1 423,7

плекса и приводят к низкому уровню обеспеченности необходимыми производственными мощностями в регионах, нескоординированной работе различных видов транспорта. В связи с переориентированием грузопотока на восточное направление страны остро встали вопросы несоответствия объемов перевозок существующему развитию железнодорожной инфраструктуры и оснащенности терминально-складских комплексов [9, 10].

Анализ практики взаимодействия железнодорожного и морского транспорта определил комплекс нерешенных проблем в сфере развития ТЛЦ на Восточном полигоне железных дорог:

1. Действующая технология планирования смешанных перевозок не позволяет добиться высокого уровня точности и гибкости взаимодействия при организации грузопотоков. Данный фактор способствует накоплению значительного объема груженого железнодорожного подвижного состава на подходах к морским портам Дальнего Востока, превышающего их перерабатывающие мощности, особенно в периоды высокой неравномерности грузоперевозок.

2. Технологические операции по погрузке и выгрузке грузов в транспортных узлах производятся несколькими независимыми стивидорскими компаниями, деятельность которых осуществляется на территории одного морского порта Дальнего Востока. Данная технология работы в значительной мере осложняет операции по координации и согласованности их взаимодействия при переработке грузов с участием двух и более видов транспорта.

3. При объединенной технологии организации грузопотока отсутствуют процедуры взаимодействия морских портов Дальнего Востока с фрахтовыми компаниями, а также с владельцами морских судов. Данный вопрос в наибольшей мере является сложным и служит сдерживающим фактором в продвижении суммарного грузопотока в цепи поставок.

Использование логистического центра в качестве промежуточного звена в цепи поставок – одна из основных тенденций на международном транспортном рынке сегодня.

Реализации перспективных, регулярно прирастающих объемов грузовой базы на Восточном полигоне железных дорог целесообразно достигнуть путем эффективного развития уже существующего транспортного инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» и

современных ТЛЦ в субъектах Российской Федерации.

Логистическая транспортировка базируется на ряде принципов: синергизм, принципы системности, формализации, эмерджентности, вариантность, динамичность, надежность поставок, принципы гибкости, иерархии, интеграции, компьютеризации, обратной связи, оптимальности. Мировой опыт на практике доказал эффективность использования ТЛЦ, поскольку такие центры позволяют успешно реализовывать весь комплекс логистических принципов.

Создание международной логистической системы предусматривает решение ряда задач:

– упрощение процедуры прохождения грузопотоком стыковых пунктов при использовании в перевозочном процессе нескольких видов транспорта;

– сокращение времени движения грузопотока;

– использование при перевозке максимального эффективных аспектов видов транспорта;

– сокращение и исключение потерь при транспортировке груза;

– реализация транзитного потенциала России, который сопоставим по объему с экспортом нефти.

Работа системы должна быть организована таким образом, чтобы оперативно делиться информацией и учитывать интересы участников транспортного рынка.

Основополагающими принципами, способными оказать значительное влияние на скорейшее формирование современного рынка железнодорожных грузовых перевозок на восточном направлении движения, являются:

– прирост объемов производства российской промышленной продукции, продуктов сельского хозяйства, сырьевой базы;

– формирование единого экономического пространства;

– создание эффективных логистических коридоров совместно с дружественными странами;

– развитие транспортного логистического сектора экономики страны совместно с конкурирующими транспортными отраслями, включая автомобильный транспорт, контейнеризация, прирост в суммарной грузовой базе доли крупных торговых сетей;

– развитие российского финансового рынка;

– повышение эффективности работы таможенных органов и пограничных комплексов.

### Концепция создания современных терминально-логистических центров

В целом работу транспорта в рамках логистической системы можно представить как совокупность элементов, находящихся в определенных функциональных связях, образующих целостность и единство, включая снабжение, производство, сбыт. С целью обеспечения оптимального функционирования ТЛЦ чаще представляют из себя площадку, которая позволяет консолидировать грузопотоки, связывать участников транспортного рынка и оказывать качественно новые сервисы и услуги. Организация перевозочного процесса в рамках ТЛЦ способствует росту эффективности управления движением материальных и сопутствующих им потоков, привлечению к перевозке высокодоходных грузов, что особенно актуально ввиду постоянно увеличивающегося объема перевозок грузов и повышающейся нагрузки на транспортно-логистическую инфраструктуру [9, 10].

Оптимальное размещение и технико-технологическая параметризация объектов транспортно-логистической инфраструктуры – одна из ключевых задач организации производства. Уровень развитости логистических

систем зависит от качества инфраструктуры, состояния дорог и доступности различных видов транспорта.

Концепция создания современных ТЛЦ должна предусматривать:

– улучшение качества предоставления услуг и сервисов с целью повышения конкурентоспособности перевозок грузов железнодорожным транспортом за счет формирования современной терминально-логистической инфраструктуры, а также развития транспортно-грузовой системы (ТГС);

– повышение уровня эффективности использования имеющихся объектов инфраструктурного комплекса железных дорог на Восточном полигоне с целью прироста грузопотока на восточном направлении движения.

Далее представлена концепция создания ТЛЦ на территории России (рис.).

С целью внедрения терминально-логистической инфраструктуры необходимо создание транспортно-грузового комплекса от процесса проектирования до строительства и полного технического оснащения складских площадей. Цель транспортно-грузовой системы как системы в достижении результата, удовлетворении клиента, получении прибыли и сокращении величины эксплуатационных расходов (места, времени, материалов, энергии и т.д.).



Концепция создания современных терминально-логистических центров  
The concept of creating modern terminal and logistics centers

Общемировая практика доказывает эффективность использования ТЛЦ с учетом практического опыта, который отражен в реализации основных логистических принципов. Создание сети ТЛЦ не может быть только личной инициативой, поскольку требует серьезных финансовых вложений, в том числе из-за того, что объекты инфраструктуры ОАО «РЖД» имеют большой срок окупаемости, нуждаются в учете интересов нескольких операторов и принятии во внимание особенностей развития региона и его производственных мощностей. Такой амбициозный и дорогостоящий проект предполагает совместные усилия различных государственных структур и частных инвесторов и, возможно, международного участия [11–13].

Сеть ТЛЦ целесообразно формировать в 18 субъектах Российской Федерации. Проект необходимо реализовать за счет частных инвестиций, расчетная общая сумма финансирования составит более 140 млрд руб. [14].

### **Проблемы создания транспортно-логистических систем в России**

Организация транспортно-логистических систем – комплексный процесс, который предполагает возникновение множества неочевидных в начале сложностей. Для выделения проблем и путей их решения требуется факторный анализ прошлого опыта развития инфраструктуры и учет его в будущем, анализ эксплуатационных показателей.

Проведенный анализ показал, что наблюдаются дисбаланс между запросами клиентов на полный комплекс логистических услуг высокого уровня, потребности в увеличении объема грузоперевозок и отсутствие необходимых мощностей и сервиса, особенно в регионах.

Очевидно, что в последние годы потребности российских и зарубежных производителей продукции и добывающих отраслей в качественных транспортно-логистических услугах и сервисах набирают высокие темпы. Данная категория транспортного рынка должна быть более динамичной и позволять максимально удовлетворять потребности пользователей. При этом анализ практической деятельности Восточного полигона железных дорог доказывает, что существующий инфраструктурный комплекс не позволяет обеспечить прогнозные значения эффективного развития экономики страны. Ситуация вызвана факторами, большинство

из которых служат первопричиной увеличения срока доставки груза, способствуют приросту временных и транспортных расходов ОАО «РЖД» и грузовладельцев на перевозочный процесс, увеличивают трудозатраты сторон. К данным факторам можно отнести:

- отсутствие эффективной законодательной базы в транспортном секторе страны и международных отношениях, что является весьма важной составляющей, поскольку способствует сокращению объема конфликтов между перевозчиками и пользователями услуг, а также скорейшему развитию данного сектора экономики;

- действующие российские транспортно-логистические, технологические и организационные процессы не в полной мере соответствуют современным требованиям эффективного функционирования международного транспортного комплекса;

- низкий уровень развитого транспортно-инфраструктурного комплекса в отдельных российских регионах;

- низкий уровень доступности и качества транспортно-логистических услуг и сервисов (например, значительная доля сельского и животноводческого комплекса страны не имеет транспортных связей по автодорогам с твердым покрытием с основными транспортными магистралями);

- перегруженность транспортных комплексов, низкая пропускная и провозная способности железнодорожных линий, дефицит перерабатывающей способности железнодорожных станций, морских портов, пограничных зон пропуска грузопотока;

- заниженные показатели обеспечения уровня безопасности перевозочного процесса на всех видах транспорта, что вызвано приростом грузовой базы;

- недостаточный уровень применения современных IT-программ и цифровых комплексов в транспортно-логистической сфере;

- дефицит профильного квалифицированного кадрового потенциала;

- заниженные размеры финансовых вложений в научные исследования транспортных проблем.

Представленные факторы приводят к снижению эффективности работы транспортной системой, что, в свою очередь, замедляет общеэкономический рост страны. Решение

представленных проблем осложнено тем, что более 70 % объема российского грузооборота приходится именно на железнодорожный транспорт. Мировой опыт показывает, что до 60 % сделок заключаются с использованием морского вида транспорта [4, 9, 10, 14].

Россия стоит перед необходимостью развития инфраструктуры, что в конечном счете позволит:

- снизить издержки на перевозку и стоимость конечного продукта;
- интегрировать страну в международную транспортную сеть, использовать в полной мере транзитный потенциал;
- объединить всех участников перевозочного процесса и регулировать их взаимодействие;
- повысить уровень услуг в грузовых перевозках [11, 15].

Решение о размещении ТЛЦ предлагается базировать на комплексе из двух моделей: статистической и имитационной. Первая позволит увидеть взаимосвязь между показателями факторов размещения ТЛЦ, а вторая – изменения определяющих факторов во времени, т.е. получить прогнозные показатели региона, в том числе с помощью причисления последнего к одной из четырех групп на основе численности населения, размера экспорта, дохода на душу населения, климатической зоны и др. [16, 17].

Очевидно, что низкий уровень развития инфраструктурного комплекса Восточного полигона железных дорог влияет на высокую стоимость конечной продукции, для этого необходимо привлекать инвесторов. Чтобы продемонстрировать экономический потенциал и привлечь инвесторов, нужно разработать четкий бизнес-план, а также провести технико-экономическое обоснование проектного решения. Анализ зарубежного опыта указывает на то, что первоначально требуется создать презентационные материалы, которые будут отражать концепцию территориального развития и позволят привлечь дополнительное финансирование [18–20].

Оценка эффективности реализуемого проектного решения должна производиться на основе таких рисков, как политическая обстановка в стране, макроэкономика, рыночный спрос, операции, финансы и строительство специализированной командой проекта (SPV).

SPV – это компания, выпускающая свои ценные бумаги и далее использующая полу-

ченные средства на финансирование инвестиционных проектов компании. Для оптимального размещения ТЛЦ на Восточном полигоне железных дорог целесообразно использовать метод аналитической иерархии.

Следующий этап после определения местоположения – это непосредственное зонирование ТЛЦ, которое должно соотнести потребности потенциальных резидентов с возможностями их осуществления при строительстве.

Цель работы в рамках ТЛЦ заключается в консолидации нескольких компаний на одной территории для оказания комплексных транспортных, погрузо-разгрузочных и вспомогательных услуг, связанных с переработкой, хранением грузов различной номенклатуры, а функции – создание и развитие транспортной инфраструктуры, разработка решений в области логистики, маркетинга, в том числе привлечение операторов [21].

Для успешной работы ТЛЦ требуется управляющая организация. Зарубежный опыт говорит о том, что существует необходимость разделить центр на кластеры в зависимости от потребностей резидентов ТЛЦ в инфраструктуре. При этом расположить их так, чтобы достигнуть синергии, а также снизить передвижения внутри ТЛЦ до минимума. Авторы предлагают для принятия правильной стратегии управления проведение комплексной оценки деятельности ТЛЦ на основе именно финансовых показателей.

Для успешной интеграции России в мировую экономику необходимо развитие транспортно-логистической инфраструктуры, под которой подразумевается развития автодорог, инфраструктурного комплекса, включающего в себя здания, площадки, склады, специализированные повышенные пути, а также погрузо-разгрузочные механизмы и т.п. От данных составляющих транспортного процесса в значительной мере зависит процветание предпринимательства малого и среднего бизнеса, торговли в регионах, а также реализация потенциала России как транзитной страны.

Около 30–60 % расходов компаний приходится на транспорт, поэтому транспортно-логистический комплекс является важным элементом конкурентоспособности предприятия. Чтобы получать прибыль, предлагается опираться на основные принципы логистики при осуществлении транспортной деятельно-

сти, для этих целей необходимы элементы развития транспортно-логистического комплекса в России:

- совершенствование нормативно-правовой базы;
- контроль цепей поставок, поддержка крупных компаний-экспортеров;
- наличие общей информационной системы, а также научные изыскания в области логистики;
- поддержка государства в развитии транспортной инфраструктуры [22].

Отсутствие ресурсов, координации совместных действий и полномочий для общих решений – причина отставания развития логистики в государстве.

Сегодня контейнерные перевозки – важный тренд мирового сообщества, который невозможно реализовать без развития инфраструктуры. Снизить транзитное время, повысить уровень транспортного сервиса и предоставить вариации маршрутов можно путем создания сети ТЛЦ, в том числе с помощью развития контейнерных перевозок. Это позволит увеличить доходы участников транспортного рынка, а также предоставит возможность создания новых рабочих мест с учетом ориентированного управления, т.е. учета особенностей предприятия на микроэкономическом уровне.

Польза развития транспортной инфраструктуры в оптимальной реализации транспортно-логистического потенциала, расширении международной торговли и повышении мобильности пассажиров. Данные факторы

оказывают влияние на уровень занятости населения и его доходы. Таким образом, транспортно-логистический комплекс воздействует как на экономику региона в целом, так и на финансовый результат отдельных компаний [16, 23].

### Заключение

Подведя итоги, можно сказать, что для создания единого экономического пространства и интеграции России в мировое хозяйство, необходимо формирование транспортно-логистического комплекса РФ, что плодотворно отразится на экономике, для этого требуется правовая и финансовая поддержка со стороны государства.

Создание сети логистических центров не столько вопрос реализации транспортного потенциала, сколько необходимость, связанная с отсутствием мощностей для имеющегося грузопотока (особенно в регионах). При этом следует рассматривать данную тему комплексно, учитывая особенности и интересы всех участвующих сторон, что может существенно замедлить процесс, так как цели и задачи у них разные. Например, государство стремится к равномерному развитию инфраструктуры во всех регионах, а девелоперы – к получению прибыли, т.е. они не заинтересованы в строительстве там, где нет грузопотока.

Необходимо перенимать иностранный опыт, особенно касающийся внедрения информационных технологий, учитывая специфику каждого отдельного субъекта РФ.

### Список литературы

1. Копылова О.А., Рахмангулов А.Н. Размещение региональных логистических центров // Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 2015. 172 с.
2. Сеницына А.С. Разработка методов параметризации контейнерных терминалов на основе принципов логистики : дис ... канд. техн. наук. М., 2001. 283 с.
3. Сеницына А.С., Некрасов А.Г. Бесшовность и интеллектуальная мобильность интермодальных транспортно-логистических систем // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022 № 2 (24). С. 163–175.
4. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. URL : <http://www.rzd.ru> (Дата обращения 29.02.2024).
5. Мякенький С.В., Лукиных В.Ф. История создания логистических центров // БизнесСайт : информ. портал. URL : <https://www.sitebs.ru/blogs/38071.html> (Дата обращения 29.02.2024).
6. Транспортно-логистические центры: зарубежный опыт // Лобанов-логист : логистич. портал. URL : [https://www.lobanov-logist.ru/library/all\\_articles/57650/](https://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/57650/) (Дата обращения 29.02.2024).
7. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
8. Сценарии развития Восточной Сибири и российского Дальнего Востока в контексте политической и экономической динамики Азиатско-Тихоокеанского региона до 2030 года : аналитич. доклад / Л.А. Аносова, А.Г. Коржубаев, А.Н. Панов и др. М. : Едиториал УРСС, 2011. 120 с. URL : <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (Дата обращения 27.02.2024).
9. Динец Д.А., Меркулов А.С. Риски транзита Восточного транспортного коридора // Экономика железных дорог. 2021. № 2. С. 66–77.

10. Оленевич В.А., Гозбенко В.Е. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2021. № 8. С. 189–190.
11. Капорцев Б.В. Экономическое обоснование системы управления складским комплексом негабаритных и тяжеловесных грузов на российских железных дорогах : дис. ... канд. экон. наук. М., 2014. 171 с.
12. Ко Ко Лвин. Закономерности и факторы комплексного развития транспортной системы Мьянмы : дис. ... канд. техн. наук. М., 2018. 153 с.
13. Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации // ОАО «РЖД» : сайт. URL : <https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/c/5/121/74208> (Дата обращения: 16.02.2024).
14. Об утверждении политики клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок : распоряжение ОАО «РЖД» от 26.07.2016 № 1489р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
15. Каимов Е.В., Оленевич В.А., Максимова Р.В. Актуальность вопросов перераспределения технических мощностей Восточного полигона железных дорог // *Актуальные проблемы транспорта в XXI веке* : тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Новокузнецк, 2023. С. 185–188.
16. Терминалы ускорят доставку // *Гудок* : сайт. URL : <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1466809> (Дата обращения 15.02.2024).
17. Оборин М.С. Тенденции развития транспортно-логистических систем региона // *Сервис в России и за рубежом*. 2019. Т. 13. № 4 (86). С. 188–196.
18. Оленевич В.А., Брытков В.С. Вопросы повышения конкурентоспособности железнодорожных грузовых перевозок в регионах Сибири и Дальнего Востока // *Постсоветский материк*. 2024. № 1 (41). С. 85–97.
19. Копылова О.А. Методика оценки вариантов размещения региональных логистических центров : дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2014. 189 с.
20. Власова Н.В. О современном развитии грузовых сервисов ОАО «РЖД» в границах Восточно-Сибирской железной дороги // *Постсоветский материк*. 2024. № 1 (41). С. 98–108.
21. Яворская Д.А., Шевчук И.С., Власова Н.В. Прогнозные перспективы развития транзитных контейнерных перевозок по территории России // *Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития* : сб. науч. ст. XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Курск, 2023. Т. 2. С. 312–315.
22. Иванова Е.О., Файзрахманова Е.В. Повышение эффективности работы склада на основе внедрения WMS // *Проблемы развития современного общества* : сб. науч. ст. VIII Всерос. нац. науч.-практ. конф. Курск, 2023. Т. 1. С. 165–169.
23. Динец Д.А., Меркулов А.С. Применение принципа управления транспортным коридором к организации деятельности Транссибирской магистрали // *Транспортное право и безопасность*. 2021. № 3 (39). С. 49–56.

### References

1. Kopylova O.A., Rakhmangulov A.N. [Placement of regional logistics centers]. Magnitogorsk: Magnitogorskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni G.I. Nosova Publ., 2015. 172 p.
2. Sinitsyna A.S. Razrabotka metodov parametrizatsii konteynernykh terminalov na osnove printsipov logistiki [Development of methods for parameterization of container terminals based on the principles of logistics]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2001, 283 p.
3. Sinitsyna A.S., Nekrasov A.G. Besshovnost' i intellektual'naya mobil'nost' intermodal'nykh transportno-logisticheskikh sistem [Seamless and intelligent mobility of intermodal transport and logistics systems]. *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyi zhurnal* [Socio-economic and Humanitarian Journal], 2022, no. 2 (24), pp. 163–175.
4. Rossiiskie zheleznye dorogi (Elektronnyi resurs) [Russian Railways (Electronic Resource)]: Available at: <http://www.rzd.ru> (Accessed February 29, 2024).
5. Istoriya sozdaniya logisticheskikh tsentrov (Elektronnyi resurs) [The history of the creation of logistics centers (Electronic resource)]. Available at: <https://www.sitebs.ru/blogs/38071.html> (Accessed February 29, 2024).
6. Transportno-logisticheskie tsentry: zarubezhnyi opyt (Elektronnyi resurs) [Transport and logistics centers: foreign experience (Electronic Resource)]. Available at: [https://www.lobanov-logist.ru/library/all\\_articles/57650/](https://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/57650/) (Accessed February 29, 2024).
7. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021 «On the approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035»].
8. Anosova L.A., Korzhubaev A.G., Panov A.N., Vikhanskii O.S., Potapov V.Ya., Ostrovskii A.V., Renzin O.M., Zaverskii S.M., Kononova V.Yu., Filimonova I.V., Eder L.V., Bakhturov A.S., Bezryadin M.V., Kartashov S.V., Mishenin M.V., Nevedeev A.V., Plekhanov D.A., Rasputin M.V., Saunin O.V., Sergeev A.S., Stollyar V.A., Yudin D.V. et al. Stenarii razvitiya Vostochnoi Sibiri i rossiiskogo Dal'nego Vostoka v kontekste politicheskoi i ekonomicheskoi dinamiki Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona do 2030 goda: analiticheskii doklad [Scenarios for the development of Eastern Siberia and the Russian Far East in the context of the political and economic dynamics of the Asia-Pacific region until 2030: Analytical report]. Available at: <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (Accessed February 27, 2024).
9. Dinets D.A., Merkulov A.S. Riski tranzita Vostochnogo transportnogo koridora [Risks of transit of the Eastern Transport Corridor]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of railways], 2021, no. 2, pp. 66–77.
10. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Zadachi prispособleniya transportnoi infrastruktury k novym tekhnologiyam [The tasks of adapting transport infrastructure to new technologies]. *Sovremnyye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technical progress], 2021, no. 8, pp. 189–190.
11. Kaportsev B.V. Ekonomicheskoe obosnovanie sistemy upravleniya skladskim kompleksom negabaritnykh i tyazhevesnykh грузов na rossiiskikh zheleznykh dorogakh [Economic justification of the warehouse complex management system

for oversized and heavy loads on Russian railways]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2014, 171 p.

12. Ko Ko Lvin. Zakonomernosti i faktory kompleksnogo razvitiya transportnoi sistemy M'yanmy [Patterns and factors of the integrated development of Myanmar's transport system]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2018. 153 p.

13. Kontseptsiya sozdaniya terminal'no-logisticheskikh tsentrov na territorii Rossiiskoi Federatsii (elektronnyi resurs) [The concept of creating terminal and logistics centers on the territory of the Russian Federation (electronic resource)]. Available at: <https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/c/5/121/74208> (Accessed February 16, 2024).

14. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 26.07.2016 no 1489r «Ob utverzhdenii politiki klientoorientirovannosti kholdinga «RZhD» v oblasti gruzovykh pervezok» [Order of JSC Russian Railways dated July 26, 2016 no 1489r «On approval of the customer orientation policy of the Russian Railways Holding in the field of freight transportation»].

15. Kaimov E.V., Olentsevich V.A., Maksimova R.V. Aktual'nost' voprosov pereraspredeleniya tekhnicheskikh moshchnosti Vostochnogo poligona zheleznykh dorog [Relevance of issues of redistribution of technical capacities of the Eastern polygon of railways]. *Trudy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy transporta v XXI veke»* [Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Actual problems of transport in the XXI century»]. Novokuznetsk, 2023, pp. 185–188.

16. Terminaly uskoryat dostavku (elektronnyi resurs) [Terminals will speed up delivery (electronic resource)]. Available at: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1466809> (Accessed February 15, 2024).

17. Oborin M.S. Tendentsii razvitiya transportno-logisticheskikh sistem regiona [Trends in the development of transport and logistics systems in the region]. *Servis v Rossii i za rubezhom* [Service in Russia and abroad], 2019, vol. 13, no. 4 (86), pp. 188–196.

18. Olentsevich V.A., Brytkov V.S. Voprosy povysheniya konkurentosposobnosti zheleznodorozhnykh gruzovykh pervezok v regionakh Sibiri i Dal'nego Vostoka [Issues of increasing the competitiveness of railway freight transportation in the regions of Siberia and the Far East]. *Postsovetskii materik* [Post-Soviet continent], 2024, no. 1 (41), pp. 85–97.

19. Kopylova O.A. Metodika otsenki variantov razmeshcheniya regional'nykh logisticheskikh tsentrov [Methodology for assessing the placement options of regional logistics centers]. Ph.D.'s theses. Magnitogorsk, 2014, 189 p.

20. Vlasova N.V. O sovremenном razvitii gruzovykh servisov OAO «RZhD» v granitsakh Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [On the modern development of freight services of JSC «Russian Railways» within the boundaries of the East Siberian Railway]. *Postsovetskii materik* [Post-Soviet Continent], 2024, no. 1 (41), pp. 98–108.

21. Yavorskaya D.A., Shevchuk I.S., Vlasova N.V. Prognoznye perspektivy razvitiya tranzitnykh konteynernykh pervezok po territorii Rossii [Forecast prospects for the development of transit container transportation across the territory of Russia]. *Sbornik nauchnykh statei XIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Issledovanie innovatsionnogo potentsiala obshchestva i formirovanie napravlenii ego strategicheskogo razvitiya»* [Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical conference with international participation «Research of the innovative potential of society and the formation of directions for its strategic development»]. Kursk, 2023, vol. 2, pp. 312–315.

22. Ivanova E.O., Faizrahmanova E.V. Povyshenie effektivnosti raboty sklada na osnove vnedreniya WMS [Improving the efficiency of warehouse operation based on the introduction of WMS]. *Sbornik nauchnykh statei VIII Vserossiiskoi natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy razvitiya sovremennogo obshchestva»* [Proceedings of the VIII All-Russian National Scientific and Practical Conference «Problems of the development of modern society»]. Kursk, 2023, vol. 1, pp. 165–169.

23. Dinets D.A., Merkulov A.S. Primenenie printsipa upravleniya transportnym koridorom k organizatsii deyatelnosti Transsibirskoi magistrali [Application of the principle of transport corridor management to the organization of the Trans-Siberian Railway]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'* [Transport Law and security], 2021, no. 3 (39), pp. 49–56.

### Информация об авторах

**Оленевич Виктория Александровна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: olencevich\_va@mail.ru.

**Горшков Василий Васильевич**, заместитель начальника Центра управления перевозками на Восточном полигоне – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск; e-mail: vg17081972@mail.ru.

**Брытков Владимир Сергеевич**, аспирант кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: vladimirbrytkov99@yandex.ru.

### Information about the authors

**Victoriya A. Olentsevich**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: olencevich\_va@mail.ru.

**Vasilii V. Gorshkov**, Deputy Head of the Transportation Management Center at the Eastern landfill of structural division of the Central Directorate of Traffic Management – a branch of JSC «Russian Railways», Irkutsk; e-mail: vg17081972@mail.ru.

**Vladimir S. Brytkov**, Ph.D. Student of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: vladimirbrytkov99@yandex.ru.

## Исследование причин появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка

Д.А. Ковенькин✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉kovenkin\_da@irgups.ru

### Резюме

В процессе развития контактно-усталостных повреждений на рабочей поверхности головки рельса возникают трещины и выкрашивания, которые делают рельс контроленепригодным, так как мешают обнаружению внутренних дефектов при ультразвуковом контроле рельсов дефектоскопом. Только за 2023 г. на Восточно-Сибирской железной дороге выявлено 2 169 дефектных рельсов по коду 19. За тот же период 1 061 рельс выявлен по Слюдянской дистанции пути, что составляет 49 % от общего количества рельсов. Кроме того, к декабрю 2023 г. число рельсов с таким дефектом выросло по сравнению с январем в 1,6 раз по Восточно-Сибирской железной дороге и в 3,2 раза по участку пути от ст. Большой Луг до ст. Слюдянка. Статья посвящена исследованию причин появления и развития контроленепригодности рельсов (код дефекта – 19). Данная работа направлена на раскрытие проблемных зон при эксплуатации пути в кривых малых радиусов на горно-перевальных участках. Выполнен расчет контактного давления от подвижного состава на путь с учетом фактических скоростей движения. Расчет проводился в программном комплексе «Универсальный механизм». Анализ лент вагона путеизмерителя, скоростемерных лент в сочетании с расчетом контактного давления показывает значительный перегруз внутренней нити даже при проектных параметрах кривых, не говоря уже о фактических. В связи с этим можно с уверенностью сказать, что перегруз внутренней рельсовой нити, вызванный несоответствием возвышения наружного рельса проектным значениям, а также отклонением от нормы фактических скоростей движения поездов по участку, является основной причиной появления и развития контроленепригодности рельсов.

### Ключевые слова

износ рельсов, проблемы контроля, возвышение наружного рельса, скорость, контактное давление

### Для цитирования

Ковенькин Д.А. Исследование причин появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка / Д.А. Ковенькин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 113–125. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).113-125.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 29.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 12.03.2024 г.; принята к публикации: 14.03.2024 г.

## Research into causes of the appearance and development of rail inspection unsuitability in the mountainous area from Bol'shoi Lug station to Slyudyanka station

D.A. Koven'kin✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉kovenkin\_da@irgups.ru

### Abstract

With the development of contact fatigue damage, cracks and fractures appear on the working surface of the rail head, which make the rail unsuitable for inspection, since they prevent the detection of internal defects during ultrasonic inspection of rails with a flaw detector. In 2023 alone, in East Siberian Railway 2 169 defective rails were identified according to code 19. During the same period, 1 061 rails were identified along the Slyudyanskaya track distance, which is 49% of the total. In addition, by December 2023, the number of rails with such a defect increased 1.6 times as compared to January for the East Siberian Railway and 3.2 times for the section of track from Bolshoi Lug station to Slyudyanka station. The article is devoted to the study of the reasons for the appearance and development of rail defects (defect code – 19). This work is aimed at uncovering problem areas during the operation of the track in curves of small radii on mountain pass sections. The calculation of the contact pressure from the rolling stock on the track has been performed, taking into account the actual speeds of movement. The calculation was carried out in the «Universal Mechanism» software package. The analysis of track measuring car belts and speed gauge belts in combination with the calculation of contact pressure shows a significant overload of the inner rail even with the design parameters of the curves, not to mention the actual ones. In this regard, it is safe to say that some of the reasons for the appearance and development of rail defects are the overload of the inner rail thread caused by the discrepancy between the elevation of the outer rail

and the design values, as well as the discrepancy between the actual train speeds along the section.

### Keywords

rail wear, control problems, elevation of the outer rail, speed, contact pressure

### For citation

Koven'kin D.A. Issledovanie prichin poyavleniya i razvitiya kontrolenepriгодnosti relсов na gorno-perevalnom uchastke Bol'shoi Lug – Slyudyanka [Research into causes of the appearance and development of rail inspection unsuitability in the mountainous area from Bol'shoi Lug station to Slyudyanka station]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 113–125. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).113-125.

### Article Info

Received: February 29, 2024; Revised: March 12, 2024; Accepted: March 14, 2024.

### Введение

В современных условиях эксплуатации железных дорог Российской Федерации все более высокую актуальность имеет внедрение ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих продление срока службы элементов инфраструктуры.

Одной из наиболее сложных задач ресурсосбережения является продление срока службы рельсов, непосредственно воспринимающих весь спектр нагрузок от колес подвижного состава.

В результате процессов трения, вызываемых взаимодействием колесной пары с рельсовой колеей, происходит изнашивание их поверхностей. Это приводит к снижению эффективности эксплуатации и безопасности движения, ухудшению тяговых качеств, а также к значительным финансовым расходам. Именно поэтому так важно вовремя выявить рельсовые дефекты и предпринять меры для их устранения.

Влияние возвышения на общий износ рельсов в кривых участках пути рассматривали многие ученые [1–10]. Большинство из них считают, что избыточное возвышение приводит к интенсивному вертикальному износу рельсов в кривых. В том числе происходит перегруз внутренней рельсовой нити в кривых, что приводит к образованию контроленепригодных рельсов.

Контроленепригодный рельс (код 19) – это рельс, на поверхности которого при дефектоскопировании не обеспечивается акустический контакт из-за наличия выкрашиваний или трещин (рис. 1).

Если при контроле рельсов не обеспечивается акустический контакт из-за наличия выкрашиваний или трещин, и, на участке пути протяженностью 12,5 м имеется три места и более с пропаданием донного сигнала от 20,0 до 70,0 мм и суммарной протяженностью более

140 мм, то такие рельсы признаются контроленепригодными.

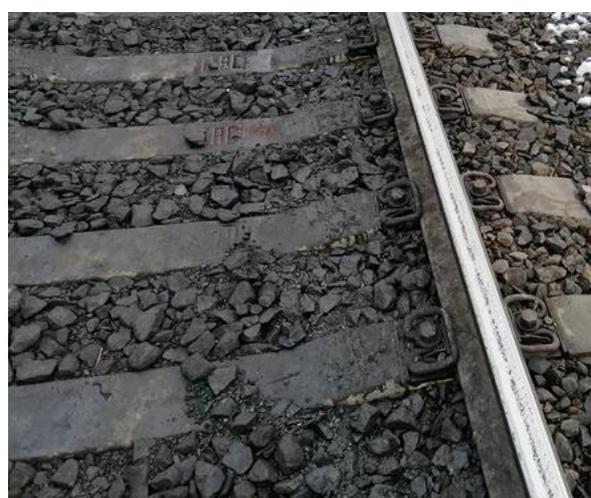


Рис. 1. Контроленепригодный рельс (код 19)  
Fig. 1. Defective rail (code 19)

При наличии на головке рельса поверхностных дефектов, делающих рельс контроленепригодным для дефектоскопных средств сплошного контроля, рельс считают дефектным. В течение пяти дней после выявления дефекта принимается решение по его дальнейшей эксплуатации и определяются меры (наплавка, шлифовка или замена) по устранению причин контроленепригодности. В течение 14 дней с момента выявления дефекта разработанные меры должны быть реализованы. В случае превышения срока устранения причин контроленепригодности скорость движения поездов ограничивается до 60 км/ч.

Если при сплошном контроле рельсов срабатывание индикации ультразвуковых каналов дефектоскопа, контролирующей головку рельса, наблюдается при минимально допустимой чувствительности (определенной документацией на контроль), то такой рельс считают

«шумящим»), относят к дефектным и заменяют в первоочередном порядке.

Доля изъятия рельсов на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) по дефекту 19 из-за перегруза внутренней нити уже составляет более 20% от общего количества дефектных рельсов.

Исходя из изложенного основная цель статьи заключается в исследовании причин появления и развития контроленепригодности рельсов.

Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

- выбираются участки исследования;
- проводится расчет контактного давления от колеса на рельс на исследуемых участках;
- предлагаются решения для повышения срока службы рельсов.

### Состояние вопроса на Восточно-Сибирской железной дороге

Для подтверждения актуальности проблемы были собраны статистические данные по ВСЖД о количестве зафиксированных случаев дефектов рельсов по коду 19. Обзор проведен за 2023 г. (рис. 2).

По представленным данным (см. рис. 2) можно сказать, что только за 2023 г. по коду 19

выявлено 2 169 дефектных рельсов. За тот же период 1 061 дефектный рельс выявлен по Слюдянской дистанции пути, что составляет 49 % от общего их количества. Кроме того, к декабрю 2023 г. число рельсов с таким дефектом выросло по сравнению с январем в 1,6 раз по ВСЖД и в 3,2 раза по ПЧ-9. Это очень высокий рост, несмотря на некоторое снижение выявленных дефектов в период с мая по октябрь 2023 г. По нашим данным, снижение дефектности рельсов в этот период вызвано проведением работ по профильной шлифовке рельсов и смене рельсовых плетей.

На основании изложенного можно утверждать, что проблема образования и интенсивного роста дефекта по коду 19 стоит достаточно остро. Все это приводит к высокому расходу материалов верхнего строения пути, неблагоприятному воздействию на путь и подвижной состав, увеличению затрат на текущее содержание устройств инфраструктуры и, как следствие, к снижению пропускной способности.

### Характеристика экспериментальных участков

Для исследования причин появления и развития контроленепригодности рельсов (код

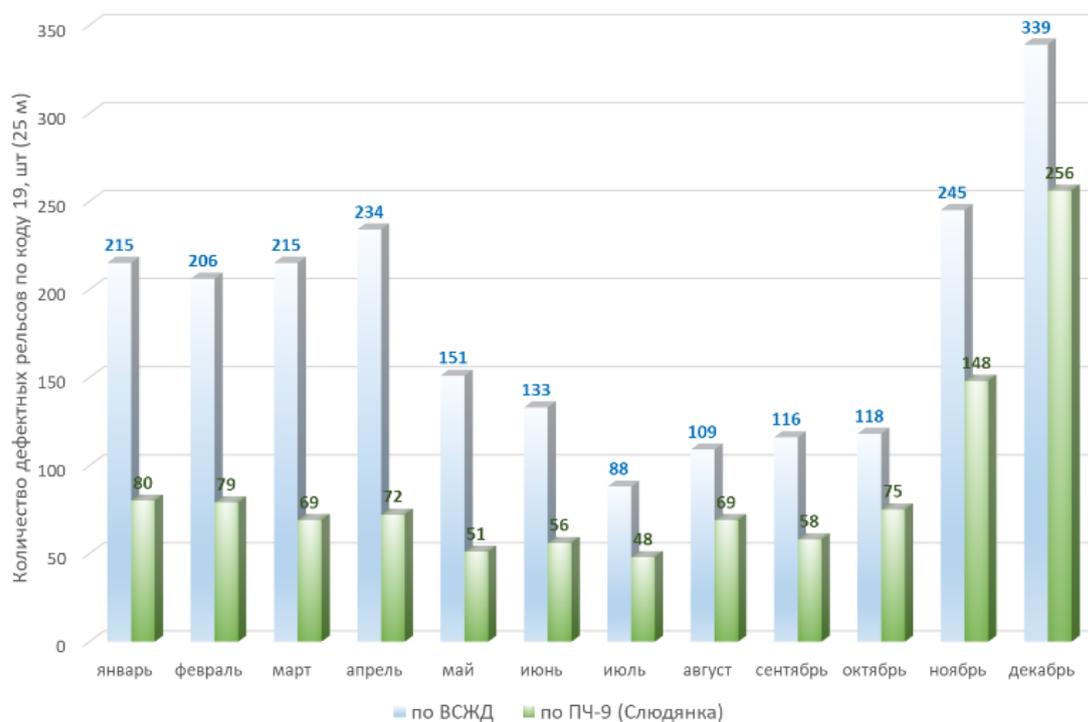


Рис. 2. Количество дефектных рельсов по коду 19 на Восточно-Сибирской железной дороге за 2023 г.

Fig. 2. The number of defective rails according to code 19 on East Siberian Railway for 2023

дефекта – 19) на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка, были выбраны семь кривых, характеристики которых представлены в таблице 1.

Выбранные участки расположены в кривых, радиусы которых находятся в пределах от 293 до 330 м. Именно в кривых такого радиуса в наибольшей степени проявляется поверх-

ностное выкрашивание головки рельса. Данные видеоконтроля одной из таких кривых представлены на рис. 3.

Грузонапряженность по пути составляет 158,4 млн т брутто на км в год. Установленная скорость для горно-перевального участка, пассажирских и грузовых поездов – 70/60 км/ч.

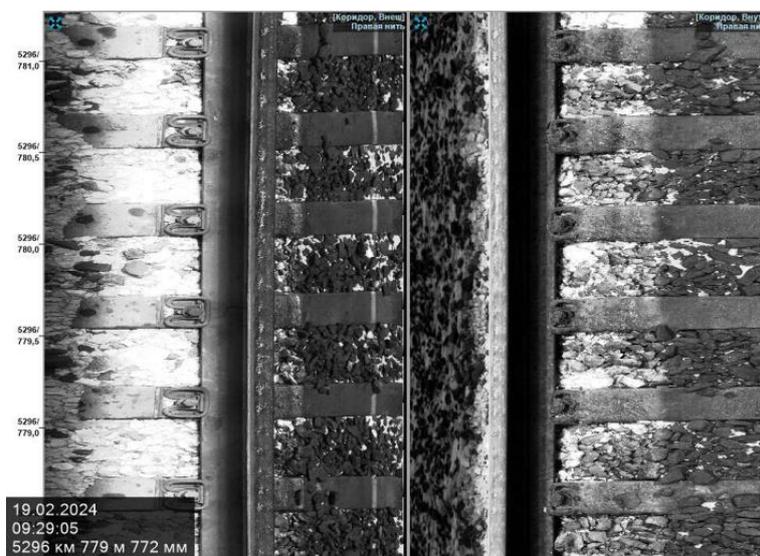


Рис. 3. Результаты видеоконтроля

Fig. 3. Video monitoring results

Таблица 1. Характеристика экспериментальных участков (по проектной документации)

Table 1. Characteristics of experimental sites (according to project documentation)

№	Км начала Km of start	Км конца Km of the end	Длина, м Length, m	Радиус, м Radius, m	Возвышение, мм Elevation, mm	Уклон, % Slope, %	Ширина колеи, мм Track width, mm	Закалка рельса Hardening of the rail	Тип скрепления Mounting type
1	5 234 + 120	5 234 + 646	526	297	110	Подъем 14,2–17,9	1 535	Правая (внутренняя) Right (inner) ДТ350 Левая (наружная) Left (outer) ДТ350	ЖБР-65ПШМ
2	5 234 + 686	5 235 + 300	614	301	105	Подъем 14,2–18,3	1 530	Правая (наружная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутренняя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ

3	5 246 + 217	5 246 + 477	260	330	100	Подъем 3,7	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ
4	5 246 + 557	5 247 + 23	466	304	105	Площадка – спуск 1,9	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ350	ЖБР-65ПШМ
5	5 247 + 436	5 248 + 85	649	293	110	Площадка	1 535	Правая (внут- ренняя) Right (inner) ДТ350 Левая (наруж- ная) ДТ350 Left (outer)	ЖБР-65ПШМ
6	5 258 + 949	5 259 + 228	279	303	105	Спуск 0,9 – подъем 2,4	1 530	Правая (наруж- ная) Right (outer) ДТ370ИК Левая (внутрен- няя) Left (inner) ДТ370ИК	ЖБР-65ПШМ
7	5 259 + 254	5 259 + 812	558	300	105	Площадка 0,0 – спуск 2,5	1 535	Правая (внут- ренняя) Right (inner) ДТ370ИК Левая (наруж- ная) Left (outer) ДТ350	ЖБР-65ПШМ

### Анализ соответствия проектных параметров кривых с фактическими

Рассматривая карточки кривых исследуемых участков, можно увидеть некоторое несоответствие проектных и фактических параметров, отмечаемое в разности длин переходных и круговых кривых, радиусов, а также возвышений наружного рельса. Особо стоит обратить внимание на завышенное фактическое возвышение по сравнению с проектным на всех исследуемых участках. На участке № 1 среднее возвышение наружного рельса, судя по карточке, равно 119 мм (на 9 мм больше, чем по проекту). На участке № 2 эта разница составляет 14 мм – 105 мм по проекту и 119 мм по карточке кривой.

Ниже представлена карточка кривой по исследуемому участку № 1 (5 234 + 120 км – 5 234 + 646 км) (рис. 4).

Из представленной карточки отметим несоответствия проектных и фактических данных:

– по проекту радиус кривой – 297 м, фактически – меняется с 300 до 400 м, в среднем равен 310 м;

– возвышение наружного рельса по проекту должно быть 110 мм, фактически оно меняется от 93 до 129 мм, а в среднем равно 119 мм.

Анализ лент по результатам прохода вагона путеизмерителя с февраля по сентябрь 2023 г. на исследуемых участках показывает

постоянное изменение параметров кривых и нестабильность рельсовой колеи. Так, в феврале 2023 г. фактическое возвышение наружного рельса на участке № 1 имело величину 132 мм (по проекту 110 мм), ширина рельсовой колеи в некоторых местах доходила до 1 540 мм, радиус кривой соответствует проекту 297 м (см. рис. 4). В марте данная кривая имела следующие параметры: возвышение 128 мм, ширина колеи 1 542 мм, радиус 300 м; в мае – 121 мм, 1 538 мм и 301 м; в сентябре – 121 мм, 1 542 мм и 299 м (рис. 5).

Изменение возвышения наружного рельса связано с интенсивным ростом вертикального износа внутренней нити в кривых (в этом случае возвышение увеличивается), а также выполняемыми работами по текущему содержанию пути (в этом случае возвышение уменьшается). Основными работами по теку-

щему содержанию пути, влияющими на изменение возвышения, являются выправка пути в профиле и смена рельсов.

### Анализ скоростемерных лент

Для определения фактической скорости движения подвижного состава проводился анализ скоростемерных лент на исследуемых участках. Всего было рассмотрено около 50 лент по каждому участку (т.е. 192 ленты) в период отсутствия ограничений по скорости. На рис. 6 представлен фрагмент одной из скоростемерных лент. Все данные сведены в табл. 2.

Расшифровка скоростемерных лент показала, что на особо грузонапряженных участках в условиях горных перевалов грузовые поезда почти всегда следуют со скоростью меньшей расчетной или установленной. Так, на исследуемом участке 5 234 км фактическая скорость

Кривая: правая 16	Характеристики кривой									1-я переходные 2-я					
	Начало			Конец			дл.	разн.	уг	Отвод		Отвод			
км	м	разн.	км	м	разн.	макс				ср.	дл	макс	ср.	дл	
план	5234	135	1	5234	662	15	527	16	81,82	1,47	1,07	82	1,32	1,04	92
уровень	5234	136	1	5234	647	15	511	16	0	1,53	1,05	78	1,41	1,07	85
пр. сл. 36	Характеристика круговой кривой									Анп		Ψ	Скор.	пасс.	гру
	Начало			Конец			дл.	Рад./Уров./Шаб.			0,49\0,53	0,08	V <sub>нз</sub> 70	60	
	км	м	разн.	км	м	разн.		min	макс	ср.					0,16\0,24
план	5234	217	3	5234	570	12	353	300	400	310	1,51	V <sub>нз</sub> 95	90		
уровень	5234	214	3	5234	558	12	344	93	129	119				V <sub>кр</sub> 100	96
шаблон								1519	1542	1536	V <sub>кр</sub> 95	90			
Боковой износ:	> 6мм: 415м			> 10мм: 49м			> 15мм: 0м			11	7,7	V <sub>кр</sub> 75	75		

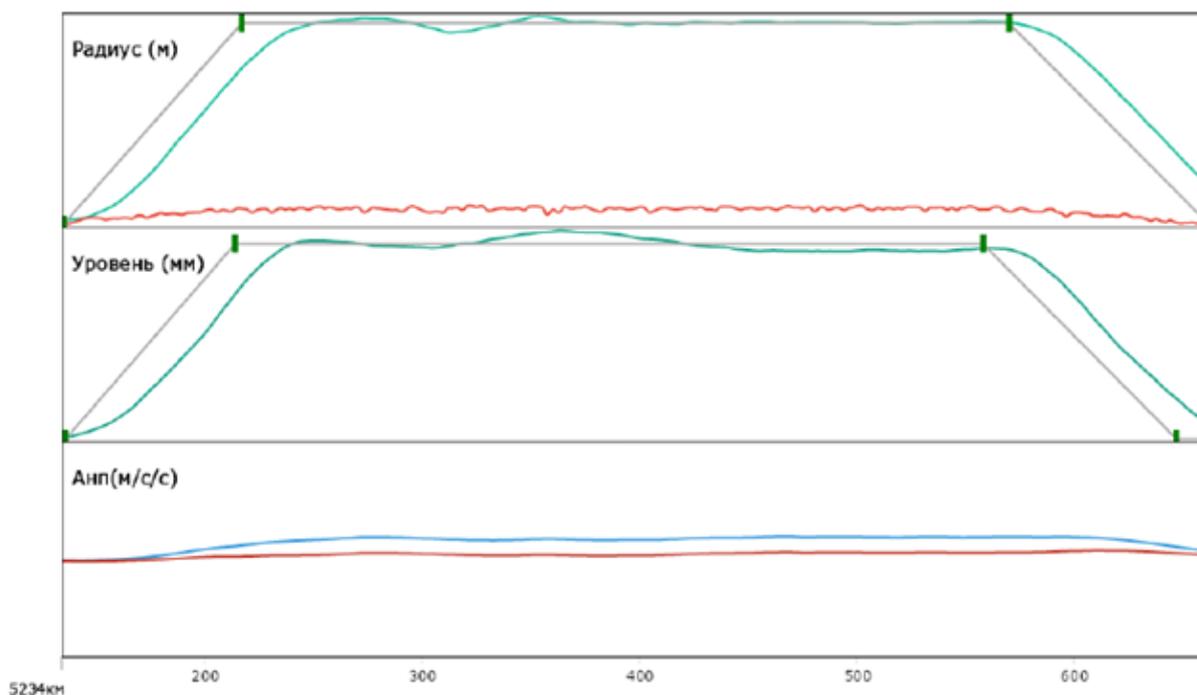
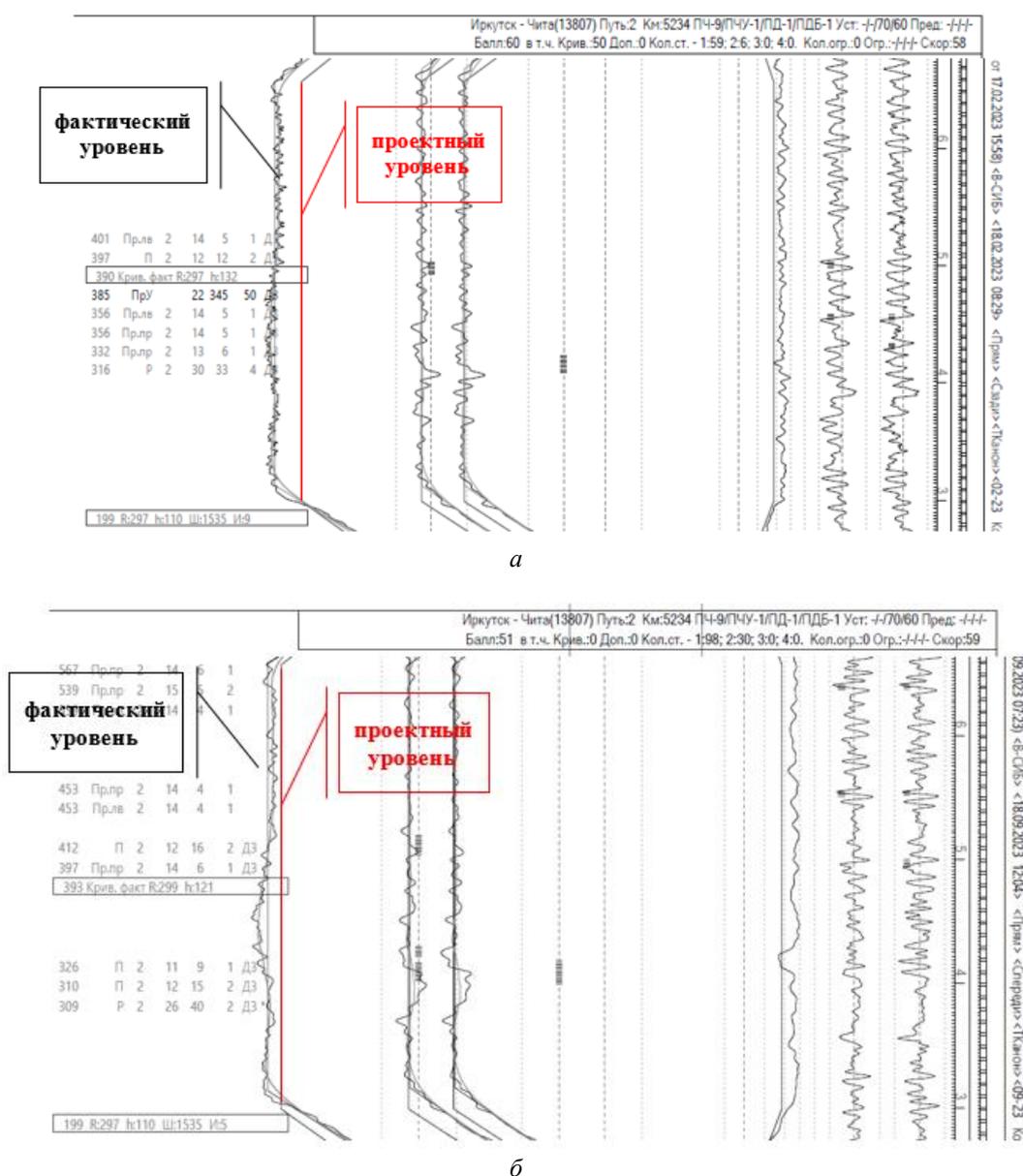


Рис. 4. Карточка кривой (исследуемый участок № 1)  
Fig. 4. Curve card (experimental section No 1)



**Рис. 5.** Фрагмент ленты вагона путеизмерителя:  
 а – февраль 2023 г.; б – сентябрь 2023 г.

**Fig. 5.** A fragment of the track measuring wagon tape:  
 а – February 2023; б – September 2023

ниже установленной на 26,72 %, на 5 246 и 5 247 км разница составляет 17,2 %, на 5 259 км – 26,41 %.

### Расчет контактного давления, передающегося от колеса на головку рельса

Расчет проводился с применением программного комплекса «Универсальный механизм». Определялось контактное давление, передающееся от подвижного состава на головку рельса.

Повышение осевых нагрузок неизбежно вызывает рост механических напряжений в зоне контакта колеса и рельса. От количественных параметров взаимодействия рельса и колеса во многом зависят безопасность движения и основные технико-экономические показатели хозяйств пути и подвижного состава, в том числе интенсивность износа рельсов, развитие контактно-усталостных дефектов, гарантированный пропущенный тоннаж и т.д. [11–18].



Рис. 6. Фрагмент скоростемерной ленты  
Fig. 6. A fragment of a speed-measuring tape

Таблица 2. Показатели фактической скорости движения

Table 2. Indicators of the actual speed of movement

Характеристика подвижного состава Characteristics of the rolling stock				Фактическая скорость движения, км/ч Actual driving speed, km/h		
Локомотив The locomotive	Масса, т Weight, t	Количество вагонов Number of wagons	Осевая нагрузка, т/ось Axial load, t/axle	5 234 км	5 246–5 247 км	5 259 км
ВЛ85-3ЭС5К	6 254	70	22,34	41	53	44
3ЭС5К-3ЭС5К	7 128	74	24,08	37	44	37
...	...	...	...	...	...	...
Средняя масса состава, т Average weight of the train, t	<b>5 954,04</b>	Средняя осевая нагрузка, т/ось Average axial load, t/axle	<b>22,18</b>	<b>43,97</b>	<b>49,68</b>	<b>44,15</b>

Колесо соприкасается с головкой рельса по некоторой площадке. Величины и закон распределения напряжений по площадке контакта зависят от динамической нагрузки колеса, соотношения нормальной и касательных составляющих вектора колесной нагрузки, формы контактирующих поверхностей и др.

Впервые решение основных задач о контактных напряжениях и деформациях было получено на основе методов теории упругости в 1881–1882 гг. Г. Герцем.

Исходя из решения нормальной задачи Герца максимальное контактное напряжение  $P_{\max}$  может быть рассчитано по формуле (1):

$$P_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3FE^2}{2\pi^3 r_e^2 (1-\varepsilon^2)^2}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости;  $F$  – нормальная сила нагружения колеса и рельса;  $r_e$  – эквивалентный радиус, зависящий от характерных радиусов взаимодействия колеса и рельса в месте контакта;  $\varepsilon$  – коэффициент Пуассона.

Следует иметь в виду, что контактная теория Герца справедлива при следующих допущениях:

- контактирующие поверхности однородны и изотропны;
- силы трения в зоне контакта не действуют;
- размер контактной площадки мал по сравнению с размерами контактирующих тел и характерными радиусами кривизны недеформированных поверхностей;
- для контактной задачи использовано решение линейного упругого полупространства;
- контактирующие поверхности гладкие.

В расчете приняты следующие исходные данные:

- максимальная осевая нагрузка – 25 тс/ось;
- установленная скорость движения грузовых поездов – 60 км/ч;
- фактическая скорость движения грузовых поездов на 5 234 км – 44 км/ч, на 5 246–5 247 км – 50 км/ч, на 5 259 км – 44 км/ч.

– рельсы Р65, шпалы железобетонные, эпюра шпал 2 000 шт/км, тип креплений – ЖБР-65ПШМ, балласт – щебень из естественного камня.

– план и профиль пути моделировался на основании данных из карточек кривых и лент вагона путеизмерителя для участков по проектным и фактическим параметрам кривых;

– неровности геометрии рельсовой колеи и поверхности катания колеса не учитывались;

– боковой и вертикальный износ рельсов не учитывался.

Результаты расчета изменения контактного давления во времени представлены в виде графиков на рис. 7. Данные графиков были статистически обработаны, результаты сведены в табл. 3–5. Учитывалось движение экипажа только по круговой кривой. В таблицах также представлены все значения, полученные по результатам исследований. Проект соответствует проектным параметрам кривых, факт – фактическим. Результаты обобщенных данных также отображены на графиках (рис. 8).

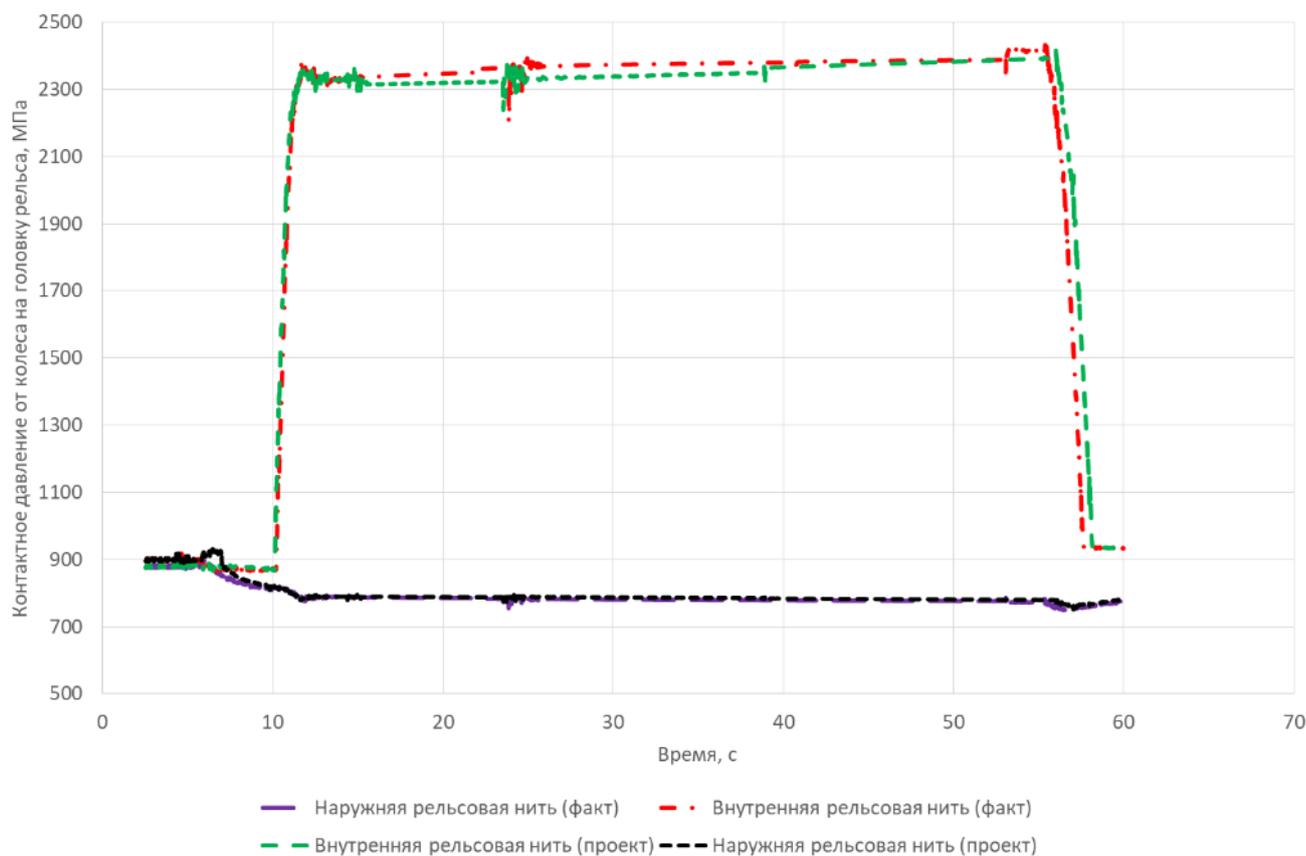


Рис. 7. График изменения контактного давления на рельсы

Fig. 7. Graph of changes in contact pressure on rails

**Таблица 3.** Статистические данные значений контактного давления от подвижного состава на рельсы, скорость движения 60 км/ч

**Table 3.** Statistical data of contact pressure values from rolling stock to rails, travel speed 60 km/h

Статистические данные Statistical data	Контактное давление, МПа Contact pressure, MPa			
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Наружная рельсовая нить (факт) Outer rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (проект) Internal rail (project)	Наружная рельсовая нить (проект) Outer rail (project)
Среднее Average	2 368,13	781,80	2 344,71	786,74
Стандартное отклонение Standard deviation	18,69	3,67	21,47	2,68
Экцесс Excess	1,77	0,53	-0,73	-0,39
Минимум Minimum	2 208,06	746,01	2 238,72	771,29
Максимум Maximum	2 393,68	793,64	2 382,94	797,73

**Таблица 4.** Статистические данные значений контактного давления от подвижного состава на рельсы, скорость движения 44 км/ч

**Table 4.** Statistical data of contact pressure values from rolling stock to rails, driving speed 44 km/h

Статистические данные Statistical data	Контактное давление, МПа Contact pressure, MPa			
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)			
Среднее Average	2 431,51	773,27	2 418,04	775,23
Стандартное отклонение Standard deviation	10,70	1,58	6,80	3,03
Экцесс Excess	2,65	4,58	21,14	-1,09
Минимум Minimum	2 342,49	758,25	2 334,17	759,59
Максимум Maximum	2 454,44	784,44	2 457,54	785,28

**Таблица 5.** Обобщенные данные средних значений контактного давления на рельсы

**Table 5.** Generalized data on average values of contact pressure on rails

Скорость движения, км/ч Driving speed, km/h	Средние значения контактного давления на рельсы, МПа Average values of contact pressure on rails, MPa				Непогашенное ускорение, м/с <sup>2</sup> Outstanding acceleration, m/s <sup>2</sup>	
	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Внутренняя рельсовая нить (факт) Internal rail (fact)	Факт Fact	Проект Project
43,97	2 431,51	773,27	2 418,04	775,23	-0,25	0,17
60,00	2 368,13	781,80	2 344,71	786,74	0,16	0,26

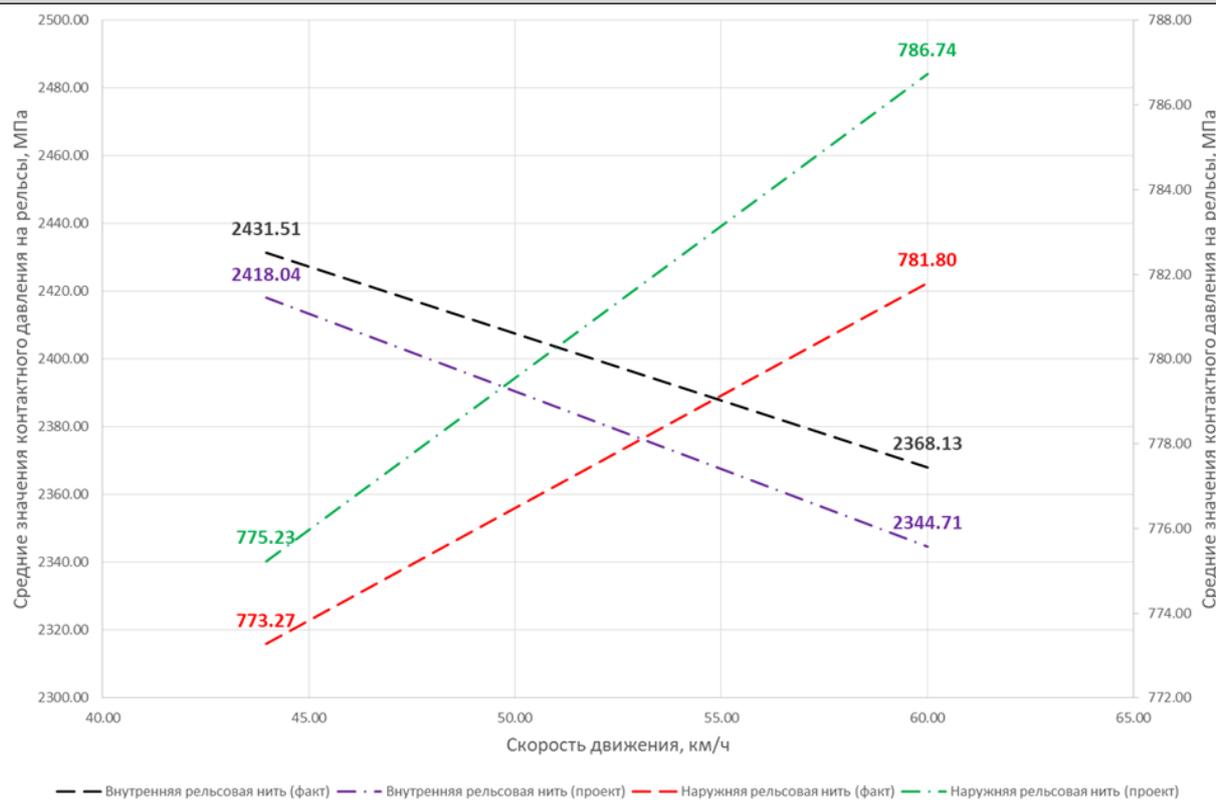


Рис. 8. Средние значения контактного давления на рельсы

Fig. 8. Average values of contact pressure on rails

При проведении статистической обработки результатов расчета выявлено следующее:

- наибольшие значения контактного давления по внутренней нити (2 434,51 МПа) получены для случая, при котором параметры кривой на участке 5 234 км ПК 2–7 отличаются от проектных данных, в сочетании со скоростью движения подвижного состава ниже установленной на 16 км/ч (26,7 %);

- превышение давления по поверхности катания по внутренней нити (2 434,51 МПа) выше чем по наружной нити (773,27 МПа) в 3,14 раза, что говорит о существенной неравномерности нагрузки на рельсы и перегрузу внутренней нити;

- расчет непогашенного ускорения ( $-0,25 \text{ м/с}^2$ ) для этой кривой с фактическими параметрами, отличающимися от проектных данных при скорости движения ниже установленной, подтверждает перегруз внутренней нити.

Обращаем внимание, что расчет проводился при фактическом возвышении рельса, согласно данным карточки кривой, равном 119 мм и при проектном возвышении, равном 110 мм. Отличие возвышения наружного рельса в 9 мм с учетом сниженной скорости относительно

установленной на 16 км/ч привело к увеличению контактного давления по внутренней рельсовой нити на 3,6 %. Можно спрогнозировать, что при возвышении в 132 мм (завышение от проекта на 22 мм) этот параметр возрастет на 8,3 %. Безусловно, это неблагоприятно скажется на работе внутренней нити кривой.

### Заключение

Исходя из проведенных расчетов и исследований можно сказать, что основная цель данной работы в целом достигнута.

Анализ лент вагона путеизмерителя, скоростемерных лент в сочетании с расчетом контактного давления показывает значительное воздействие подвижного состава на внутреннюю рельсовую нить даже при проектных параметрах кривых, не говоря уже о фактических.

Основной причиной появления и развития контроленепригодности рельсов на горно-перевальном участке Большой Луг – Слюдянка является перегруз внутренней рельсовой нити, вызванный несоответствием возвышения наружного рельса проектным значениям и отклонением от нормы фактических скоростей движения поездов по участку.

**Список литературы**

1. Альбрехт В.Г., Шиладжян А.А. Работа рельсов в крутых кривых // Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации : сб. науч. тр. М., 2000. С. 42–54.
2. Величко Д.В. Влияние типа рельсовых скреплений на размер ширины колеи, получаемой при сборке рельсошпальной решетки // Актуальные проблемы Транссиба на современном этапе : материалы науч.-практ. конф. Новосибирск, 2001. С. 245.
3. Величко Д.В. Влияние конструкций промежуточных скреплений на ширину рельсовой колеи // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири : сб. науч. тр. Новосибирск, 2003. С. 108–116.
4. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. М. : ПТКБ ЦП МПС, 1997. 207 с.
5. Ершков О.П. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые (теоретические основы) // Труды ВНИИЖТ. 1963. Вып. 268. С. 64–125.
6. Ершков О.П. Применение графиков-паспортов для оценки воздействия локомотивов на путь в кривых. М. : Транспорт, 1964. 34 с.
7. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М. : Транспорт, 1997. 325 с.
8. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. М. : Транспорт, 1969. 206 с.
9. Вершинский С.В., Данилов В.И., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М. : Транспорт, 1991. 360 с.
10. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. М. : Транспорт, 1987. 479 с.
11. Диль В.Ф., Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н. Анализ параметров динамики вагона в кривых участках ВСЖД малого радиуса с использованием специализированного комплекса // Безопасность регионов – основа устойчивого развития : материалы IV междунар. конф. Иркутск, 2014. Т. 1-2. С. 104–108.
12. Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н., Мартыненко Л.В. Анализ силового воздействия на колесо-рельс в условиях эксплуатации пути на горных перевалах малого радиуса ВСЖД // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. Т. 2. С. 531–534.
13. Уровень взаимодействия подвижного состава и пути в зависимости от его состояния / Д.В. Овчинников, А.Ю. Абдурашитов, В.А. Покацкий и др. // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство : тр. XVII науч.-практ. конф. с междунар. участием. Москва, 2021. С. 4–13.
14. Галлямов Д.И., Овчинников Д.В. Влияние подуклонки рельсов на контактные напряжения и давления в системе «колесо – рельс» // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. 2023. Т. 82. № 1. С. 9–17.
15. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при различных условиях эксплуатации на основе моделирования методом конечных элементов / А.Ю. Абдурашитов, Д.В. Овчинников, В.П. Сычев и др. // Известия Транссиба. 2023. № 1 (53). С. 62–73.
16. Галлямов Д.И., Овчинников Д.В. Изменение параметров пятна контакта системы «колесо – рельс» в процессе совершенствования профиля рельса // Наука и образование транспорту. 2021. № 2. С. 212–217.
17. Покацкий В.А., Овчинников Д.В., Галлямов Д.И. Контактные напряжения при различном расположении колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 3. С. 7–10.
18. Работа пути в условиях тяжеловесного движения / О.А. Суслов, В.О. Певзнер, И.Б. Петропавловская и др. // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. чтения, посвящ. памяти профессора Г.М. Шахуняца. М., 2016. С. 138–140.

**References**

1. Al'brecht V.G., Shiladzhyan A.A. Rabota rel'sov v krutykh krivykh [The work of rails in steep curves]. *Trudy Vserossiiskogo ordena Trudovogo Krasnogo Znameni nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnoogo transporta «Povyshenie nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii»* [Proceedings of the All-Russian Order of the Red Banner of Scientific-Research Institute of Railway Transport «Improving the reliability of the upper structure of the track in modern operating conditions»]. Moscow, 2000, pp. 42–54.
2. Velichko D.V. Vliyaniye tipa rel'sovykh skreplenii na razmer shiriny kolei, poluchaemoy pri sborke rel'soshpal'noi reshетки [The influence of the type of rail fasteners on the size of the track width obtained during the assembly of the rail grating]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy Transsiba na sovremennom etape»* [Proceedings of the Scientific-Practical Conference «Actual problems of the Trans-Siberian Railway at the present stage»]. Novosibirsk, 2001, pp. 245.
3. Velichko D.V. Vliyaniye konstruksii promezhutochnykh skreplenii na shirinu rel'sovoi kolei [The influence of intermediate fastener designs on the width of the rail track]. *Sbornik nauchnykh trudov «Zheleznye i avtomobil'nye dorogi v usloviyakh Sibiri»* [Proceedings «Railways and highways in Siberian conditions»]. Novosibirsk, 2003, pp. 108–116.
4. Verigo M.F. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava v krivykh malogo radiusa i bor'ba s bokovym iznosom rel'sov i grebnei koles [Interaction of track and rolling stock in small radius curves and the fight against lateral wear of rails and wheel ridges]. Moscow: PTKB TsP MPS Publ., 1997. 207 p.
5. Ershkov O.P. Postroeniye grafikov udel'nykh kharakteristik i grafikov-pasportov vpsyvaniya zheleznodorozhnykh ekipazhei v krivye (teoreticheskie osnovy) [Plotting of specific characteristics and schedules-passports inscribing railway crews in curves (theoretical foundations)]. *Trudy VNIIZHT* [Proceedings of the All-Union Scientific-Research Institute of Railway Transport], 1963, is. 268, pp. 64–125.
6. Ershkov O.P. Primeneniye grafikov-pasportov dlya otsenki vozdeistviya lokomotivov na put' v krivykh [Application of schedules-passports to assess the impact of locomotives on the track]. Moscow: Transport Publ., 1964. 34 p.

7. Kogan A.Ya. Dinamika puti i ego vzaimodeistvie s podvizhnym sostavom [Dynamics of the track and its interaction with rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1997. 325 p.
8. Kogan A.Ya. Vertikal'nye dinamicheskie sily, deistvuyushchie na put' [Vertical dynamic forces acting on the track]. Moscow: Transport Publ., 1969. 206 p.
9. Vershinskii S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona [Wagon Dynamics]. Moscow: Transport Publ., 360 p.
10. Shakhunyants G.M. Zheleznodorozhnyi put' [Railway track]. Moscow: Transport Publ., 1987. 479 p.
11. Dil' V.F., Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N. Analiz parametrov dinamiki vagona v krivyykh uchastkakh VSZhD malogo radiusa s ispol'zovaniem spetsializirovannogo kompleksa [Analysis of the parameters of the dynamics of the wagon in the curved sections of the small-radius of East Siberian railway with the use of a specialized complex]. *Materialy IV Mezhdunarodnoi konferentsii «Bezopasnost; regionov – osnova ustoychivogo razvitiya»* [Proceedings of the IV International Conference «Regional security – the basis of sustainable development»]. Irkutsk, 2014, vol. 1-2, pp. 104–108.
12. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. [Analysis of the force effect on the wheel-rail in the conditions of operation of the track on the mountain passes of the small radius of the East Siberian Railway]. *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the VII International Scientific-Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2016, vol. 2, pp. 531–534.
13. Ovchinnikov D.V., Abdurashitov A.Yu., Pokatskii V.A., Kadyrov R.R. Uroven' vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i puti v zavisimosti ot ego sostoyaniya [The level of interaction of rolling stock and track depending on its condition]. *Trudy XVII nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vnedrenie sovremennykh konstruktivnykh i peredovykh tekhnologii v putevoe khozyaistvo»* [Proceedings of the XVII Scientific and Practical Conference with international participation «Introduction of modern structures and advanced technologies into the track facilities»]. Moscow, 2021, pp. 4–13.
14. Gallyamov D.I., Ovchinnikov D.V. Uroven' vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i puti v zavisimosti ot ego sostoyaniya [The influence of rail inclination on contact stresses and pressures in the «wheel – rail» system]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2023, vol. 82, no. 1, pp. 9–17.
15. Abdurashitov A.Yu., Ovchinnikov D.V., Sychev V.P., Sycheva A.V. Vliyanie poduklonki rel'sov na kontaktnye napryazheniya i davleniya v sisteme «koleso – rel's» [Assessment of the stress-strain state of rails under various operating conditions based on modeling by the finite element method]. *Izvestia Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2023, no. 1 (53), pp. 62–73.
16. Gallyamov D.I., Ovchinnikov D.V. Izmenenie parametrov pyatna kontakta sistemy «koleso – rel's» v protsesse sovershenstvovaniya profilya rel'sa [Changing the parameters of the contact patch of the «wheel – rail» system in the process of improving the rail profile]. *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and education for transport], 2021, no. 2, pp. 212–217.
17. Pokatskii V.A., Ovchinnikov D.V., Gallyamov D.I. Kontaktnye napryazheniya pri razlichnom raspolzhenii kolesa i rel'sa [Contact stresses at different arrangements of the wheel and rail]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2020, no. 3, pp. 7–10.
18. Suslov O.A., Pevsner V.O., Petropavlovskiy I.B., Tret'yakov V.V., Gromova T.I., Tret'yakov I.V., Shapetko K.V., Smelyanskaya I.S., Tomilenko A.S. Rabota puti v usloviyakh tyazhelovesnogo dvizheniya [The work of the track in conditions of heavy traffic]. *Trudy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Chteniya, posvyashchennye pamyati professora G.M. Shakhunyantsa «Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti»* [Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference. Readings dedicated to the memory of Professor G.M. Shakhunyants «Modern problems of design, construction and operation of a railway track»]. Moscow, 2016, pp. 138–140.

#### Информация об авторах

**Ковенькин Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: kovenkin\_da@irgups.ru.

#### Information about the authors

**Dmitrii A. Koven'kin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kovenkin\_da@irgups.ru.

## Влияние различных скоростей движения поездов на силовое взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути в условиях высокой грузонапряженности

А.А. Осколков<sup>1,2</sup>, Т.Н. Асалханова<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры – структурное подразделение Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉asalk-tatyana@yandex.ru

### Резюме

В условиях активного развития российско-китайских торгово-экономических отношений и ориентации перевозочного процесса нашей страны на восток возникают новые вызовы для железнодорожной инфраструктуры, связанные с расширением объемов грузопотока по Восточному полигону. Провозная способность по железным дорогам полигона к 2024 г. должна увеличиться до 180 млн т в год, а транзитный контейнеропоток – почти в 4 раза; к 2030 г. планируется рост первого показателя до 255 млн т. Таким образом, полигон становится одним из ключевых российских транспортных коридоров. В этих условиях эксплуатации инфраструктурный комплекс будет испытывать огромную нагрузку. Планирование и организация текущего содержания железнодорожного пути, ремонтных работ становятся сложной задачей для структурных подразделений путевого хозяйства: с одной стороны, обеспечение качественной эксплуатации пути, а с другой – сохранение пропускной способности с учетом установленных скоростей и безопасности движения подвижного состава. Анализ инцидентов, зафиксированных в Единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой за последние годы по Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры, показал, что на указанные процессы негативно влияют отказы технических средств, ненадежность конструкций элементов верхнего строения пути, а также недостаточные меры безопасности в виде ограничения скорости движения. Для решения стоящих проблем необходимо искать новые подходы к планированию, организации и выполнению работ по поддержанию объектов инфраструктуры путевого хозяйства на требуемом техническом уровне в условиях высокой грузонапряженности с целью обеспечения безопасного движения поездов с установленными скоростями, использовать различные способы продления ресурсного срока эксплуатации железнодорожного пути и пересматривать скоростные режимы, которые должны не только способствовать повышению безопасности перевозочного процесса, но и положительно повлиять на пропускную способность.

### Ключевые слова

железнодорожный путь, рельсовая нить, кривые участки пути, оптимальный скоростной режим, планирование, текущее содержание пути

### Для цитирования

Осколков А.А. Влияние различных скоростей движения поездов на силовое взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути в условиях высокой грузонапряженности / А.А. Осколков, Т.Н. Асалханова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 126–137. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).126-137.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 27.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 01.03.2024 г.; принята к публикации: 05.03.2024 г.

## The influence of different train speeds on the force interaction of rolling stock and railway track under high freight intensity

А.А. Oskolkov<sup>1</sup>, T.N. Asalkhanova<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>The East-Siberian Infrastructure Directorate – Structural Subdivision of the Central Directorate of Infrastructure – Branch of JSC «Russian Railways», Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉asalk-tatyana@yandex.ru

### Abstract

In the context of the widespread development of Russian-Chinese trade and economic relations and the orientation of our country's transportation process to the east, new challenges are faced by the railway infrastructure associated with an increase in freight traffic through the Eastern polygon. The freight capacity on the polygon's railways is expected to increase to 180 million tons per year by 2024, the transit container traffic almost four times, and by 2030 it is planned to increase to 255 million tons.

Therefore, the polygon is becoming one of the key Russian transport corridors. Under such operating conditions, the infrastructure complex experiences an enormous strain. Planning and organization of the current maintenance of the railway track and repair work are becoming a difficult task for the structural divisions of the track management: on the one hand, ensuring the quality operation of the track, and on the other, maintaining the passage of train traffic taking into account the established speeds and ensuring the safety of rolling stock. The analysis of incidents recorded in the unified corporate automated infrastructure management system in recent years by the East Siberian Directorate of Infrastructure showed that the planning and organization of the current maintenance of the track and the capacity of the East Siberian Railway are negatively affected by failures of technical means, insufficient reliability of the element design of the upper structure of the track, as well as the security measures in the form of a speed limit. To solve the problems, it is necessary to find new approaches to planning, organizing and performing work to maintain the technical level of track infrastructure facilities under high load conditions, ensuring safe movement of trains with established speeds, but also to consider methods for extending the service life of a railway track and revising the speed management system, which not only have to increase the safety of the transportation process, but also to have a positive effect on the throughput capacity of the transportation process while extending the service life of the track infrastructure.

### Keywords

railway track, rail thread, curved sections of track, optimal speed, planning, current maintenance of the track

### For citation

Oskolkov A.A., Asalkhanova T.N. Vliyaniye razlichnykh skorostei dvizheniya poezdov na silovoe vzaimodeistvie podvizhnogo sostava i zheleznodorozhnogo puti v usloviyakh vysokoi gruzonapryazhennosti [The influence of different train speeds on the force interaction of rolling stock and railway track under high freight intensity]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 126–137. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).126-137.

### Article info

Received: October 27, 2023; Revised: March 1, 2024; Accepted: March 5, 2024.

### Введение

В нормативно-технических документах ОАО «РЖД» по планированию, организации ремонтных путевых работ, текущему содержанию железнодорожного пути при выявлении критичных отступлений от норм и допусков содержания пути должны приниматься меры безопасности в виде плановых, первоочередных и неотложных путевых работ, как правило, для последних принято использовать меру безопасности в виде ограничения скоростей движения поездов. Правилами и инструкциями определяются общие принципы, технические параметры, нормы и требования в современных условиях ремонта железнодорожного пути, в том числе при высокой грузонапряженности, постоянном движении грузовых поездов с повышенной массой и длиной, то, что и наблюдается в последние годы на железных дорогах Восточного полигона [1–5].

С учетом существующих условий и дальнейшего развития магистральной инфраструктуры перед путевым хозяйством стоят определенные задачи по поддержанию показателей качества, надежности и работоспособности всех элементов железнодорожного пути в условиях нарастания нагрузки на путь. Прежде всего эти задачи касаются планирования, организации

технического обслуживания объектов путевой инфраструктуры Восточного полигона [6–9].

Своевременное выполнение путевых ремонтных работ часто связано с потерями пропускной способности, вызываемыми ограничением скорости движения поездов. Однако в ряде случаев можно определить, что не всегда ограничение скорости является эффективной мерой не только для обеспечения безопасности движения поездов, но и для снижения негативного воздействия на техническую составляющую инфраструктуры железнодорожного пути, которая напрямую связана с ресурсным сроком эксплуатации рельсовой нити [10, 11].

Целью статьи является анализ силового воздействия подвижного состава на рельсовые нити железнодорожного пути при различных скоростях движения, расчет рациональных скоростных режимов ведения поездов для повышения ресурса рельсов и снижения влияния на железнодорожный путь подвижного состава в условиях высокой грузонапряженности.

### Постановка проблемы

Режимы движения поездов на малых скоростях и критичные ограничения скорости – до 15–40 км/ч, устанавливаемые в кривом участке пути при возвышении 100 мм и более, способствуют повышенному вертикальному усилию

на внутреннюю рельсовую нить – до 156 кН, что на 35 кН больше, чем усилие на рельс при равновесном движении (121 кН) (рис. 1).

Разрушительное усилие на внутреннюю рельсовую нить возникает при отсутствии достаточной центробежной силы, необходимой для компенсации бокового воздействия, возникшего от поперечного уклона пути (горизонтальной составляющей силы тяжести) при установлении критического ограничения скорости движения. непогашенное ускорение рассчитывается по формуле (1):

$$A_{\text{нп}} = A_{\text{ц}} - A_{\text{T}} = \left( \frac{V^2}{R} \right) - \left( \frac{gH}{S} \right);$$

$$A_{\text{нп}} = \frac{\Delta F}{m} (\Delta F - \text{сила от } A_{\text{нп}}); \quad (1)$$

$$V_{\text{огр}} = \sqrt{\left( \frac{gHR}{S} \right)} \text{ при } A_{\text{нп}} \geq 0,$$

где  $A_{\text{нп}}$  – непогашенное ускорение вагона;  $A_{\text{ц}}$  – центростремительное ускорение вагона;  $A_{\text{T}}$  –

ускорение силы тяжести, вызванное уклоном железнодорожного пути [11–13].

Проведем расчеты силы давления на наружную нить при различных скоростях движения.

Силовое воздействие на железнодорожный путь рассчитывается по формуле моментов сил:

$$\sum M_{E_{\text{в}}} = 0; (E_{\text{н}} \cdot S - M_{\text{ц}} - F_{\text{T}} \cdot \cos \alpha \cdot l_{\text{в}}) / S = 0.$$

Сумма моментов сил относительно  $E_{\text{в}}$ :

$$\sum M_{E_{\text{н}}} = 0; (E_{\text{в}} \cdot S + M_{\text{ц}} - F_{\text{T}} \cdot \cos \alpha \cdot l_{\text{н}}) / S = 0.$$

Сумма моментов сил относительно точки

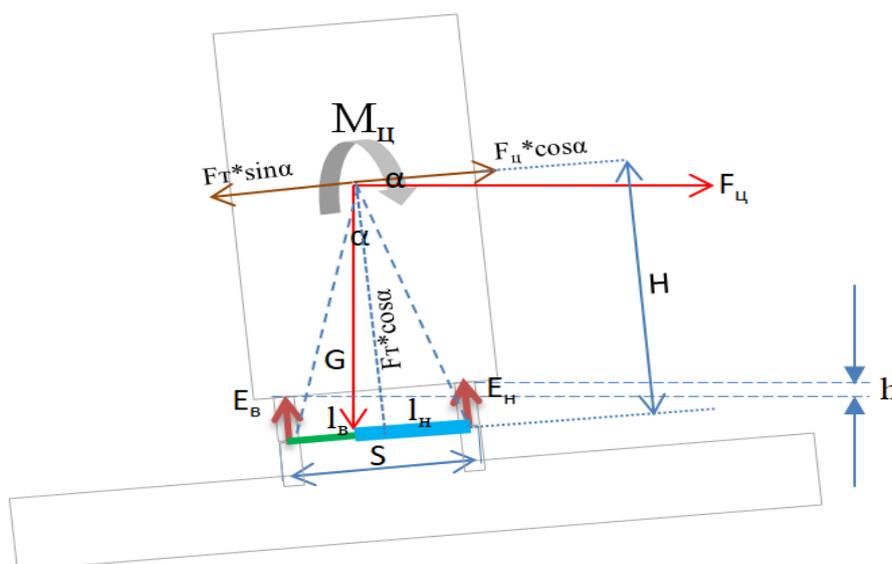
$E_{\text{н}}$ :

$$\sum F_{E_{\text{н}}} = 0; E_{\text{в}} + E_{\text{н}} - F_{\text{T}} \cdot \cos \alpha = 0$$

(проверка пройдена).

Расчет составляющих частей:

$M_{\text{ц}} = P \cdot V^2 \cdot H/R$  (момент от центробежной силы);  $F_{\text{T}} = m \cdot g$  (сила тяжести экипажа с тележкой вагона);  $l_{\text{н}} = (S/2) + H \cdot \tan \alpha$  (плечо от реакции опоры наружного рельса до проекции центра масс вагона);  $l_{\text{в}} = S - l_{\text{н}}$  (плечо от реакции опоры внутреннего рельса до проекции центра масс вагона).



**Рис. 1.** Боковое воздействие подвижного состава на наружную рельсовую нить:

$h$  – возвышение наружного рельса;  $S$  – ширина рельсовой колеи;  $\alpha$  – угол наклона железнодорожного пути;  $H$  – высота центра масс вагона;  $F_{\text{ц}}$  – центробежная сила;  $G$  – вес экипажа;  $F_{\text{T}}$  – сила тяжести экипажа с тележкой вагона;  $M_{\text{ц}}$  – момент вызванный центробежной силой;  $E_{\text{в}}$  – вертикальная реакция опоры внутреннего рельса;  $E_{\text{н}}$  – вертикальная реакция опоры наружного рельса;  $l_{\text{в}}$  и  $l_{\text{н}}$  – плечи от реакции опор внутреннего рельса и наружного рельса относительно проекции центра масс вагона

**Fig. 1.** Lateral impact of the rolling stock on the outer rail thread:

$h$  – elevation of the outer rail;  $S$  – width of the track;  $\alpha$  – inclination angle of the railway track;  $H$  – the height of the center of mass of the wagon;  $F_{\text{ц}}$  – the centrifugal force;  $G$  – the weight of the crew;  $F_{\text{T}}$  – the gravity of the crew with the trolley of the wagon;  $M_{\text{ц}}$  – the momentum caused by centrifugal force;  $E_{\text{в}}$  – the vertical reaction of the support of the inner rail;  $E_{\text{н}}$  – the vertical reaction of the support of the outer rail;  $l_{\text{в}}$  and  $l_{\text{н}}$  – the shoulders from the reaction of the supports of the inner rail and the outer rail relative to the projection of the center of mass of the wagon

вагона);  $m$  – масса вагона с экипажем взята 25 000 кг на ось;  $S$  – 1,58 м;  $h$  – 0,15 м;  $H$  – 2,5 м;  $R$  – 300 м.

При скорости 0 км/ч сила давления на внутреннюю нить  $F = 158$  кН, на наружный рельс – 85 кН.

При скорости 15 км/ч сила давления на внутренний рельс 156 кН, на наружный рельс – 87 кН.

При скорости 25 км/ч сила давления на внутренний рельс 152 кН, на наружный рельс 81 кН.

При скорости 40 км/ч сила давления на внутренний рельс 142 кН, на наружный рельс – 101 кН.

При  $V_{\text{опт}}$  60 км/ч сила давления на внутренний и наружный рельс  $E_e = E_n$  121 кН, что соответствует равносному движению подвижного состава, при котором горизонтальные и вертикальные усилия, действующие на подвижной состав, скомпенсированы.

Принимая во внимание расчет вертикального усилия на внутреннюю рельсовую нить, можно сделать вывод, что при ограничении скорости или следовании с низкой скоростью подвижной состав оказывает усилие на внутреннюю рельсовую нить, превышающее усилие на наружный рельс в 1,8 раза при 15 км/ч, в 1,7 раза при 25 км/ч, в 1,4 раза при 40 км/ч, в 1,2 раза при 50 км/ч. Стоит учитывать, что невыполнение скорости равновесного движения подвижного состава (следование с более медленной скоростью) создает перекося экипажа и зажатие скользуна вагона, тем самым повышая усилие для поворота тележки и бокового давления на рельсовую нить. Поэтому следование с медленной скоростью 15–40 км/ч в кривых участках пути малого радиуса значительно усугубит параметр неисправности по уширению рельсовой колеи и может привести к более негативным последствиям. Также важно определить, по какой рельсовой нити возникло уширение рельсовой колеи, для следующих случаев:

1. Если это наружная упорная рельсовая нить, то для обеспечения безопасности можно применить ограничение скорости, при котором центробежная сила будет полностью компенсироваться возвышением (непогашенное ускорение  $A_{\text{нп}} = 0$ , при этом трение на скользуна практически не будет препятствовать повороту тележки.

2. Если уширение пути возникло по состоянию внутренней рельсовой нити, то устанавливать ограничение скорости и следование со скоростью отрицательного непогашенного ускорения должно быть запрещено системой ведения поезда (для случая, когда причиной ограничения скорости не является другая неисправность пути, либо есть внешние причины, требующие снижения скорости).

### **Способы продления ресурса эксплуатации железнодорожного пути**

В результате анализа воздействия сил на рельсовую нить предлагаются способы, которые позволят эффективнее принимать меры безопасности, связанные с ограничением скорости движения подвижного состава, и повысить ресурс эксплуатации железнодорожного пути:

1. В кривых участках пути необходимо рассчитывать ограничение скорости без превышения скорости равновесного движения и не менее 5 км/ч, т. е. устанавливать скорость, при которой непогашенное ускорение  $A_{\text{нп}} = 0$  м/с<sup>2</sup>.

2. В кривых участках пути должны быть ограничены режимы движения локомотивов со скоростями менее 5 км/ч относительно равновесной скорости, но при условии отсутствия иных ограничений скорости или внешних обстоятельств.

3. В границах нестабильного участка железнодорожного пути, при наличии действующих допустимых для движения неисправностей в плане, запретить торможения подвижного состава, так как это критически усугубит параметр неисправности и может привести к резкому росту величины неисправности.

Предлагаемый расчет рациональной скорости необходимо производить по фактическому состоянию возвышения наружной нити в кривой (не по проекту), а также учитывать индивидуальное состояние наружной и внутренней рельсовых нитей пути, где важно исключить боковое воздействие на ослабленную рельсовую нить и выдержать оптимальный скоростной режим, обеспечивающий не только безопасный пропуск поездов с минимальным износом рельсов, но и рационально высокую скорость движения подвижного состава [14].

Таким образом, необходима разработка информационной системы управления рациональной скоростью (СУРС), в которой можно будет производить расчеты с рекомендациями по

принятию решений об ограничении скорости движения подвижного состава и передаче информации в корпоративные автоматизированные системы в режиме онлайн.

### Об ограничении скорости по величине растянутого стыкового зазора железнодорожного пути

Наряду со сложным планом пути и расчетом оптимального скоростного режима в СУРС не менее актуальным моментом является и другой фактор: необходимо также решить задачу моделирования воздействия скоростного режима в случае наличия растянутых зазоров и установленных нормативными документами мер безопасности для принятия рациональных решений содержания рельсового стыка в части улучшения безопасности движения и продления жизненного ресурса системы «колесо – рельс». Изучение системы «колесо – рельс» проводится с учетом различных условий, но все равно требуются дополнительные исследования [15].

В частности, предлагается провести расчет импульса ударной силы и мощности колеса железнодорожного состава в рельсовом стыке при учете различных скоростей движения (рис. 2).

Произведем расчет  $t$  – время касания колеса в стыке от нижней части колеса и края отдающего рельса (А) к точке касания колесом,

принимающего рельса (Е).

Для определения фазы полета колеса используем дифференциальные уравнения плоскопараллельного движения:

– координаты центра колеса определим по формуле (2):

$$x = V \cdot t; h = gt^2/2; \quad (2)$$

– скорости движения по проекциям движения колеса,  $\omega$  – угловая скорость – определим по (3):

$$V_x = V; V_y = gt; \omega = V/R. \quad (3)$$

Рассчитаем траекторию точки касания колеса с принимающим рельсом по формуле (4):

$$\begin{aligned} CEa &\geq a^2 + aE^2 = CE^2 = R^2; \\ aE &= \Delta - Vt; \\ Ca &= R - \frac{gt^2}{2}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$R^2 = (\Delta - Vt)^2 + \left(R - \frac{gt^2}{2}\right)^2.$$

Из полученной математической зависимости решаем уравнение четвертой степени, где находим время касания окружности колеса в точке Е принимающего рельса т.

Далее определим проекции точки С до удара на оси центроиды касания принимающего рельса и ее перпендикуляра по формуле (5):

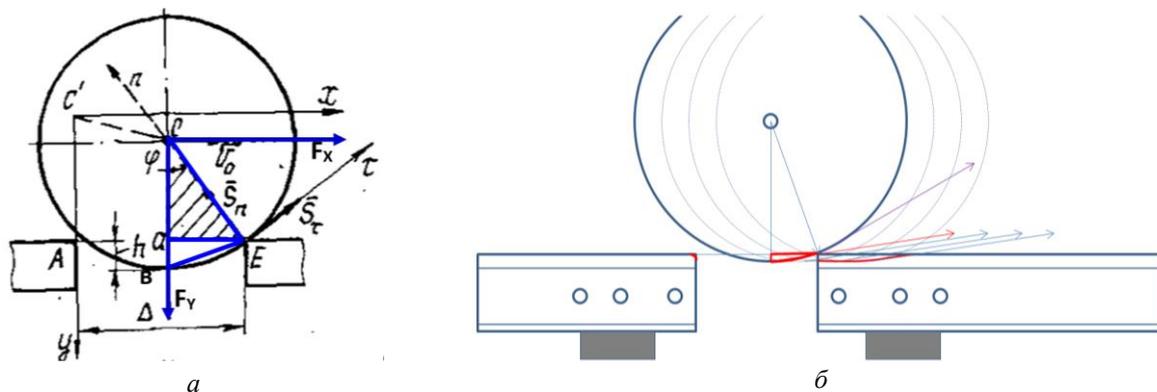


Рис. 2. Схема соударения колеса и рельса:

а – схема жесткого соударения колеса о принимающий рельс в стыке;

б – моделирование деформации поверхности принимающего рельса при одинаковой скорости качения колеса ( $\Delta$  – стыковой зазор АЕ;  $v$  – скорость центра колеса (точки С);  $v_0$  – угловая скорость качения колеса;  $h$  – высота свободного падения;  $R$  – радиус колеса;  $CE$  – центроида импульса удара колеса о принимающий рельс (траектория точки касания колеса с принимающим рельсом))

Fig. 2. Wheel and rail collision diagram:

а – the scheme of the hard collision of the wheel on the receiving rail at the junction;

б – modeling of deformation of the surface of the receiving rail at the same rolling speed of the wheel ( $\Delta$  – butt gap АЕ;  $v$  – wheel center velocity (point С);  $v_0$  – angular rolling velocity of the wheel;  $h$  – free fall height;  $R$  – wheel radius;  $CE$  – centroid of the wheel impact pulse on the receiving rail (trajectory of the point of contact of the wheel with the receiving rail-with a rail))

$$\begin{aligned} V_n &= V_x \sin \varphi + V_y \cos \varphi; \\ V_T &= V_x \cos \varphi - V_y \sin \varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

Вычислим, при каких скоростях существует свободное падение колеса, по формуле (6):

$$\Delta - aE < \Delta/2. \quad (6)$$

При указанной зависимости колесо будет иметь свободное падение. Необходимо определить скорость, при которой начинается свободное падение.

Для более точного расчета силы воздействия на принимающий рельс в точке  $E$  произведем расчет усилия, необходимого для преодоления колесом уступа, возникшего в результате свободного падения в период проезда стыкового зазора  $\Delta(AE)$ . Для этого построим схему преодоления колесом вертикального уступа в точке  $E$  и произведем дополнительный расчет проекции скорости  $V_{BE}$ , и проекций силы  $F_x$ ,  $F_y$ , из треугольника  $BaE$  (рис. 3).

Для дальнейших расчетов составим уравнение моментов сил (7) для преодоления уступа высотой  $h$  с плечами  $Ea$  и  $aB$ :

$$\begin{aligned} F_x \cdot d_1 - F_y d_2 &= 0; \\ d_1 &= Ca \text{ (момент } F_x \text{)}; \\ d_2 &= aE \text{ (момент } F_y = m \cdot g \text{)}; \\ d_1 &= R - h; \\ d_2 &= \Delta - V \cdot t; \\ d_2^2 &= R^2 - d_1^2; \\ V_{BE} &= \sqrt{(2Rh - h^2)}; \\ F_x &= \frac{mg \sqrt{(2Rh - h^2)}}{R - h}. \end{aligned} \quad (7)$$

Далее определим мощность горизонтального силового воздействия колеса в точке  $E$  как импульс скорости подвижного состава по (8):

$$N_x = V_{BE} \cdot \frac{mg \sqrt{(2Rh - h^2)}}{R - h}. \quad (8)$$

Определим мощность вертикального силового воздействия в точке  $E$  по формуле (9):

$$N_y = V_{AB} \cdot F_T = g \cdot t \cdot m \cdot g = m \cdot g^2 \cdot t. \quad (9)$$

Дополнительно вычислим максимальную высоту падения колеса  $h_{\max}$  при полном погружении колеса в рельсовый стык (рис. 4):

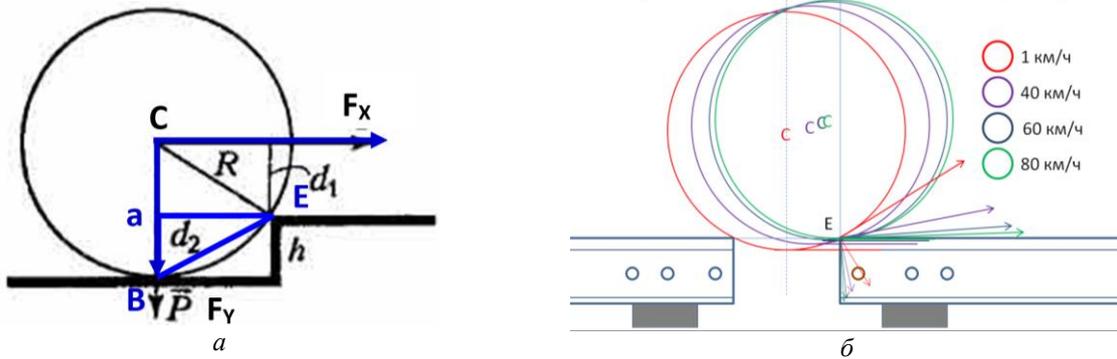


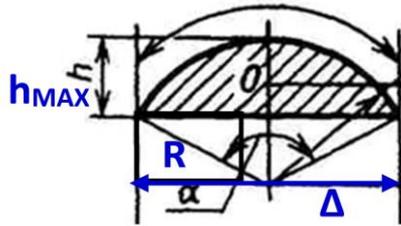
Рис. 3. Схема преодоления колесом вертикального уступа в точке  $E$ :

$a$  – схема жесткого соударения колеса о принимающий рельс в стыке при наличии вертикального уступа;  $b$  – моделирование расчетного положения поверхности колеса в рельсовом стыке в зависимости от скорости ( $h$  – величина вертикального уступа;  $v$  – скорость центра колеса (точки  $C$ );  $F_x$  – момент силы колеса для преодоления вертикального уступа горизонтальной силой тяги;  $F_y$  – момент от вертикальной силы тяжести колеса (с учетом массы экипажа), препятствующий преодолению колесом вертикального уступа;  $R$  – радиус колеса;  $d_1$  – плечо ( $R-h$ ) от приложения силы тяги;  $d_2$  – плечо ( $aE$ ) от приложения силы тяжести колеса, тележки с экипажем;  $CE$  – центр тяжести импульса удара колеса о принимающий рельс, имеющий вертикальный уступ)

Fig. 3. Diagram of the wheel overcoming the vertical ledge at point  $E$ :

$a$  – the scheme of the hard collision of the wheel on the receiving rail at the junction with a vertical ledge present;  $b$  – simulation of the calculated position of the wheel surface in the rail joint depending on the speed ( $h$  – magnitude of the vertical ledge;  $v$  – speed of the wheel center (point  $C$ );  $F_x$  – moment of wheel force to overcome the vertical ledge by horizontal traction;  $F_y$  – moment from the vertical gravity of the wheel (taking into account the mass of the crew) preventing the wheel from overcoming the vertical ledge;  $R$  – is the radius of the wheel;  $d_1$  – shoulder ( $R-h$ ) from the application of traction force;  $d_2$  – shoulder ( $aE$ ) from the application of gravity of the wheel, trolley with crew;  $CE$  – the centroid of the impulse of the wheel impact on the receiving rail having a vertical ledge)

$$h_{\max} = R - 0,5 * \sqrt{(4R^2 - \Delta^2)}.$$



**Рис. 4.** Схема определения максимальной высоты опускания колеса в стыке  $h_{\max}$  (свободного падения нет)

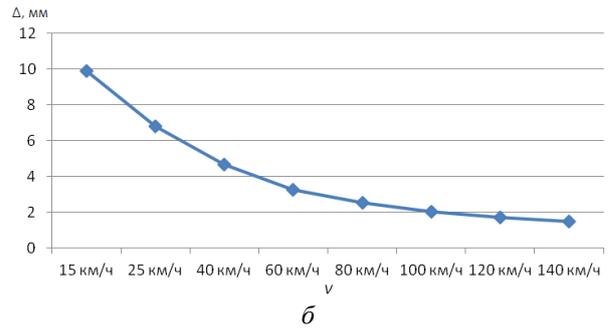
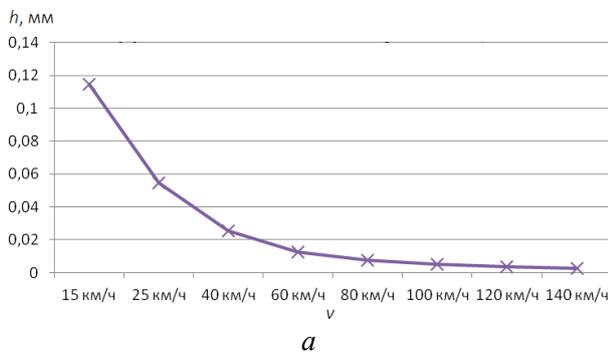
**Fig. 4.** Scheme for determining the maximum height of the wheel lowering at the joint  $h_{\max}$  (with no free fall)

Для анализа вычислим высоту  $h_{\Delta}$ , на которую может опуститься колесо за время полного перелета стыка (без учета качания точки  $E$ ), по формуле (10):

$$h_{\Delta} = 9,81 \cdot (\Delta/V_x)^2/2. \quad (10)$$

Для расчета принимается условие, что колесо неподрессоренной конструкции, масса колеса с экипажем из учета 25 т на ось будет равна  $M = 12\,500$  кг.

Расчетные параметры приведены в табл. 1. Для визуального анализа построим графики (рис. 5).



**Рис. 5.** Графики зависимостей рассчитываемых параметров от скорости:

$a$  – высоты свободного падения колеса  $h$ ;

$b$  – расстояния оси  $C$  до точки касания рельса окружностью колеса в точке  $E$  ( $aE$ )

**Fig. 5.** Graphs of the dependencies of the calculated parameters on the speed:

$a$  – the height of the free fall of the wheel  $h$ ;

$b$  – the distance of the axis  $C$  to the rail contact point  $E$  with the surface of the wheel

В результате визуального анализа можно сказать, что при скорости движения колеса 60 км/ч и более, величина свободного падения в растянутом стыке равна 30 мм и меняется незначительно, чем при скоростях 15, 25, 40 км/ч. Также это заметно и на графике расстояния касания точки  $E$ , которое от скорости становится все меньше, это свидетельствует о том, что колесо практически полностью перелетает растянутый стык 30 мм (рис. 6).

Анализ показывает, что при увеличении скорости подвижного состава происходит рост мощности горизонтального импульса колеса на принимающий рельс стыка, даже при незначительном свободном падении. При этом сила преодоления уступа от свободного падения снижается, так как уменьшается и сам уступ при возрастании скорости (рис. 7).

**Таблица 1.** Параметры воздействия колеса в стыке

**Table 1.** Wheel impact parameters at the joint

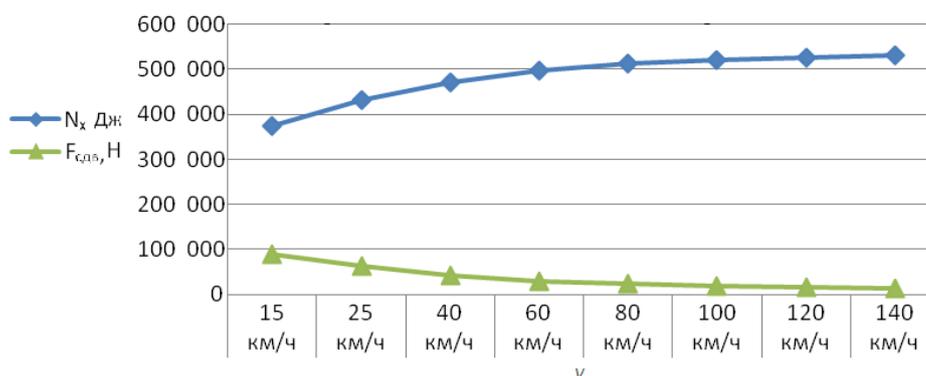
Скорость, км/ч	$\Delta$ , мм	$t$ , сек	$t_{\Delta}$ , сек	$h$ , мм	$h_{\Delta}$ , мм	$V_{Г}$ , м/с	$N_x$ , Дж	$N_y$ , Дж	$F_{сдв}$ , Н
15	9,866	0,0048	0,0072	0,1145	0,25	4,0544	375 201	5 812	90 042
25	6,8164	0,0033	0,0043	0,0547	0,09	6,7583	431 962	4 015	62 201
40	4,6571	0,0023	0,0027	0,0255	0,035	10,814	472 166	2 743	42 494
60	3,274	0,0016	0,0018	0,0126	0,015	16,222	497 919	1 928	29 875
80	2,524	0,0012	0,0014	0,0075	0,0089	21,63	511 881	1 487	23 034
100	2,054	0,00101	0,00108	0,00496	0,0057	27,0385	520 641	1 210	18 746
120	1,73	0,00085	0,0009	0,00353	0,0039	32,447	526 651	1 020	15 799
140	1,49	0,00073	0,00077	0,00264	0,0029	37,845	531 028	882	13 655

График зависимости мощности вертикального импульса от силы тяжести демонстрирует, что воздействие на рельс колеса снижается при увеличении скорости. Это является следствием снижения высоты свободного падения.

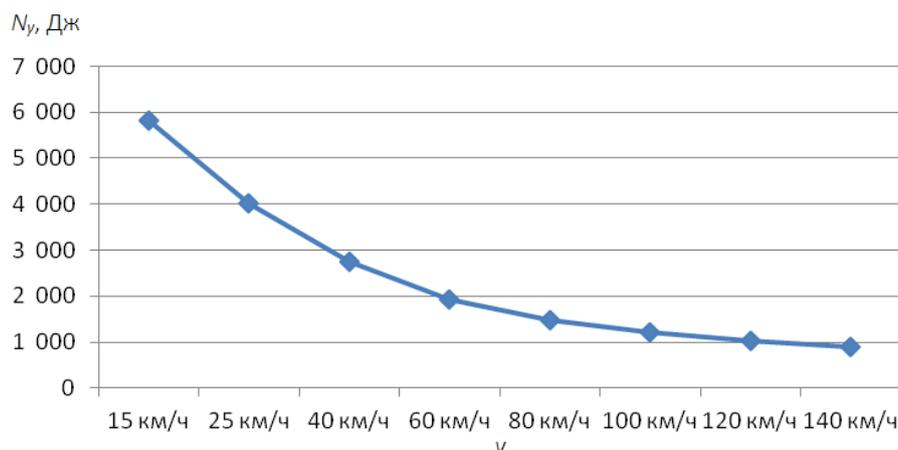
Дальнейшие исследования показали, что мощность от горизонтального воздействия на принимающий рельс превосходит в 75 раз мощность вертикального воздействия при скорости 15 км/ч икратно увеличивает данную

разницу от повышения скорости. Именно горизонтальное воздействие на стык является наиболее разрушительным фактором (рис. 8).

Данное явление относится к особенно опасным при наличии вертикального уступа в рельсе, принимающем удар. В частности, при скорости 60 км/ч сила при уступе в 1 мм превосходит усилие проезда стыка относительно расчетного понижения свободного падения в 9,5 раз, и стремительно возрастает при увели-



**Рис. 6.** Графики зависимостей сдвигающей силы и горизонтального импульса от скорости  
**Fig. 6.** Graphs of the dependence of the shear force and horizontal momentum on velocity



**Рис. 7.** График зависимости мощности вертикального импульса от скорости  
**Fig. 7.** Graph of the dependence of the vertical pulse power on the speed



**Рис. 8.** Результат от горизонтального импульса в рельсовом стыке  
**Fig. 8.** The result of the horizontal pulse in the rail joint

чений скорости подвижного состава (табл. 2). Последствия вертикального уступа приведены на рис. 9.

Основываясь на данных произведенного расчета для принятия рационального решения, важно обратить внимание на график максимального понижения колеса в стыке в зависимости от скорости (рис. 10).

Рассматривая величину  $h_{\Delta}$ , на которую может погрузиться колесо за время полного перелета центра колеса «С» стыкового зазора  $\Delta$ , можно предложить вариант производства шли-

фовки поверхности принимающего рельса на величину 0,2 мм с плавным переходом на поверхность катания, исключая ударную составляющую, либо создание переходной накладки, которая будет обеспечивать разницу в 0,2 мм для принимающего рельса. Рассмотрим классический пример минимального вертикального уступа пошерстного движения подвижного состава (рис. 11, 12), где на горизонтальную составляющую импульса будет влиять только сила трения и сила потери крутящего момента за время свободного падения колеса.



Рис. 9. Последствия вертикального уступа

Fig. 9. Consequences of vertical ledge

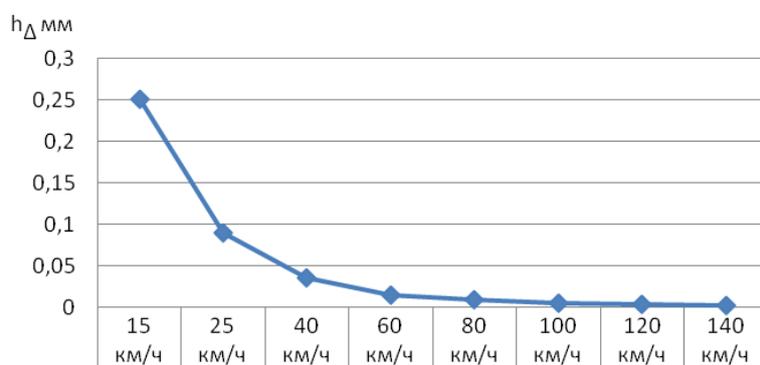


Рис. 10. График зависимости величины падения колеса при пролете стыка от скорости

Fig. 10. Graph of the dependence of the magnitude of the wheel drop during the passage of the joint on the speed



Рис. 11. Место перелета колеса  
Fig. 11. The place of the wheel flight



Рис. 12. Место перелета колеса при минимальном вертикальном уступе  
Fig. 12. The place of the wheel flight with a minimal vertical ledge

Визуальный анализ состояния мест перелета колеса (см. рис. 11 и 12) показывает фактическое наличие свободного полета колеса и подтверждает верное направление исследования.

### Предложения по результатам исследования

В результате проведенных теоретических исследований и расчетов предлагаются следующие мероприятия:

1. Если предположить, что пружинный комплект колесной пары усиливает падение колеса  $h_{\Delta}$  в 2–4 раза, то данный метод будет эффективнее, чем применяемые в настоящее время методы и инструменты исследований [16–18]. Необходимо учитывать, что подпружиненный механизм предназначен для компенсации дисбаланса груза, а также демпфирования усилия перевозимого груза на боковую раму и железнодорожный путь. Немаловажным фактором является наличие сухого трения пружинного механизма и его отдаленное расположение от осей тележки, что тоже является тормозящим фактором для сверхбыстрого опускания колеса при свободном падении. Для более точных результатов необходимы дополнительные расчеты и исследования.

2. Предлагаемый метод шлифовки поверхности принимающего рельса особенно актуален в изолирующих стыках как в конструктивно слабых местах железнодорожного пути.

Предлагается также рассмотреть использование этой технологии в местах сопряжения заднего стыка крестовины на стрелочных перелогах, где системно выявляются дефекты.

Выявлено, что ограничение скорости до 40 км/ч не является эффективным действием для обеспечения безопасности перевозочного процесса и системе взаимодействия «колесо – рельс».

Для стабильного пути (при учете четырехкратного динамического воздействия от удельного веса грузового состава), не имеющего уступов и профильных просадок в зоне стыка (отрясённость шпалы), установленная скорость движения при вертикальной шлифовке принимающего рельса на величину 0,5 мм будет наиболее безопасной.

Для более эффективной эксплуатации рельсового стыка в комплексе со шлифовкой предлагается использовать смазку поверхности катания в зоне стыков, что даст возможность минимизировать горизонтальное воздействие силы трения на рельсовую колею и повысит восстановление потерь окружной скорости колеса.

3. Разработка и внедрение системы СУРС позволит регулировать скорость движения подвижного состава с учетом реального состояния рельсовой колеи.

Следовательно, предлагаемые мероприятия направлены на продление ресурсного срока эксплуатации железнодорожного пути, опережение появления дефектов, особенно для растянутых стыковых зазоров, и являются необходимыми технологическими мерами.

С целью повышения точности разработанных рекомендаций и для дальнейших исследований необходимо продолжить расчеты в предлагаемых направлениях, где следует учесть влияние подрессоренной части вагона на ускорение опускания колеса при проезде стыкового зазора и упругий прогиб верхнего строения пути.

### Заключение

В соответствии с проведенным анализом и расчетами можно сказать, что просматривается прямая зависимость снижения силового воздействия на железнодорожную инфраструктуру за счет использования рациональных скоростных режимов ведения поездов, тем самым увеличивая ресурс железнодорожного пути в условиях нарастания грузопотока по дорогам Восточного полигона.

Назрела необходимость в разработке и внедрении СУРС в холдинге, тем самым появится возможность автоматически управлять параметрами скоростного режима на основе постоянных и системных расчетов, что не только положительно повлияет на пропускную способность железнодорожного транспорта, но и повысит безопасность движения с одновременным продлением ресурса эксплуатации элементов пути при улучшении системы взаимодействия «колесо – рельс».

### Список литературы

1. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России № 250 от 23.06.2022. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
2. ГОСТ 34759-2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. Введ. 2023-02-01 с правом досрочного применения. М. : Рос. ин-т стандартизации, 2021. 31 с.

3. Об утверждении правил назначения ремонтов железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 2888/р от 17.12.2021 (ред. 03.02.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
4. Об утверждении методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности : распоряжение ОАО «РЖД» № 2706р от 22.12.2017. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
5. Об утверждении положения об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений : распоряжение ОАО «РЖД» от 29.11.2019 № 2675/р (ред. 06.10.2020). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
6. Величко Д.В., Севостьянов А.А., Антерейкин Е.С. Оценка надежности рельсов на участках Транссибирской магистрали // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2019. № 1 (48). С. 5–11.
7. Туманов Д.О., Ковенькин Д.А., Подвербный В.А. Принятие решений при эксплуатации железнодорожного пути с учетом стоимости жизненного цикла // Наукосфера. 2023. № 5-2. С. 335–343.
8. Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.09.2018 г. № 2101-р (ред. 24.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
9. Севостьянов А.А. Планирование и организация работ по содержанию геометрии рельсовой колеи в зимний период эксплуатации // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2022. № 4 (7). С. 95–102.
10. Об утверждении и введении в действие инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 16.11.2016 № 2288р (ред. 26.05.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
11. Правила и технология выполнения основных работ при текущем содержании пути : утв. Центральной дирекцией инфраструктуры 30.11.2018 № ЦДИ-1511. URL: <http://scbist.com/put-putevoe-hozyaistvo/52430-cpt-52-pravila-i-tehnologiya-vypolneniya-osnovnyh-rabot-pri-tekuschem-soderzhanii-puti.html> (Дата обращения 18.02.2024).
12. Гридасова Е.А., Локтев А.А., Локтев Д.А. Математическая модель динамического поведения рельса при различных условиях // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2019. Т. 15. № 15 (15). С. 28–32.
13. Морозов С.И. Методика решения задачи удара колеса о рельс в стыках // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 1994. № 2. С. 35–41.
14. Чижов А.А. Оценка отказов элементов верхнего строения пути, влияющих на скорости движения поездов на участках К. дистанции // Молодежная наука : тр. XXVI Всерос. студен. науч.-практ. конф. Красноярск, 2022. Т. 1. С. 285–289.
15. Тимофеев Е.Н., Севостьянов А.А. Анализ дефектности рельсов к дистанции пути // Интеллектуальный потенциал Сибири : 29-я регион. науч. студен. конф., посвящ. году науки и технологии в России. Новосибирск, 2021. Ч. 4. С. 142–145.
16. Пат. 2784392 Рос. Федерация. Способ контроля поверхности катания железнодорожных колес в движении / С.А. Бехер, В.С. Выплавень, А.О. Коломеец и др. № 2021139001 ; заявл. 24.12.2021 ; опубл. 24.11.2022, Бюл. № 33. 12 с.
17. Галлямов Д.И., Овчинников Д.В. Изменение параметров пятна контакта системы «колесо – рельс» в процессе совершенствования профиля рельса // Наука и образование транспорту. 2021. № 2. С. 212–217.
18. Манашкин Л.А., Мямлин С.В., Приходько В.И. Оценка силы ударного воздействия колеса и рельса на стыке двух рельсов // Вісн. Дніпропетров. нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. 2008. № 22. С. 36–39.

## References

1. Prikaz Mintransa Rossii № 250 от 23.06.2022 «Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiiskoi Federatsii» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No 250 dated June 23, 2022 «On approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation»].
2. GOST 34759-2021. Zheleznodorozhnyi podvizhnoi sostav. Normy dopustimogo vozdeistviya na zheleznodorozhnyi put' i metody ispytaniy [State Standard 34759-2021. Railway rolling stock. Standards of permissible impact on the railway track and test methods]. Moscow: Ros-siiskii institut standartizatsii Publ., 2021. 31 p.
3. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» № 2888/р от 17.12.2021 «Ob utverzhdenii pravil naznacheniya remontov zheleznodorozhnogo puti» (red. 03.02.2023) [Order of JSC «Russian Railways» no 2888/r dated December 17, 2021 «On approval of the rules for the appointment of railway track repairs» (ed. February 3, 2023)].
4. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» № 2706р от 22.12.2017 «Ob utverzhdenii metodiki otsenki vozdeistviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya nadezhnosti» [Order of JSC «Russian Railways» No 2706r dated December 22, 2017 «On approval of the methodology for assessing the impact of rolling stock on the track under the conditions of ensuring reliability»].
5. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» от 29.11.2019 № 2675/р «Ob utverzhdenii polozheniya ob organizatsii kompleksnogo obsluzhivaniya ob'ektov infrastruktury khozyaistva puti i sooruzhenii» (red. 06.10.2020) [Order of JSC «Russian Railways» dated November 29, 2019 no 2675/r «On approval of the regulations on the organization of comprehensive maintenance of infrastructure facilities of the track and structures» (ed. October 6, 2020)].
6. Velichko D.V., Sevost'yanov A.A., Antereikin E.S. Otsenka nadezhnosti rel'sov na uchastkakh Transsibirskoi magistrali [Evaluation of the reliability of rails on sections of the Trans-Siberian Railway]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2019, no. 1 (48), pp. 5–11.
7. Tumanov D.O., Koven'kin D.A., Podverbnyi V.A. Prinyatie reshenii pri ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti s uchetom stoimosti zhiznennogo tsikla [Decision-making during the operation of a railway track taking into account the cost of the life cycle]. *Naukosfera* [Science sphere], 2023, no. 5-2, pp. 335–343.
8. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii от 30.09.2018 г. № 2101-р «Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana modernizatsii i ras-shireniya magistral'noi infrastruktury na period do 2024 goda» (red. 24.06.2023) [Decree of the Government

of the Russian Federation no 2101-r dated September 30, 2018 «On approval of the Comprehensive Plan for Modernization and Expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024» (ed. June 24, 2023)].

9. Sevost'yanov A.A. Planirovanie i organizatsiya rabot po sodержaniyu geometrii rel'sovoi kolei v zimnii period ekspluatatsii [Planning and organization of works on maintenance of rail track geometry in winter period of operation]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy transporta* [Fundamental and Applied Problems of Transport], 2022, no. 4 (7), pp. 95–102.

10. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 14.11.2016 g. № 2288r (red. 26.05.2023) «Ob utverzhdenii i vvedenii v deistvie instruksii po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti» [Order of JSC «Russian Railways» dated November 14, 2016 No 2288r «On the approval and implementation of the instructions for the current maintenance of the railway track» (ed. May 26, 2023)].

11. Pravila i tekhnologiya vypolneniya osnovnykh rabot pri tekushchem sodержanii puti: utv. Tsentral'noi direktsiei infrastruktury 30.11.2018 № TsDI-1511 [Rules and technology for performing basic work with the current content of the track: approved by the Central Directorate of Infrastructure no TsDI-1511 dated November 30, 2018].

12. Gridasova E.A., Loktev A.A., Loktev D.A. Matematicheskaya model' dinamicheskogo povedeniya rel'sa pri razlichnykh usloviyakh [Mathematical model of dynamic behavior of a rail under various conditions]. *Vnedrenie sovremennykh konstruktivnykh i peredovykh tekhnologii v putevoe khozyaistvo* [Introduction of modern structures and advanced technologies in track management], 2019, vol. 15, no. 15 (15), pp. 28–32.

13. Morozov S.I. Metodika resheniya zadachi udara koleasa o rel's v stykakh [Methodology for solving the problem of a wheel hitting a rail at the joints]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal* [Bulletins of higher educational organizations. Forest Magazine], 1994, no. 2, pp. 35–41.

14. Chizhov A.A. Otsenka otkazov elementov verkhnego stroeniya puti, vliyayushchikh na skorosti dvizheniya poezdov na uchastkakh K. distantsii [Evaluation of failures of elements of the upper structure of the track affecting the speed of trains on sections of the railway distance K]. *Trudy XXVI Vserossiiskoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Molodezhnaya nauka»* [Proceedings of the XXVI All-Russian Student Scientific and Practical Conference «Youth Science»]. Krasnoyarsk, 2022, vol. 1, pp. 285–289.

15. Timofeev E.N., Sevost'yanov A.A. Analiz defektnosti rel'sov k distantsii puti [Analysis of rail defects to track distance]. *29-ya regional'naya nauchnaya studencheskaya konferentsiya, posvyashchennaya godu nauki i tekhnologii v Rossii «Intel'ktual'nyi potentsial Sibiri»* [The 29th Regional Scientific Student Conference dedicated to the Year of Science and Technology in Russia «Intellectual potential of Siberia»]. Novosibirsk, 2021, part 4, pp. 142–145.

16. Becher S.A., Vyplaven V.S., Kolomeets A.O., Kochetkov A.S., Popkov A.A. Patent RU 2784392 C1, 24. 11.2022.

17. Gallamov D.I., Ovchinnikov D.V. Izmenenie parametrov pyatna kontakta sistemy «koleso – rel's» v protsesse sovershenstvovaniya profilya rel'sa [Changing the parameters of the contact patch of the «wheel – rail» system in the process of improving the rail profile]. *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and Education for Transport], 2021, no. 2, pp. 212–217.

18. Manashkin L.A., Myamlin S.V., Prikhod'ko V.I. Otsenka sily udarnogo vozdeistviya koleasa i rel'sa na styke dvukh rel'sov [Assessment of the impact force of a wheel and rail at the junction of two rails]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana* [Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, no. 22, pp. 36–39.

### Информация об авторах

**Осколков Андрей Александрович**, аспирант кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения; начальник сектора информатизации Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск; e-mail: di\_oskolkovaa@esrr.ru.

**Асальханова Татьяна Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.

### Information about the authors

**Andrei A. Oskolkov**, Ph.D. Student of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University; Head of the Informatization Sector, the East Siberian Infrastructure Directorate – Structural Subdivision of the Central Directorate of Infrastructure – Branch of JSC «Russian Railways», Irkutsk; e-mail: di\_oskolkovaa@esrr.ru.

**Tat'yana N. Asalkhanova**, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.

## Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест

А.В. Пультяков✉, В.А. Аношин

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉pultyakov@irgups.ru

### Резюме

В дистанциях инфраструктурного комплекса внедряют мобильные рабочие места Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой для руководителей и электромехаников линейных участков. В дистанциях сигнализации, централизации и блокировки Восточно-Сибирской железной дороги внедрение мобильных рабочих мест МРМ-Ш происходит совместно с универсальным измерительным прибором «Эталон-Ш», которые закрепляются за электромеханиками и старшими электромеханиками сигнализации, централизации и блокировки. Существующая организация работы с применением смартфонов МРМ-Ш с расширенным функционалом в качестве мобильных рабочих мест Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой хозяйства железнодорожной автоматики и телемеханики основывается на порядке использования МРМ-Ш при выполнении процессов технического обслуживания и ремонта устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Однако данная технология, а также сам девайс требуют доработки и более глубокой интеграции с Единой корпоративной автоматизированной системой управления инфраструктурой. Применение универсального измерительного прибора «Эталон-Ш» также требует разработки технологии проведения электрических измерений в действующих устройствах. В статье приведены результаты анализа трудоемкости работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на примере типового участка железной дороги, показаны пути сокращения непроизводительных затрат при автоматизации технологических процессов, выполняемых электромеханиками и старшими электромеханиками дистанций сигнализации, централизации и блокировки при технической эксплуатации устройств. Отдельной задачей является разработка технологии проведения электрических измерений с помощью мобильного устройства «Эталон-Ш» при обслуживании устройств сигнализации, централизации и блокировки на примере дистанции сигнализации, централизации и блокировки.

### Ключевые слова

дистанция сигнализации, централизации и блокировки, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, техническая эксплуатация, электромеханик, мобильное рабочее место

### Для цитирования

Пультяков А.В. Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест / А.В. Пультяков, В.А. Аношин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 138–149. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).138-149.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 04.03.2024 г.; поступила после рецензирования: 07.03.2024 г.; принята к публикации: 12.03.2024 г.

## Ways to increase the efficiency of technical operation of railway automation and telemechanics devices when implementing mobile workplaces

A.V. Pul'tyakov✉, V.A. Anoshin

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉pultyakov@irgups.ru

### Abstract

Mobile workplaces of the unified corporate automated infrastructure management system for managers and electricians of linear sections are being introduced in the distances of the infrastructure complex. In the signaling, centralization and blocking distances of the East Siberian Railway, the introduction of mobile MRM-Sh workstations takes place in conjunction with the universal measuring device Etalon-Sh, assigned to electromechanics and senior electromechanics of signaling, centralization and blocking. The existing organization of work using MPM-Sh smartphones with extended functionality as mobile workplaces of a unified corporate automated infrastructure management System for railway automation and telemechanics is based on the procedure for using MPM-Sh when performing maintenance and repair of railway automation and telemechanics devices. However, this technology, as well as the device itself, requires further development and deeper integration into a single corporate automated infrastructure management system. The use of the universal measuring device Etalon-Sh also requires the development of technology for conducting electrical meas-

urements in existing devices. The article presents the results of an analysis of the complexity of maintenance and repair of railway automation and telemechanics devices using the example of a typical railway section, shows ways to reduce non-production costs in automating technological processes performed by electromechanics and senior electromechanics of signaling distances, centralization and blocking during technical operation of devices. A separate task is to develop a technology for conducting electrical measurements using a mobile device Etalon-Sh when servicing signaling, centralization and blocking devices based on the example of signaling, centralization and blocking distances.

### Keywords

signaling distance, centralization and blocking, railway automation and telemechanics devices, technical operation, electromechanic, mobile workplace, universal measuring device

### For citation

Pul'tyakov A.V., Anoshin V.A. Puti povysheniya effektivnosti tekhnicheskoi ekspluatatsii ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki pri vnedrenii mobil'nykh rabochikh mest [Ways to increase the efficiency of technical operation of railway automation and telemechanics devices when implementing mobile workplaces]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 138–149. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).138-149.

### Article info

Received: March 4, 2024; Revised: March 7, 2024; Accepted: March 12, 2024.

### Введение

Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) выполняется в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации и иных правовых нормативно-технологических документов, определяющих требования к устройствам и системам ЖАТ [1–3].

Одной из главных задач, которую неизменно решает хозяйство железнодорожной автоматики и телемеханики, является сокращение производственных и непроизводственных затрат на техническую эксплуатацию устройств и систем, повышение эффективности работы персонала дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и снижение количества отказов [2, 3].

Актуальность данной задачи очевидна, а решение ее усложняется оттоком квалифицированных кадров, неуккомплектованностью штата и повсеместным внедрением современных микропроцессорных устройств ЖАТ, требующих для обслуживания специалистов со знанием как постовой, так и напольной аппаратуры. Все это связано с необходимостью повышения эффективности работы всего инфраструктурного комплекса наряду с его развитием [4–10].

Техническая эксплуатация устройств и систем ЖАТ предусматривает организацию и проведение работ по определению их технического состояния, в том числе мониторинг и техническое диагностирование, работы по их техниче-

скому обслуживанию и ремонту, транспортировку и хранение в заданном состоянии, а также утилизацию снятого с эксплуатации оборудования и аппаратуры ЖАТ [2, 3].

Целью данной статьи является рассмотрение путей повышения эффективности технической эксплуатации устройств ЖАТ при внедрении мобильных рабочих мест в дистанции СЦБ.

### Анализ трудоемкости работ технического обслуживания и ремонта устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

Рассмотрим результаты анализа трудоемкости технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ на линейном участке старшего электромеханика (ЛУ ШНС), характерном для сети участков железной дороги (табл.).

Рассматриваемый участок включает в себя три промежуточные станции и два перегона. Станции оборудованы устройствами электрической централизации (ЭЦ) с маршрутным управлением стрелками и сигналами по типовым проектным решениям для маршрутной релейной централизации МРЦ-13 и ЭЦ-И.

Прилегающие к станции трехпутные перегоны оборудованы устройствами кодовой автоблокировки по типовым альбомам АБ-1К-79 и АБ-2К-77.

Станции участка оборудованы дополнительными техническими средствами обеспечения безопасности движения поездов:

– устройства контроля схода и волочения деталей подвижного состава (УКСПС);

Характеристика оснащённости участка  
Characteristics of section equipment

Характеристика участка Section characteristics	Количество Number
Эксплуатационная длина, км Operating length, km	9
Количество станций с релейной электрической централизацией, шт. (тип электрической централизации) Number of stations with relay electrical centralization, pcs. (electric centralization type)	3 (ЭЦ 12, 1982 г.; ЭЦ-И, 1995 г.; ЭЦ- 9, 2001 г.)
Стрелки электрической централизации, шт. Electric interlocking switches, pcs.	108
Количество перегонов с автоблокировкой, шт. (тип автоблокировки) Number of sections with automatic blocking, pcs. (auto-lock type)	2 (АБ-1К-79, АБ-2К-77)
Рельсовые цепи, шт. Rail chains, pcs.	127
Количество сигнальных точек, оборудованных устройствами САУТ-ЦМ, шт. Number of signal points equipped with САУТ-ЦМ devices, pcs.	27
Количество устройств контроля схода и волочения деталей подвижного состава, комплект Number of devices for monitoring the derailment and dragging of rolling stock parts, set	8

– модернизированные устройства автоматического управления торможением поездов (САУТ-ЦМ);

– устройствами системы технического диагностирования и мониторинга на базе технических средств аппаратно-программного комплекса диспетчерского контроля (СТДМ АПК-ДК).

В конце каждого месяца старший электромеханик с использованием Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) на все станции и перегоны своего участка составляет оперативный план работы на предстоящий месяц, включающий:

- регламентные работы (работы годового и четырехнедельного планов-графиков);
- нерегламентные работы (дополнительные и непредвиденные работы);
- резерв времени на отвлечения [3, 11–14].

На рис. 1 и 2 приведено относительное распределение трудоемкости работ, выполняемых по годовому и четырехнедельному графикам технологического процесса для типового линейного участка железной дороги.

Перечень регламентных работ по техническому обслуживанию и ремонту, выполняемых на участках железных дорог, оборудованных

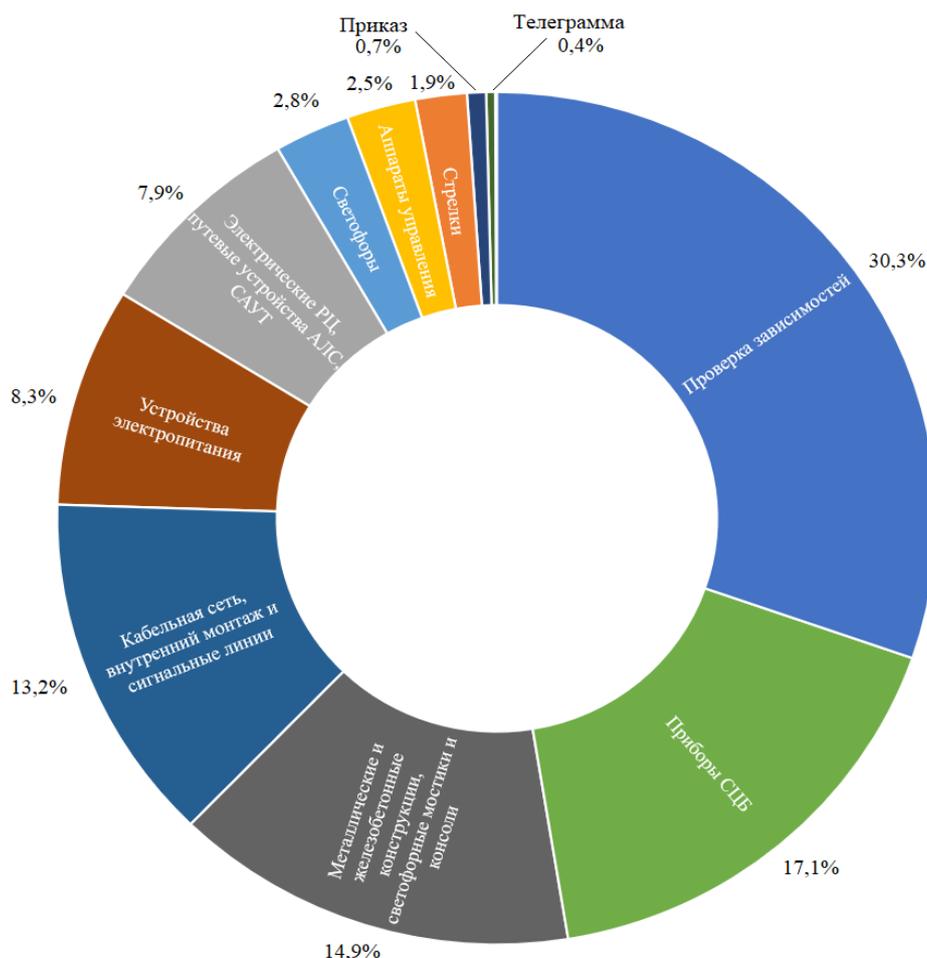
устройствами ЖАТ, приведен в Инструкции [3].

Диаграмма распределения по видам работ в эксплуатируемых устройствах показывает, что по годовому плану-графику самая трудоемкая работа – проверка зависимостей, на которую приходится 30,3 % всех работ в этой категории.

В четырехнедельном плане-графике самыми трудоемкими работами являются проверка станционных рельсовых цепей на шунтовую чувствительность – 20,3%, проверка состояния электроприводов, стрелочных гарнитур и проверка плотности прилегания острия к рамному рельсу – 20 %, и проверка внутреннего состояния электропривода – 19,8 % от трудоемкости всех работ в этой категории для рассматриваемого участка.

К нерегламентным работам, включаемым в оперативный план, относятся:

- повышение надежности работы устройств и модернизация устройств;
- внесение утвержденных изменений монтажа в действующие устройства;
- подготовка устройств к работе в зимних условиях и к летним пассажирским перевозкам;
- обеспечение технологических «окон» по текущему и капитальному ремонту устройств ЖАТ, связанных с выключением



**Рис. 1.** Трудоемкость работ по годовому плану-графику  
**Fig. 1.** Labor intensity of work according to the annual schedule

устройств из зависимостей, или участие в них;

- подготовка и обеспечение ремонтно-путевых работ по директивному плану структурных подразделений смежных хозяйств;

- устранение замечаний, выявленных в результате осмотров и проверок руководителей всех уровней, обследований комплексами мобильной диагностики, внесенных в ЕК АСУИ;

- плановая замена приборов;

- выполнение работ из среднесрочного плана по ремонту устройств, плана организационно-технических мероприятий, а также мероприятий, намеченных по итогам деятельности дистанции СЦБ за прошедший месяц;

- сопровождение строительно-монтажных работ по инвестиционным планам, модернизации, реконструкции объектов инфраструктуры;

- выполнение работ по оперативным приказам и телеграфным указаниям руковод-

ства всех уровней;

- сопровождение снегоуборочной техники (в зимний период);

- участие в работах, выполняемых ремонтными дистанциями СЦБ по заявкам эксплуатационных дистанций СЦБ;

- проведение технической учебы.

Для каждой работы, предусмотренной в оперативном плане на месяц, указывается конкретная дата ее выполнения. Работы, имеющие большую трудоемкость, которые невозможно выполнить в один день, планируются на несколько рабочих дней.

В зависимости от результата выполнения периодических работ, регламентированных Инструкцией, старшим электромехаником могут назначаться дополнительные (сопутствующие) работы [1]. При их назначении старшим электромехаником в автоматизированной системе формируются рабочие задания (РЗ).

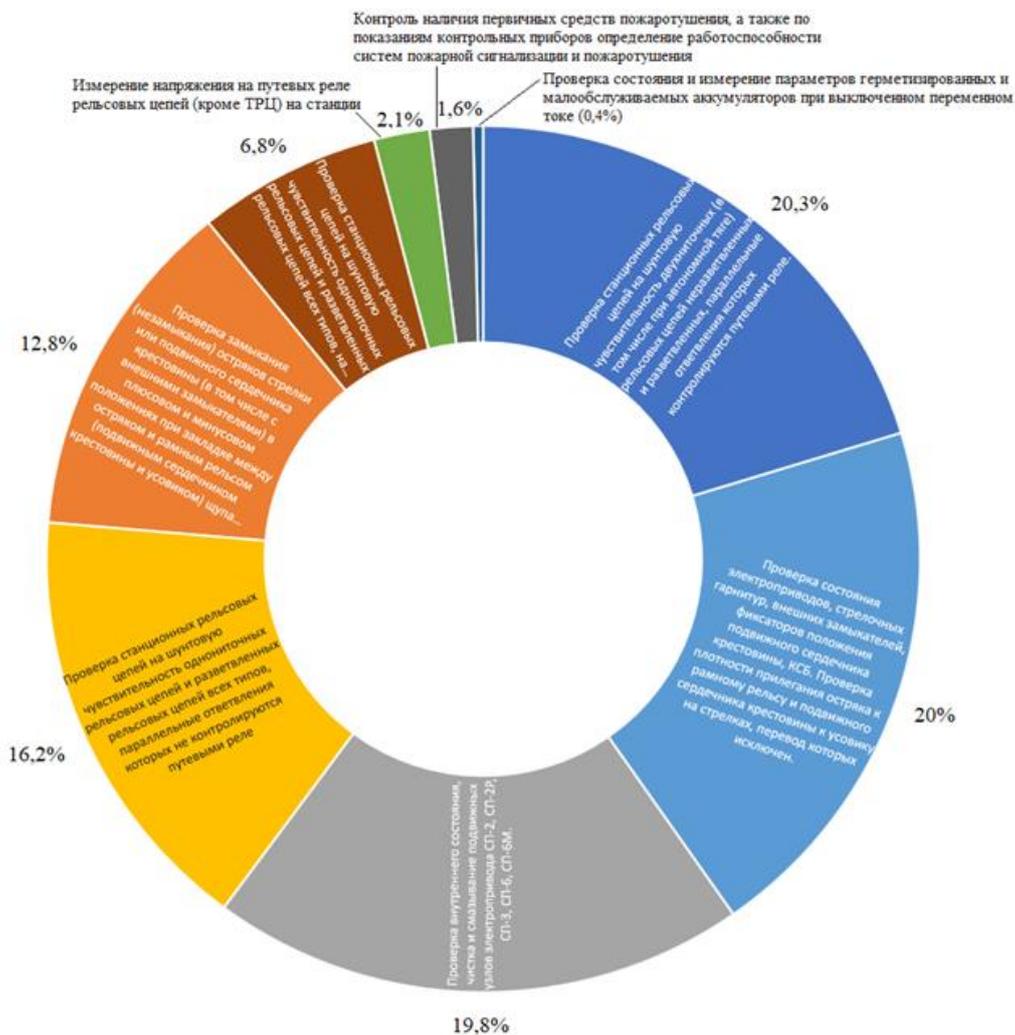


Рис. 2. Трудоемкость работ по четырехнедельному плану-графику  
 Fig. 2. Labor intensity of work according to a four-week schedule

При составлении плана работ на месяц должно закладываться время на участие работников в плановых комиссионных осмотрах устройств ЖАТ, время на доставку персонала к месту выполнения работ, материально-техническое снабжение участка, а также на работу с автоматизированными системами.

Каждый день перед началом рабочего дня ШНС составляет план работы на день:

- подтверждает включение в план на день работ из утвержденного месячного оперативного плана с переводом РЗ в статус «в работе»;
- выполняет перенос на срок не более трех рабочих дней плановой работы на другой день, если она по объективным причинам не может быть выполнена в текущий день;
- добавляет в план на день первоочередные внеплановые непредвиденные работы, например, для участия в комиссионных осмотрах,

выполнения работ в «окна» и т.д.;

- планирует выполнение работ по устранению инцидентов, направленных в его группу.

На рис. 3 и 4 представлены гистограммы распределения по месяцам трудоемкости регламентных и нерегламентных работ, выраженной в человеко-часах (чел.-ч) на рассматриваемом участке за 2022 и 2023 гг. Нормативная трудоемкость с учетом штатного расписания составляет 1 017 чел.-ч.

На гистограмме регламентных работ в 2023 г. (см. рис. 3) наблюдаются всплески трудоемкости в апреле, августе, октябре и декабре. Это обусловлено тем, что в апреле и августе проводится подготовка к весеннему и осеннему осмотрам дороги, в октябре проводится блок работ по подготовке к зиме, а в декабре – из-за работы «Проверка соответствия действующих устройств утвержденной технической докумен-



**Рис. 3.** Трудоемкость обслуживания устройств участка (регламентные работы)

**Fig. 3.** Labor intensity of servicing section devices (routine work)



**Рис. 4.** Трудоемкость обслуживания устройств участка (нерегламентные работы)

**Fig. 4.** Labor intensity of servicing section devices (non-routine work)

тации», которая проводится 1 раз в три года и трудоемкость одной работы составляет 448 чел.-ч. В 2022 г. явных всплесков не наблюдается.

На гистограмме трудоемкости нерегламентных работ (см. рис. 4) наблюдается неравномерное распределение трудоемкости как в 2022, так и в 2023 г. Такая неравномерность обусловлена случайным характером поступления различных указаний, телеграмм и приказов с перечнем работ различной трудоемкости, которые необходимо выполнить на станциях и перегонах у участка, имеющих разную оснащенность. Поэтому заранее предусмотреть и равномерно распланировать по месяцам такие виды работ невозможно.

На рис. 5 и 6 для примера представлены гистограммы распределения в человеко-часах трудоемкости регламентных и нерегламентных работ в марте, выполняемых в рабочие дни, отмеченных синими сплошными столбцами. Красные заштрихованные столбцы – праздничные и выходные дни.

Трудоемкость регламентных работ по участку составляют 45,3 %, а нерегламентных – 54,7 % от общего количества запланированных работ.

Эти расчетные данные позволяют получить суммарное распределение трудоемкости регламентных и нерегламентных работ, показывающее глубину планирования, т.е. какое

относительное количество фактически выполняемых работ было запланировано.

На рис. 7 представлена гистограмма распределения трудоемкости запланированных работ по дням марта 2023 г. В разные дни преобладают работы из годового плана-графика, из четырехнедельного плана-графика или дополнительные и непредвиденные работы.

Это связано с различной периодичностью и трудоемкостью выполнения конкретных работ на устройствах разного типа. Для сокращения непроизводительных затрат времени работы из годового и четырехнедельного плана-графика на одном типе устройств ставят, как правило, в один день.

Глубина планирования составила 76 %. В оперативном плане запланированными оказались 17,8 % работ из четырехнедельного плана-графика и 27,5 % работ из годового плана-графика. Дополнительные плановые работы составили 30,7 %.

Суммарная 100 % нормативная трудоемкость, составляющая 1 056 чел.-ч. в рассматриваемом месяце, фактически добирается к плану работами по отвлечениям, которые в итоге составили 24 %. Отвлечения включают следующие виды работ:

– устранение отказов технических средств;

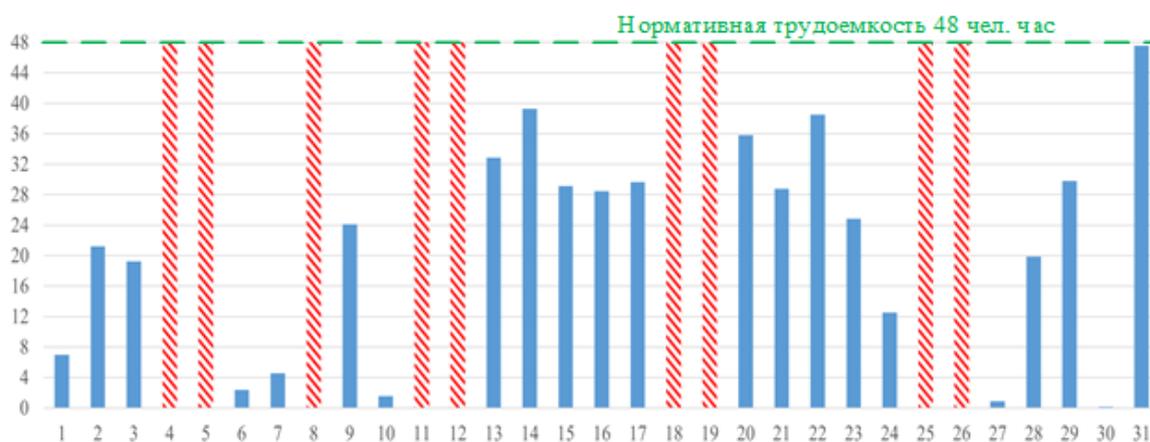


Рис. 5. Трудоемкость обслуживания устройств участка (регламентные работы)

Fig. 5. Labor intensity of servicing site devices (routine work)

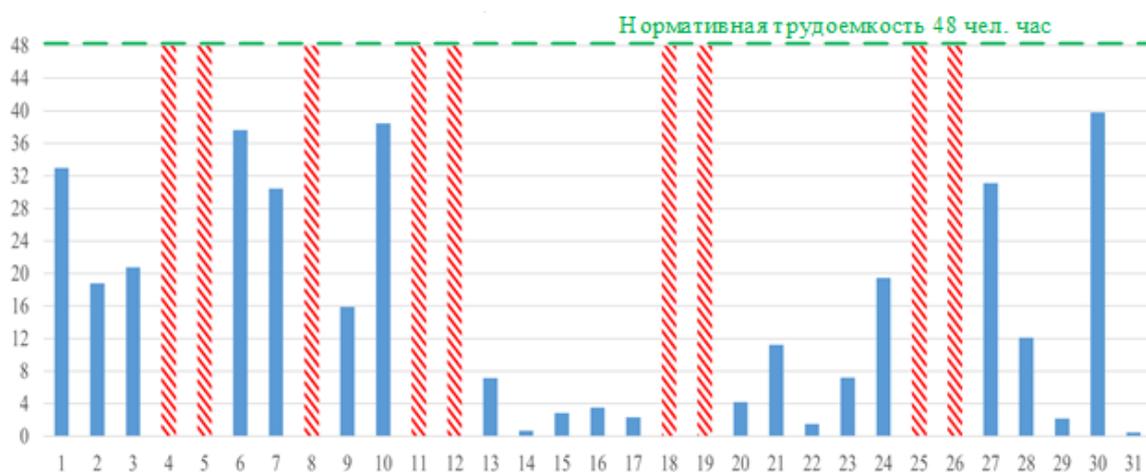


Рис. 6. Трудоемкость обслуживания устройств участка (не регламентные работы)

Fig. 6. Labor intensity of servicing site devices (non-routine work)

– внеочередные осмотры или восстановление устройств после отказов, транспортных происшествий или стихийных бедствий по оперативным распоряжениям, телеграммам или приказам;

– устранение инцидентов из ЕК АСУИ.

Анализ показывает, что достаточно большое количество трудозатрат занимает выполнение непроизводительных работ, связанных с прохождением инструктажей, контрольными мероприятиями по проверке фактического выполнения работ, оформлению работ, регистрации измерений и оформлению записей в журналах установленной формы ДУ-46, ШУ-2, ШУ-64 и др.

Таким образом, передача информации от электромеханика (ШН) до внесения в систему ЕК АСУИ занимает много времени, работники перегружены, вследствие этого замедляется

взаимодействие между отделами и увеличивается объем работы, а также страдает качество выполнения работ. Для повышения качества работ и сокращения непроизводительных потерь времени необходимо автоматизировать некоторые процессы.

### Эффективность внедрения мобильных рабочих мест и универсальных средств измерения

Назначением мобильных рабочих мест хозяйства автоматики и телемеханики (МРМ-Ш) ЕК АСУИ является автоматизация технологических процессов, выполняемых ШН и ШНС дистанций СЦБ – структурных подразделений региональных дирекций инфраструктуры ОАО «РЖД» [11–18].

Для наполнения оперативной информацией системы ЕК АСУИ работникам дистанций

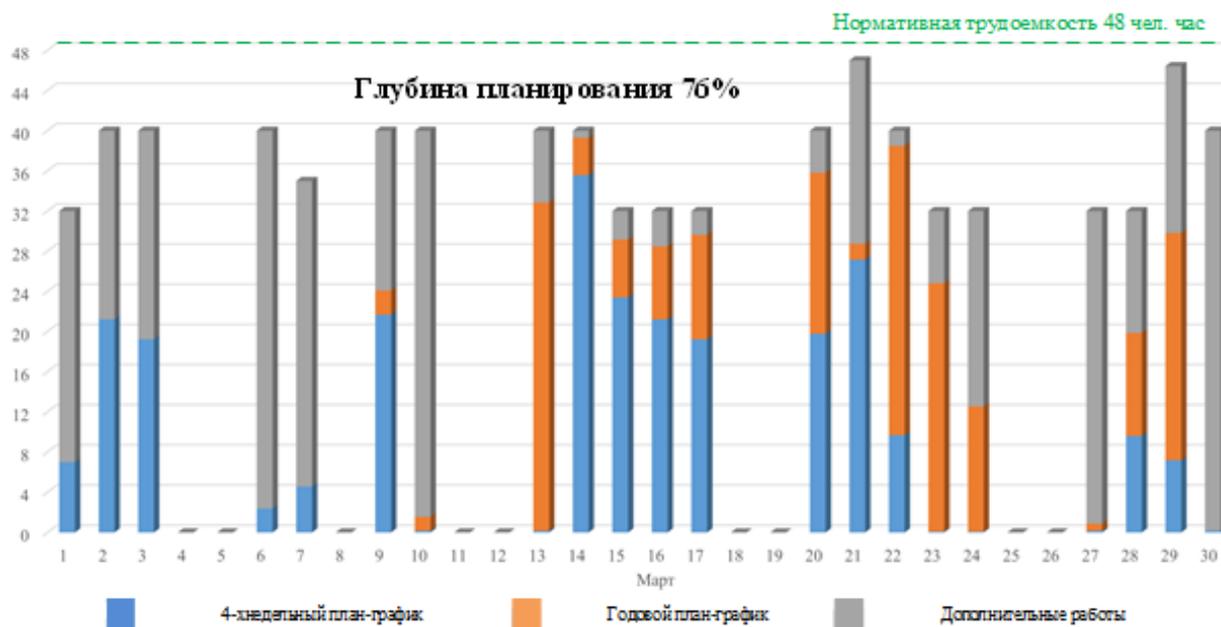


Рис. 7. Трудоемкость обслуживания устройств участка за один месяц  
 Fig. 7. Labor intensity of servicing section devices in one month

СЦБ необходимо формировать инциденты при выявлении от норм содержания устройств по результатам осмотров и проведения измерений во время выполнения графика технологического процесса, фиксировать неисправности с фото-изображениями и вести учет выполнения работ.

Автоматизация рабочих мест – трудоемкая и кропотливая работа, имеющая большой потенциал. Внедрение МРМ-Ш позволяет решать эту задачу, однако с точки зрения использования ее функциональных возможностей хозяйству автоматики и телемеханики сегодня необходимо определить пути реализации этой технологии. Оснащение дистанций СЦБ позволит каждому ШН иметь мобильное рабочее место. Пользователи МРМ-Ш должны обладать базовыми навыками работы с мобильными устройствами (смартфонами) и соответствующим функционалом ЕК АСУИ.

В соответствии с техническими характеристиками МРМ-Ш возможно автоматизировать процесс внесения всей необходимой информации в ЕК АСУИ и контролировать местонахождение персонала, поднять производственную дисциплину, проверять и отмечать фактическое выполнение рабочих заданий и фиксировать результаты измерений, оперативно получать подробную информацию о выявленных неисправностях на обслуживаемом участке, просматривать технические характеристики устройств

ЖАТ, историю неисправностей, выполненных работ и результатов измерений.

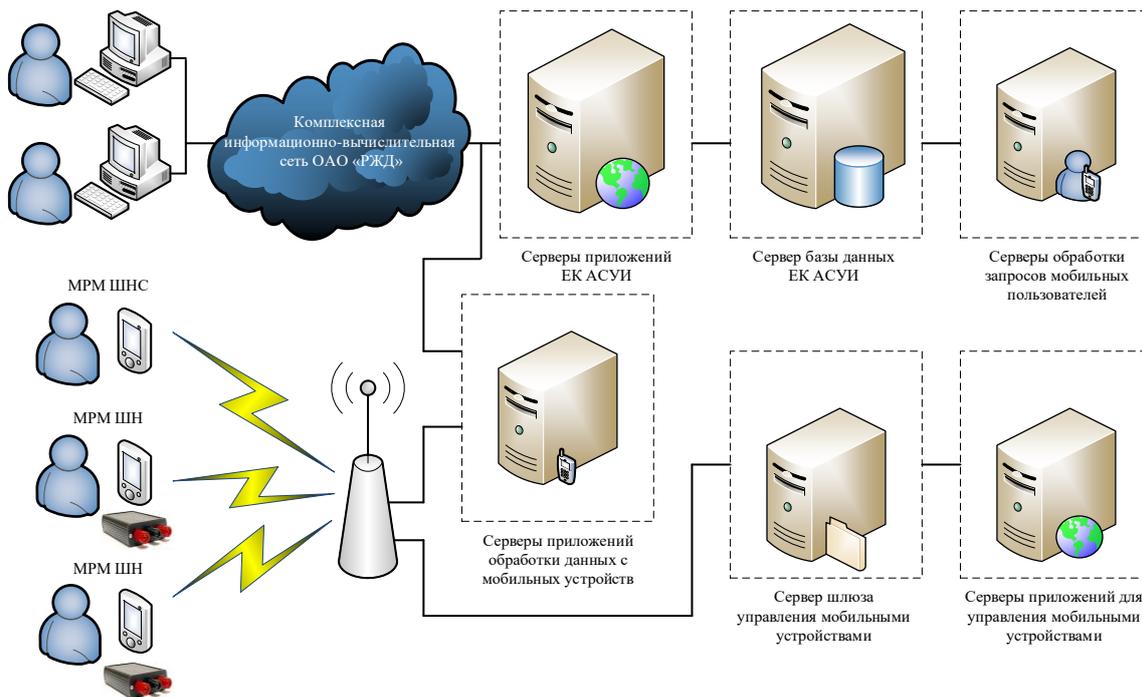
Для автоматизации проведения электрических измерений применяется универсальный измерительный прибор разработки ООО «ИМСАТ» – «Эталон-Ш». Он позволяет измерять электрические параметры устройств, обрабатывать их, управлять данными и помогает анализировать их при помощи собственного программного обеспечения. «Эталон-Ш» предназначен для проведения универсальных электрических измерений и интеграции их результатов в МРМ-Ш с привязкой к конкретным устройствам.

«Эталон-Ш» подключается к МРМ-Ш по протоколу Bluetooth для передачи результатов измерений, задания диапазонов, выбора режима и управления процессом измерений. Включен в Госреестр средств измерений и реестр средств измерений ОАО «РЖД».

В качестве пилотного проекта было осуществлено внедрение мобильных рабочих мест МРМ-Ш на полигонах Восточно-Сибирской и Октябрьской железных дорог [15, 16]. Дополнительно к МРМ-Ш поставили универсальные измерительные приборы «Эталон-Ш» [19, 20].

Структурная схема взаимодействия ЕК АСУИ с МРМ-Ш в увязке с «Эталон-Ш» представлена на рис. 8 [11].

МРМ-Ш и ЕК АСУИ непрерывное обме-



**Рис. 8.** Структурная схема взаимодействия Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой с мобильным рабочим местом хозяйства автоматики и телемеханики в увязке с «Эталон-Ш»

**Fig. 8.** A block diagram of the interaction of a unified corporate automated infrastructure management system with a mobile workplace for automation and telemechanics in conjunction with the «Etalon-Sh»

ниваются информацией. Из ЕК АСУИ в МРМ-Ш поступает информация о персонале подразделения, устройствах ЖАТ и их технических характеристиках, данные суточных планов с перечнем назначенных рабочих заданий, история выполненных работ, оповещения о недавно произошедших неисправностях и их история, оперативные сведения, зафиксированные результаты измерений от всех источников, нормативные значения измеряемых параметров из АСУ-Ш-2, организационно-распорядительные документы, а также назначенные инструктажи для допуска к работе.

В то же время из МРМ-Ш в ЕК АСУИ выгружаются выполненные рабочие задания с фото- и видеофиксацией, данные о проведенных инструктажах, инциденты, результаты измерений, выявленные неисправности при выполнении графика проверок и осмотров.

Развитие программного обеспечения для МРМ-Ш по созданию отчетных документов установленных форм в ЕК АСУИ, интеграция в МРМ-Ш результатов измерений, выполненных штатными приборами и универсальным измерительным прибором «Эталон-Ш», совершенствование функционала по работе с опера-

тивными планами работы на месяц и конкретный день, развитие функциональности поиска и сверки аппаратуры по штрих-кодам или QR-кодам, позволит устранить некоторые барьеры при их внедрении.

Разработка нормативной документации по эксплуатации МРМ-Ш и «Эталон-Ш» в хозяйстве автоматики и телемеханики, создание технического решения для подключения МРМ-Ш через любой канал связи, расширение их функциональности, загрузка данных систем технического диагностирования и мониторинга, изменение конструктива девайса в части повышения уровня пыле- и влагозащиты, увеличение емкости батареи и ее морозостойкости, сервисное и гарантийное их обслуживание позволят наладить эффективную работу с ними.

Отдельной задачей ставится разработка технологии проведения электрических измерений с помощью мобильного устройства «Эталон-Ш» при обслуживании устройств СЦБ [15–18].

### Заключение

Применение мобильных устройств в хозяйстве автоматики и телемеханики по мере реализации функционала должно обеспечивать

оптимизацию производственных процессов управления техническим содержанием устройств ЖАТ.

Создание информационной платформы для перехода на безбумажную технологию в части автоматизированного формирования электронных учетных форм в процессе выполнения работ позволит оформлять все записи в журналах через МРМ-Ш, чтобы электромеха-

ник мог даже вне поста ЭЦ завершить суточный план или выполненная работа сама автоматически была занесена в требуемый электронный журнал.

При внедрении мобильных рабочих мест МРМ-Ш автоматизируются записи в журналах ДУ-46 и ШУ-2. Тем самым трудоемкость запланированных работ уменьшается на 20–25 %.

### Список литературы

1. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России № 250 от 23.06.2022. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
2. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В.В. Сапожников, Л.И. Борисенко, А.А. Прокофьев и др. М. : Маршрут, 2003. 336 с.
3. Об утверждении инструкции по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки : распоряжение ОАО «РЖД» от 30.12.2015 № 3168р (ред. 18.11.2022). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
4. Шаманов В.И. Методы оптимизации технического обслуживания систем автоматики // Автоматика на транспорте. 2016. Т. 2. № 4. С. 481–496.
5. Бушуев С.В., Ускова М.Л. Жизненный цикл устройств ЖАТ и оптимизация его стоимости // Инновационный транспорт. 2013. № 2 (8). С. 15–20.
6. Швалов Д.В. Сокращение ресурсозатрат при реализации планово-предупредительного технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики на основе цифровых моделей // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8. № 2. С. 178–187.
7. Шаманов В.И., Пулятьков А.В. Совершенствование системы технического обслуживания устройств автоматики // Автоматика, связь, информатика. 2008. № 12. С. 13–15.
8. Шаманов В.И., Пулятьков А.В. Оптимизация периодичности технического обслуживания устройств автоматики // Тр. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2008. № 2. С. 35–38.
9. Володарский В.А. Стратегии, критерии и расчет периодичности замен аппаратуры автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 2. С. 165–177.
10. Горелик А.В., Малых А.Н., Орлов А.В. Определение периодичности работ по техническому обслуживанию систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Наука и техника транспорта. 2021. № 4. С. 26–29.
11. Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Типовая система управления текущим содержанием объектов эксплуатационной инфраструктуры (ТС-2) (Хозяйство автоматики и телемеханики). Ролевая инструкция Старшего электромеханика СЦБ (ШНС) 01095505.10998.252.И2 / сост. В. В. Задорожный, Т. А. Андреева, Н. Н. Воробьев и др. М. : ООО «ОЦРВ», 2010. 92 с
12. Табунщиков А.К., Титова Н.Н. Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). М. : МГУПС (МИИТ), 2016. 38 с.
13. Шуваев В.А. Автоматизация формирования планов работ в ЕК АСУИ // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 8 С. 25–27.
14. Киселёв И.А. Учет и контроль выполнения работ с использованием ЕК АСУИ // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 6. С. 24–26.
15. Соддатенков Е.Г. Опыт эксплуатации МРМ-Ш // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 2. С. 39–40.
16. Кленов А.В. Новые возможности с МРМ // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 2. С. 41–42.
17. Толочков А.В. Развитие функциональности МРМ-Ш // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 5. С. 16–17.
18. Пулятьков А.В., Гаврилова А.Г., Семчук А.А. Особенности технической эксплуатации устройств автоматики и телемеханики с применением МРМ-Ш // Молодая наука Сибири : электрон. журн. 2022. № 3 (17). С. 150–158. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/926/644> (Дата обращения 18.03.2024).
19. Сиделев П.С., Малявин К.Ф., Седых Д.В. Автоматизация измерения электрических параметров устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 10. С. 32–34.
20. Седых Д.В., Бубнов В.П. Декодирование сигналов в тональных рельсовых цепях при измерениях прибором Эталон-Ш // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 2. С. 20–23.

### References

1. Prikaz Mintransa Rossii № 250 ot 23.06.2022 «Ob utverzhdanii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznnykh dorog Rossiiskoi Federatsii» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No 250 dated June 23, 2022 «On approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation»].
2. Sapozhnikov V.V., Borisenko L.I., Prokof'ev A.A., Kamenev A.I. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya ustroystv i sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki [Technical operation of devices and systems of railway automation and telemechanics]. Moscow: Marshrut Publ., 2003. 336 p.

3. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» от 30.12.2015 № 3168r «Ob utverzhdenii instruksii po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu ustroystv i sistem signalizatsii, tseentralizatsii i blokirovki» (red. 18.11.2022) [Order of JSC «Russian Railways» dated December 30, 2015 no 3168r «On approval of the instructions for maintenance and repair of alarm devices and systems, centralization and blocking» (ed. November 18, 2022)].
4. Shamanov V.I. Metody optimizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya sistem avtomatiki [Methods for optimizing the maintenance of automation systems]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport], 2016, vol. 2, no. 4, pp. 481–496.
5. Bushuev S.V., Uskova M.L. Zhiznennyi tsikl ustroystv ZhAT i optimizatsiya ego stoimosti [Life cycle of railway automatic and telemechanic devices and optimization of its cost]. *Innovatsionnyi transport* [Innovative transport], 2013, no. 2 (8), pp. 15–20.
6. Shvalov D.V. Sokrashchenie resursoztrat pri realizatsii planovo-predupreditel'nogo tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki na osnove tsifrovyykh modelei [Reduction of resource costs in the implementation of scheduled preventive maintenance of railway automation devices based on digital models]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport], 2022, vol. 8, no. 2, pp. 178–187.
7. Shamanov V.I., Pul'tyakov A.V. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv avtomatiki [Improving the maintenance system for automation devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communications, Informatics], 2008, no. 12, pp. 13–15.
8. Shamanov V.I., Pul'tyakov A.V. Optimizatsiya periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv avtomatiki [Optimization of frequency of maintenance of automation devices]. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of the Rostov State Transport University], 2008, no. 2, pp. 35–38.
9. Volodarskii V.A. Strategii, kriterii i raschet periodichnosti zamen apparatury avtomatiki i telemekhaniki [Strategies, criteria and calculation of the frequency of replacement of automation and telemechanics equipment]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport], 2017, vol. 3, no. 2, pp. 165–177.
10. Gorelik A.V., Malykh A.N., Orlov A.V. Opredelenie periodichnosti rabot po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki [Determination of the frequency of maintenance work on railway automation and telemechanics systems]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of transport], 2021, no. 4, pp. 26–29.
11. Edinaya korporativnaya avtomatizirovannaya sistema upravleniya infrastrukturoi (EK ASUI). Tipovaya sistema upravleniya tekushchim soderzhaniiem ob'ektov ekspluatatsionnoi infrastruktury (TS-2). Khozyaistvo avtomatiki i telemekhaniki. Rolevaya instruktsiya starshego elektromekhanika STsB (ShNS) 01095505.10998.252.I2 [Unified corporate automated infrastructure management system (UC AIMS). Typical system for managing the current maintenance of operational infrastructure facilities (TS-2). Automation and telemechanics economy. Role instruction for senior electrical mechanic of signaling system (SHNS) 01095505.10998.252.I2]. Moscow: OOO «OTsRV» Publ., 2010. 92 p.
12. Tabunshchikov A.K., Titova N.N. Edinaya korporativnaya avtomatizirovannaya sistema upravleniya infrastrukturoi (EK ASUI) [Unified corporate automated infrastructure management system (UC AIMS)]. Moscow: MGUPS (MIIT) Publ., 2016. 38 p.
13. Shuvaev V.A. Avtomatizatsiya formirovaniya planov rabot v EK ASUI [Automation of the formation of work plans in the unified corporate automated infrastructure management system]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2016, no. 8, pp. 25–27.
14. Kiselev I.A. Uchet i kontrol' vypolneniya rabot s ispol'zovaniem EK ASUI [Accounting and control of work performance using unified corporate automated infrastructure management system]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2018, no. 6, pp. 24–26.
15. Soldatenkov E.G. Opyt ekspluatatsii MRM-Sh [Operational experience of mobile workplace for automation and telemechanics]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2022, no. 2, pp. 39–40.
16. Klenov A.V. Novye vozmozhnosti s MRM [New opportunities with mobile workplace for automation and telemechanics]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2022, no. 2, pp. 41–42.
17. Toloknov A.V. Razvitie funktsional'nosti MRM-Sh [The development of mobile workplace for automation and telemechanics functionality]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2022, no. 5, pp. 16–17.
18. Pul'tyakov A.V., Gavrilova A.G., Semchuk A.A. Osobennosti tekhnicheskoi ekspluatatsii ustroystv avtomatiki i telemekhaniki s primeneniem MRM-Sh [Features of technical operation of automation and telemechanics devices using mobile workplace for automation and telemechanics]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2022, no. 3(17), pp. 150–158.
19. Sidelev P.S., Malyavin K.F., Sedykh D.V. Avtomatizatsiya izmereniya elektricheskikh parametrov ustroystv ZhAT [Automation of measurement of electrical parameters of railway automation and telemechanics devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2021, no. 10, pp. 32–34.
20. Sedykh D.V., Bubnov V.P. Dekodirovanie signalov v tonal'nykh rel'sovykh tsepyakh pri izmereniyakh priborom Etalon-Sh [Decoding signals in tone track circuits during measurements with the Etalon-Sh device]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2023, no. 2, pp. 20–23.

### Информация об авторах

**Пультяков Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации, телемеханики и связи, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: pultyakov@irgups.ru.  
**Аношин Вадим Андреевич**, кафедра автоматизации, телемеханики и связи, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: aa\_vdm@mail.ru.

### Information about the authors

**Andrei V. Pul'tyakov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Automation, Telemechanics and Communications, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: pultyakov@irgups.ru.  
**Vadim A. Anoshin**, Department of Automation, Telemechanics and Communications, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: aa\_vdm@mail.ru.

**Современные технологии**

**Системный анализ**

**Моделирование**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ  
И ОБРАБОТКА**

**INFORMATION TECHNOLOGY, MANAGEMENT  
AND PROCESSING**

## Развитие бережливой производственной системы на примере завода

Д.Ю. Гришкова✉, О.Ю. Чуйкова

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉raigas@inbox.ru

### Резюме

В статье проанализирована актуальность и значимость применения концепции бережливого производства на рынке производителей за рубежом и в России. Внешнеэкономическая обстановка и контрмеры, связанные с импортозамещением, дают толчок к реорганизации производственных систем посредством использования обозначенной концепции, а динамика изменений внешней среды и различия в условиях функционирования требуют разработки соответствующего методического аппарата с целью развития эффективных производственных систем на предприятиях. На основе анализа специализированных материалов и обобщения результатов применения бережливого производства на современных предприятиях сформулирована современная система эффективных производственных процессов, которая базируется на логистической концепции управления, и является идеологией, способной решить вопросы ресурсосбережения, улучшения качества и производительности труда. Опираясь на классические группы принципов бережливого производства и современную систему его инструментов, предложена концептуальная модель рентабельной производственной системы, основанной на многоуровневом понимании аппарата бережливого производства и учитывающей организационные элементы данной концепции. Исследование производственной системы АО «Новосибирский стрелочный завод» показало, что главные производственные фонды имеют сильный физический и моральный износ, а также низкие темпы обновления. Предприятие несет потери, возникающие по причине брака. Для достижения максимальной эффективности материальных потоков в производстве при минимальных затратах требуется модернизировать производственные процессы, связанные с логистикой, что позволит оказаться на шаг впереди конкурентов. Существующие алгоритмы внедрения бережливого производства имеют свои преимущества и недостатки, могут носить рекомендательный характер и применяться в том числе и на машиностроительных заводах с поточным производством. В настоящее время на АО «Новосибирский стрелочный завод» внедряется достаточно простой инструмент бережливого производства – система организации рабочего пространства (5S), который позволит получить мгновенный результат и не потребует значительных затрат ресурсов. Тем не менее, как и все инструменты и технологии бережливого производства, система 5S должна быть адаптирована под местные условия организации производственных процессов. Очень хорош метод пилотных проектов, когда выполняется внедрение инструментов и технологий бережливого производства локально, т.е. на одном или нескольких участках предприятия. Затем, при удачном результате, происходит так называемое тиражирование опыта с учетом местных условий. В работе в целях оценки выполняемых мероприятий, нацеленных на повышение производительности АО «Новосибирский стрелочный завод», предлагается использовать экспертный метод – «колесо бережливого производства». Он может быть рассмотрен как качественный анализ исследуемой производственной системы. Теоретическая значимость данного исследования заключается в изучении инструментов и методов бережливого производства и адаптации их под конкретное предприятие. Полученный опыт можно применить и в других организациях со схожей производственной системой (так называемый бенчмаркинг). Практическую значимость представляет и разработанный перечень показателей для рассматриваемой производственной системы.

### Ключевые слова

конкурентоспособность, логистические методы, бережливое производство, рациональная организация рабочего пространства, потери, эффективность работ

### Для цитирования

Гришкова Д.Ю. Развитие бережливой производственной системы на примере завода / Д.Ю. Гришкова, О.Ю. Чуйкова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 150–162. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).150-162.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 14.03.2024 г.; поступила после рецензирования: 19.03.2024 г.; принята к публикации: 20.03.2024 г.

## The development of a lean production system using the example of a plant

D.Yu. Grishkova✉, O.Yu. Chuikova

Siberian Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation

✉raigas@inbox.ru

### Abstract

The article analyzes the relevance and significance of application of the «Lean production» concept in the market of manufacturers

abroad and in Russia. The external economic situation and countermeasures related to import substitution give impetus to the reorganization of production systems through the use of the above concept, while the dynamics of changes in the external environment and differences in operating conditions require the development of an appropriate methodological apparatus for the development of effective production systems at the enterprise. Based on the analysis of specialized materials and the generalization of the results of the application of lean production at today's enterprises a modern system of efficient production processes has been formulated, based on a logistic management concept, which is an ideology of the production process capable of solving issues of resource conservation, improving the quality and of labor productivity. Using the classical groups of lean production principles and the modern system of lean production tools, a conceptual model of an effective production system is proposed, based on a multi-level understanding of the lean production apparatus and taking into account the organizational elements of lean production. A study of the production system of JSC «Novosibirsk Switch Plant» showed the main production assets to have a heavy physical and moral deterioration, as well as low renewal rates. The company suffers losses resulting from manufacturing defects. To achieve maximum efficiency of material flows in production with minimal costs, it is necessary to modernize production processes related to logistics, which will allow to be one step ahead of competitors. The existing implementation algorithms for Lean manufacturing have their advantages and disadvantages, can be of a recommendatory nature and used, also, in machine-building plants with in-line production. Currently, JSC Novosibirsk Switch Plant is implementing a fairly simple Lean manufacturing tool – the workspace organization system (5S), allowing to get instant results during implementation and requiring no significant resources. Nevertheless, like all Lean manufacturing tools and technologies, the 5S system must be adapted to the local conditions of the organization of production processes. The method of pilot projects is very good when the implementation of Lean manufacturing tools and technologies is carried out locally at one or several sites of enterprises. Then, with a successful result achieved, the so-called replication of experience takes place taking into account local conditions. In order to evaluate the activities carried out aimed at increasing the productivity of JSC «Novosibirsk Switch Plant», it is proposed to use the «Lean manufacturing wheel» experimental method which can be considered as a qualitative analysis of the investigated production system. The theoretical significance of this work lies in the research of lean production tools and methods with their adaptation to a specific enterprise. The experience of this study can be applied to other enterprises with a similar production system (the so-called benchmarking). The developed list of indicators for the production system under consideration is also of practical importance.

### Keywords

competitiveness, logistic methods, lean manufacturing, rational organization of the workplace, losses, work efficiency

### For citation

Grishkova D.Yu., Chuikova O.Yu. Razvitie berezhливой proizvodstvennoy sistemy na primere zavoda [The development of a lean production system using the example of a plant]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 150–162. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).150-162.

### Article info

Received: March 14, 2024; Revised: March 19, 2024; Accepted: March 20, 2024.

### Введение

При современном развитии производственных систем особое внимание уделяется пожеланиям и требованиям клиента. Ввиду того, что во многих секторах экономики рынок производства перенасыщен и предложения превалируют над спросом, требуется гибкий и разумный подход ориентации всего производства под конкретный спрос клиентов [1, 2]. Для современного клиента очень важно не только качество продукции или услуги, но и интервал времени от момента поступления от него заказа до момента его реализации. К сожалению, значительная часть производственных систем не соответствуют современным требованиям заказчика: на уровне организационной структуры, процессов, а также отдельных рабочих мест [3, 4].

Общеизвестно, что любая производственная система содержит в себе операции, приносящие ценность, и операции, не приносящие ценность (потери). Они возникают от

момента поступления материалов или заготовок на склад материалов, а иной раз от момента закупок, до момента поступления материальных ценностей на склад готовой продукции или до момента реализации. Потери, как правило, составляют львиную долю всего цикла производства.

Многие производственные системы решают проблемы со скрытыми потерями преимущественно технократическими способами: точным планированием, закупкой более производительного оборудования и т.д. Бережливое производство (БП) делает акцент на всеобщее вовлечение и развитие у каждого сотрудника навыков бережливости, так называемой модели бережливой личности. БП является комплексным подходом, призванным на борьбу с операциями, потребляющими ресурсы, со всеобщим вовлечением работников предприятия в этот процесс, причем как на уровне руководства, так и на уровне отдельно взятых рабочих мест [5].

Инструменты и технологии концепции БП использовались в производственных системах более 60 лет назад. В прошлом столетии концепцию достаточно успешно использовали многие предприятия мирового сообщества. С учетом современных требований клиентов, развитием научно-технического прогресса и информационных технологий концепция тоже претерпевает определенные изменения [4, 6].

В целях повышения эффективности функционирования производственных систем во многих организациях используют логистические методы. Использование логистических подходов отражается в трудах И.В. Балахонова, Д.Д. Бауэрскса, Р.С. Беспалова, Г.Л. Бродецкого, В.В. Волгина, А. Гаррисона, М.Н. Григорьева, В.В. Дыбской, А.М. Зевакова, Д.А. Иванова, М. Кристофера, Г.И. Просветова, Д. Шрайбфедера и др. Методы и технологии отражены в работах Д.П. Вумека, Т. Джексона, М. Имаи, Е. Кондо, Т. Конти, Д.К. Лайкера, У. Левинсона, Т. Луйстера, Д. Манна, Б. Маскелла, Я. Мондена, Т. Оно, Э. Осона, М. Ротера, С. Синго, Х. Такеды, Д. Тэппинга, Т. Фабрицио, А. Фейгенбаума, Д.П. Хоббса [7, 8].

Использование бережливого подхода позволяет комплексно, быстро и эффективно решать вопросы повышения производительности труда, ресурсосбережения, не теряя при этом качества продукции [9, 10].

Несмотря на достаточно долгое использование в производственных системах определенного набора инструментов и технологий, значительная часть из них все же требует индивидуального подхода и адаптации под конкретные условия функционирования производственной системы.

Целью данной работы является разработка отдельных методов, а также алгоритма внедрения концепции БП в целом на базе изученных алгоритмов специалистов по БП на примере АО «Новосибирский стрелочный завод» (АО «НСЗ»). Кроме того, при оценке деятельности рассматриваемого предприятия используется метод оценки внедрения БП по отдельным качественным показателям.

Согласно рассматриваемому направлению, а также с опорой на методологию организации производственных систем, еще в свое время рассмотренную А.К. Гастевым во многих трудах, посвященных научной организации труда, можно отметить, что производственный

процесс, обеспечение его техническими средствами, а также поведение людей в производственном процессе неразрывно связаны между собой.

### **Характеристика АО «Новосибирский стрелочный завод»**

АО «НСЗ» специализируется на выпуске стрелочной продукции для магистральных железнодорожных путей ОАО «РЖД», подъездных путей предприятий, металлургических и горно-обогатительных комбинатов, угольных разрезов, шахт, а также трамвайных путей и метрополитенов.

Деятельность АО «НСЗ» направлена на обеспечение стратегической политики холдинга «РЖД» в развитии путевого хозяйства – увеличение пропускной способности железных дорог и снижение расходов на их содержание. В этих целях на заводе применяются уникальные технологические процессы, разработанные заводскими специалистами в сотрудничестве с научными организациями и впервые внедренные не только в России, но и в мировой практике [11].

АО «НСЗ» вправе осуществлять любые виды деятельности, не запрещенные законодательством РФ, но основным видом является производство и реализация стрелочных переводов, ремкомплектов, отдельных крестовин и другой стрелочной продукции, а также запасных частей для вагонов.

Система управления качеством рассматриваемого предприятия соответствует требованиям международного стандарта ГОСТ Р ИСО 9001. В настоящее время номенклатура выпускаемой продукции насчитывает около 300 наименований. Согласно оценке экспертов, номенклатура будет расширяться. Практически вся продукция, выпускаемая АО «НСЗ», имеет сертификаты соответствия, выданные Регистром сертификации на федеральном железнодорожном транспорте.

Наибольшая часть заказов – около 80 % – поступает от ОАО «РЖД», и только 20 % производственной мощности загружены заказами сторонних организаций, имеющих в собственности пути необщего пользования, трамвайные или подземные пути.

Товары, выпускаемые заводом, можно подразделить на четыре укрупненные группы: – стрелочные переводы для ОАО «РЖД»;

- стрелочные переводы для предприятий;
- запасные части;
- прочая продукция.

Целью деятельности АО «НСЗ» является:

- разработка, изготовление и реализация товаров, отвечающих высоким техническим требованиям;
- удовлетворение запросов потребителей по качеству, номенклатуре, объемам и срокам поставки продукции;
- повышение престижа акционерного общества на рынках продаж и создание устойчивого имиджа надежного партнера;
- получение максимальной прибыли для улучшения благосостояния каждого работника завода.

Основами направлениями деятельности является:

- обеспечение стабильности функциональных характеристик продукции и их соответствие установленным требованиям;
- повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет постоянного улучшения качества и расширения потребительских свойств;
- освоение новых видов продукции на основе анализа перспективных рынков и запросов потребителей;
- снижение потерь от производства несоответствующей продукции [12].

Реализация основных направлений осуществляется путем:

- обязательного соответствия системы менеджмента качества завода с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015;
- постоянного повышения результативности системы менеджмента качества завода;
- совершенствования технологических процессов за счет улучшения качества выпускаемой продукции;
- организации работы всех структурных подразделений по повышению качества продукции за счет предупреждения несоответствий, а не их исправления;
- мотивации работников завода в обеспечении качества продукции и повышения экономической эффективности производственных процессов;
- разработки и осуществления программ обучения и повышения квалификации работников;
- выполнения мероприятий, предусмотренных «Планом качества» на текущий год.

ренных «Планом качества» на текущий год.

Несмотря на «амбициозную» политику завода в области качества, существуют некоторые экономические проблемы организации производства. Уровень износа основных производственных фондов находится на высоком уровне.

На данном предприятии наблюдается не только физический и моральный износ основных фондов, но и низкие темпы их обновления. Поскольку коэффициент выбытия основных фондов на протяжении исследуемого периода (три года) остается на низком уровне, вследствие роста степени износа (за период на 3,6 %), то можно предположить, что основные фонды предприятия участвуют в процессе производства продукции вплоть до состояния их полного физического износа.

Бережливая организация производственных операций вместе с производственной логистикой способны наилучшим образом выстраивать технологический процесс, повышая производительность не только оборудования и персонала, но и предприятия в целом.

В основу АО «НСЗ» входят десять внутренних подразделений, которые способны обеспечить полный производственный цикл.

Так как предприятие имеет большое число подразделений, направленных на самостоятельное изготовление продукции стрелочного завода, необходимо понимать, что взаимоотношение с поставщиками и рынком является несколько ограниченным.

В статье предлагается совершенствовать систему менеджмента качества путем использования отдельных инструментов и технологий одного из направлений БП.

### **Анализ структуры и причин браков**

Поскольку технологический процесс включает в себя массу требований касательно размеров, качества и допусков обрабатываемых заготовок рельса на каждом этапе, необходимо учитывать также и человеческий фактор. Если опираться на структуру основных производственных фондов, у которых высокий уровень износа, можно сделать вывод, что снижение потерь от производства несоответствующей продукции должно быть реализовано с помощью воплощения концепции БП на предприятии. Производственный брак, являясь стагнирующим фактором оптимизации производ-

ственных процессов, нуждается в отлаженной системе мер, необходимых для реализации снижения потерь от брака [13].

Структура потерь от брака в зависимости от причин возникновения меняется по годам незначительно, что говорит о трудоемкости процесса производства и некоторых особенностях, которые исследованы в работе. Структура потерь представлена на рис. 1.

Согласно данным рис. 1, наибольшая доля потерь приходится на механическую обработку рельсовой продукции, которая производится в механозаготовительном цехе. Необходимо заметить, что около 8 % брака зависит от поставщика, а значит, предприятие, как и остальной машиностроительный комплекс, зависит от металлургической промышленности. Дефекты механической обработки являются ключевым видом потерь.

Наибольшая доля брака в механозаготовительном цехе приходится на остряковый рельс. Так, доля потерь от несоответствия по

остряку в общей сумме потерь составляет за три года порядка 50 %. Графическая структура брака приведена на рис. 2.

Максимальное количество несоответствий выявлено по остряку – 45 % и рельсовому окончанию к крестовине – 46 %, в денежном выражении это составляет порядка 3 и 1,7 млн руб. соответственно.

На производстве специалистами посредством карт Шухарта был выполнен анализ причин брака. Установлено, что брак возникает:

- по вине рабочего (невнимательность, много времени уходит на поиск необходимых деталей и инструментов);
- при наладке оборудования;
- при обработке сверх норм;
- вследствие неправильных указаний руководящего состава, инструктажа;
- в период освоения новых проектов;
- по вине конструкторов;
- по вине сопряженных цехов и работников этих цехов;

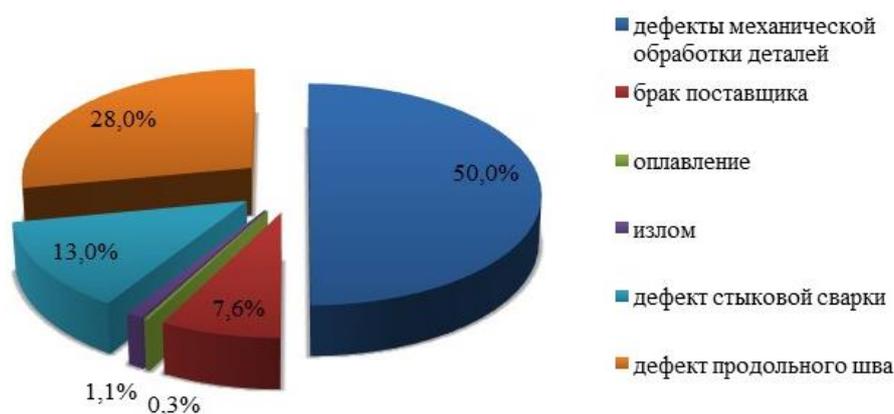


Рис. 1. Структура причин потерь от брака

Fig. 1. The structure of the causes of losses from reject

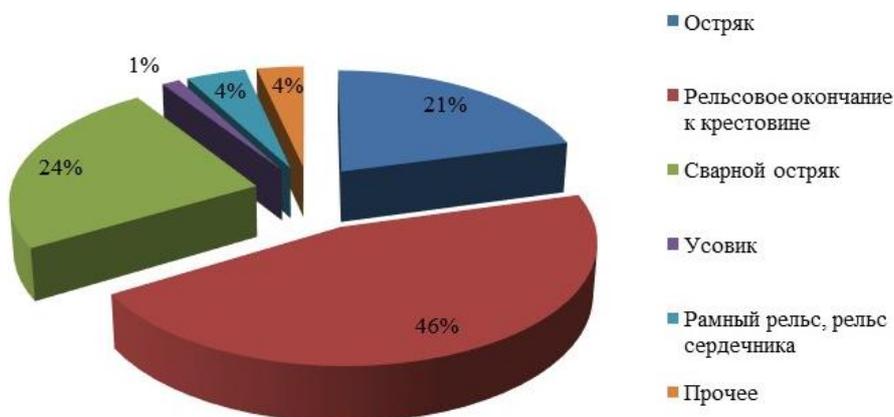


Рис. 2. Структура количества несоответствующих деталей

Fig. 2. The structure of the number of non-conforming parts

– брак, выявленный в процессе производства, который не мог быть обнаружен до запуска материалов в производство;

– по другим причинам (нет порядка на рабочем месте, не определены четкие показатели эффективности работы).

Наиболее частыми операциями, на которых возникают дефекты обработки, являются сверловка пера, фрезеровка корня и его выпрессовка.

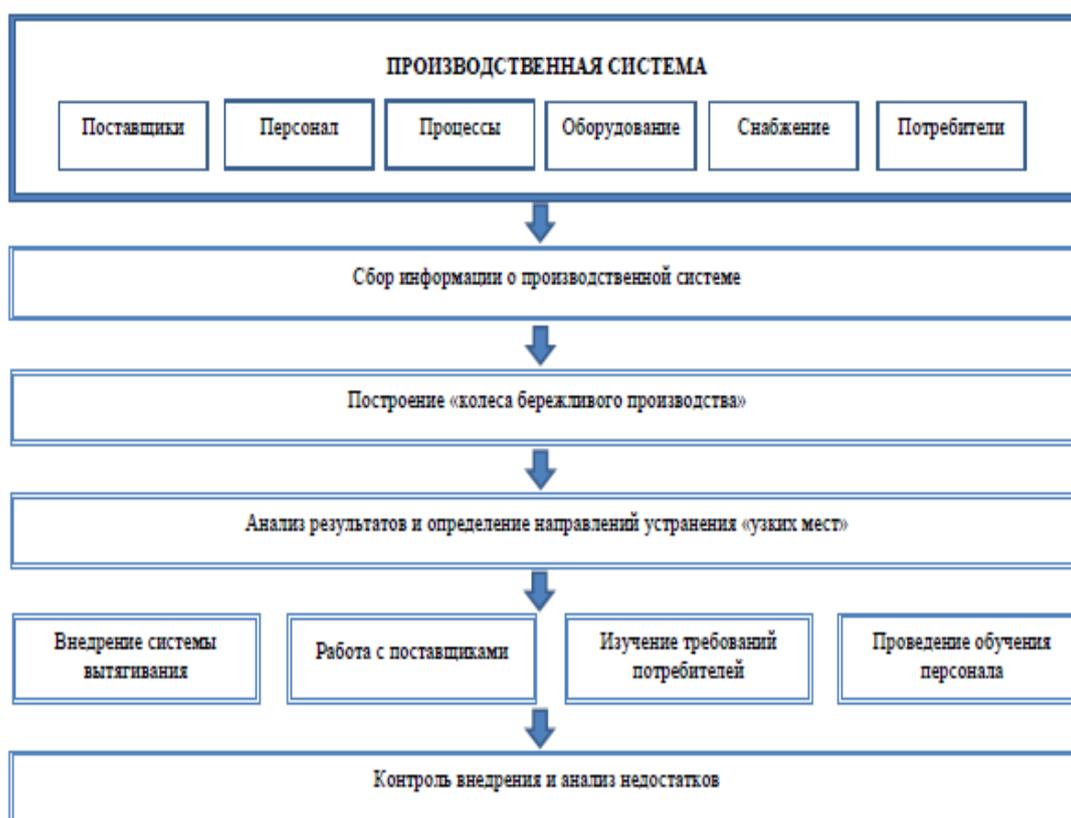
В результате исследования организации производственной системы АО «НСЗ» целесообразно предложить развертывание концепции БП для снижения потерь, возникающих в результате несоответствия требованиям качества продукции. Следует отметить, что потери любого рода и уровня потребляют ресурсы производства и не создают ценности для клиента, тем самым увеличивая стоимость единицы продукции и снижая конкурентоспособность организации, выпускающей продукцию материального или невещественного характера. Также потери в производственном процессе не способствуют повышению уровня лояльности клиента. Исходя из изложенного необходимо применять ком-

плекс инструментов и технологий БП, адаптируя под конкретные условия рассматриваемой производственной линии ввиду того, что инструменты и технологии БП неразрывно связаны с организацией производственного процесса и производственного поведения людей.

### Внедрение инструментов и методов бережливого производства

В АО «НСЗ» в настоящее время осуществляется обучение инструментам и принципам БП, а также происходит внедрение пяти простых шагов по рациональной организации рабочего пространства. Данный подход не противоречит рекомендациям М. Хаммера и Д. Вумека. Тем не менее, следует отметить, что применение инструментов БП требует определенной адаптации к специфике производства [14].

На основании анализа разных алгоритмов внедрения БП в производственные процессы, используемых мировым сообществом, на АО «НСЗ» разработан алгоритм внедрения БП с учетом местных условий (рис. 3). Отличительной особенностью алгоритма является поддержание концепции непрерывных улучшений.



**Рис. 3.** Алгоритм развития производственной системы АО «Новосибирский стрелочный завод»  
**Fig. 3.** Algorithm for the development of the production system of JSC «Novosibirsk Switch Plant»

Алгоритм развития производственной системы АО «НСЗ» представлен на рис. 3.

На предприятии принято решение начать внедрять идеологию БП с достаточно простого и очень действенного инструмента – системы 5S. Данная система представляет собой совокупность пяти шагов по организации рабочего пространства: сортировка, упорядочение, соблюдение чистоты, стандартизация и совершенствование. Данные шаги обеспечивают рациональную организацию рабочего пространства и способствуют повышению эффективности работы на отдельном участке или рабочем месте [5].

Кроме того, система организации рабочего пространства является достаточно простой технологией для понимания и реализации, дает буквально мгновенный результат по показателям эффективности, что способствует повышению мотивации сотрудников при внедрении инструментов и технологий концепции БП.

В результате использования данного инструмента на предприятии, как правило, внедряются:

– визуализация, дающая понять каждому работнику норму или отклонение от выбранного стандарта;

– маркировка оборудования, в том числе цветом или использование метода дорожных знаков;

– стандартные операционные карты [15].

Выполнить анализ внедрения системы 5S можно на основании показателя «область покрытия», отражающего площадь внедрения инструмента к общей площади подразделений. Инструмент 5S был применен наиболее усиленно в подразделениях и на участках с высокой долей возникновения брака. Расчет области покрытия представлен в табл. 1.

Расчетная область покрытия АО «НСЗ» инструментом 5S, согласно данным, представленным в табл. 1, составит 13,6 %. На текущий момент область покрытия до 75 % имеют всего 20 % подразделений (рис. 4).

При опросе мнений рабочих механогаготовительного цеха о результативности внедрения системы 5S определено, что многим из них

**Таблица 1.** Расчет области покрытия 5S в АО «Новосибирский стрелочный завод»

**Table 1.** Calculation of the 5S coverage area in JSC «Novosibirsk Switch Plant»

Подразделение Subdivision	Площадь подразделения, тыс. м <sup>2</sup> Subdivision area, thousand m <sup>2</sup>	Площадь, где используется 5S, тыс. м <sup>2</sup> Area where 5S is used, thousand m <sup>2</sup>	Область покрытия, % Coverage area, %
Механогаготовительный цех Mechanical procurement workshop	10,3	6,3	61,2
Сборочный цех Assembly shop	14,2	6,3	44,3
Сталелитейный цех Steel foundry	9,6	0,2	2,2
Кузнечный цех Forge shop	16,9	0,5	3,1
Опытно-промышленный цех Pilot workshop	8,8	2,0	22,7
Ремонтный цех Repair shop	20,1	1,1	5,3
Инструментальный цех Tool shop	12,3	0,3	2,6
Транспортный цех Transport workshop	16,7	0,7	4,1
Котельный цех Boiler shop	12,3	0,4	3,2
Энергетический цех Energy shop	9,9	0,0	0,0
Итого Total	131,1	17,8	13,6

стало легче и проще работать, наведен порядок на рабочих местах, упрощающий поиск нужных деталей и предметов, а также взаимодействие работников между собой (рис. 5).

Стоимостное отражение эффективности внедрения инструмента 5S должно учитывать затраты на внедрение и при этом сравнивать уровень потерь от производства несоответствующей продукции в аналогичных периодах до введения и после введения 5S.

По результатам анализа целесообразности внедрения БП на производственных участках АО «НСЗ» прослеживается окупаемость данных финансовых вложений, начиная со второго месяца работы, что обусловлено простой и невысокой стоимостью реализации инструмента 5S. Согласно оценке специалистов по внедрению инструментов БП, на рассматриваемом предприятии ожидаемый темп снижения потерь от внедрения методики 5S может составить 14,4 % экономии денежных средств. При этом не учитывается годовой объем инвестиций, направленных на внедрение БП.

В настоящее время представить экономический эффект в денежном эквиваленте было бы не очень корректно ввиду неопределенности по срокам внедрения системы рационализации рабочего пространства. Сроки внедрения могут составлять от нескольких месяцев до нескольких лет.

### Оценка эффективности работ по развитию производственной системы

Для оценки эффективности работ по развитию производственной системы АО «НСЗ» в концепции БП предлагается экспертный метод – «колесо БП» [16]. Данный метод рассматривается с позиции качественного анализа. Результатами оценки работ по БП в АО «НСЗ» являются дальнейшие направления развития производственной системы исследуемого предприятия.

Показатели методики оценки БП в АО «НСЗ» рассматриваются по четырем направлениям.

1. Стратегическое планирование: наличие стратегического управления, наличие философии БП, КРІ – ключевые показатели эффективности.

2. Ресурсное обеспечение: работа с поставщиками, изучение требований потребителей, повышение качества продукции.

3. Интеллектуальный уровень: наличие и качество инноваций, сплоченность сотрудников, вовлеченность высшего руководства.

4. Производственный уровень: использование системы вытягивания, наличие 5S, снижение потерь [17, 18].

Оценка работ по развитию производственной системы проводится с точки зрения системы менеджмента. Экспертами выступают руководители служб и технические специали-

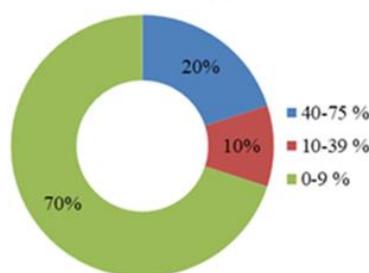


Рис. 4. Область покрытия внедрения системы 5S, %  
Fig. 4. The coverage area of the 5S system implementation, %



Рис. 5. Результаты ответов рабочих механогаготовительного цеха о применении инструмента 5S  
Fig. 5. The results of the answers of the workers of the machine shop about the use of the 5S tool

сты, которые связаны с работами по развитию производственной системы предприятия. Показатели оценки работ по внедрению БП приведены в табл. 2, результаты оценки работ – в табл. 3, общие результаты оценки работ по развитию производственной системы АО «НСЗ» в концепции БП изображены на рис. 6.

Ответы на вопросы экспертов оцениваются в баллах от 0 до 3, где 0 баллов – отсутствие признака выполнения работ, 1 балл – отсутствие результата от реализации мероприятий, 2 балла –

необходимо совершенствование процессов, 3 – работа выполняется, есть результаты, не требуется улучшение процессов.

Экспертная оценка работ показала: в настоящее время на предприятии наиболее развит сектор стратегического планирования, требуется разработать комплекс мероприятий, направленных на работу по развитию других секторов. Особое внимание следует уделить работе с поставщиками.

**Таблица 2.** Показатели оценки работ по внедрению бережливого производства  
**Table 2.** Performance indicators for the implementation of lean manufacturing

Номер вопроса	Показатель оценки Evaluation indicator
1	Управленческие решения принимаются с учетом стратегических целей Management decisions are made taking into account strategic goals
2	Присутствие лидеров, способных обучить сотрудников предприятия бережливому производству The presence of leaders capable of training employees of the enterprise in lean production
3	Каждый сотрудник предприятия знает свои цели и задачи в рамках предприятия Each employee of the enterprise knows his goals and objectives within the enterprise
4	Формирование на предприятии системы обучения инструментам и технологиям бережливого производства Formation of a training system in lean manufacturing tools and technologies at the enterprise
5	Существование программы развития по решению проблем производственного процесса Existence of a development program to solve production process problems
6	Учет инновационных и рационализаторских предложений, а также реализованных идей Taking into account innovative and rationalization proposals, as well as implemented ideas
7	Совершенствование операционных процессов посредством специально разработанных программ Improving operational processes through specially designed programs
8	Использование системы выравнивания производственных процессов Using a manufacturing process leveling system
9	Функционирование процессов как потоков создания ценностей Functioning of processes as value creating streams
10	Учтены результаты работ при взаимодействии с потребителями The results of work were taken into account when interacting with consumers
11	Внедряется система встроенного качества в процессы A system of built-in quality in processes is being introduced
12	Предложения по улучшению бизнес-процессов поощряются Suggestions for improving business processes are encouraged
13	Значительная часть сотрудников может без труда сформулировать миссию организации A significant portion of employees can easily formulate the mission of the organization
14	Работа сформированных команд по организации эффективных производственных систем The work of formed teams to organize effective production systems
15	Организован контроль за целевыми показателями эффективности Control over target performance indicators is organized
16	Личный пример руководства в области приверженности идеям бережливого производства Personal example of leadership in the field of commitment to lean manufacturing ideas
17	Систематическое обучение инструментам и принципам бережливого производства Systematic training in tools and principles of lean manufacturing
18	Высокая доля реализации предложений по бережливому производству High percentage of implementation of lean manufacturing proposals

19	Высокая доля подразделений предприятий, участвующих во внедрении системы организации рабочего пространства High proportion of enterprise departments involved in the implementation of the workspace organization system
20	Определены и зафиксированы ключевые потоки создания ценности Key value streams identified and recorded
21	Составлены карты потоков создания ценности Value stream maps compiled
22	Оценивается уровень удовлетворенности клиентов Customer satisfaction level is assessed
23	Выявляются резервы возможных улучшений Reserves for possible improvements are identified
24	Внедрение инструментов и технологий бережливого производства у поставщиков и дилеров Implementation of lean manufacturing tools and technologies at suppliers and dealers
25	В зависимости от изменения требований клиентов корректировка цели и задач предприятия Adjustment of goals and objectives of the enterprise depending on changes in customer requirements
26	Принципы бережливого производства отражаются в практической деятельности каждого сотрудника The principles of lean manufacturing are reflected in the practical activities of each employee
27	Каждый сотрудник имеет текущие цели и задачи своего производственного участка Each employee has current goals and objectives of his production site
28	Наличие высокой степени доверия между сотрудниками и руководством A high degree of trust between employees and management
29	Наличие мультифункциональных групп для решения смежных вопросов между производственными участками Availability of multifunctional groups to resolve related issues between production areas
30	Высокая доля персонала, который участвует в подаче и реализации предложений High proportion of personnel involved in submitting and implementing proposals
31	Постепенный переход от системы 5S к 6S Gradual transition from the 5S to 6S system
32	Выявление, ликвидация или сокращение потерь Identify, eliminate or reduce losses
33	Переход от системы выталкивания к вытягиванию Transition from push to pull system
34	Постоянное изучение рынка и потребительских предпочтений Constant study of the market and consumer preferences
35	Изучение рекламаций, поступающих от клиентов Studying complaints received from customers
36	Решение вопросов совместными усилиями с поставщиками потребителями Resolving issues jointly with suppliers and consumers

Таблица 3. Результаты оценки работ по внедрению бережливого производства

Table 3. Results of the evaluation of the implementation of lean manufacturing

Показатели оценки Evaluation indicators	Номера вопросов, соответствующих показателю Numbers of questions corresponding to the indicator	Сумма баллов Sum of points
Наличие стратегического управления Availability of strategic management	1, 13, 25	150
Наличие философии бережливого производства Having a lean manufacturing philosophy	2, 14, 26	200
KPI – ключевые показатели эффективности KPI – key performance indicators	3, 15, 27	225

Вовлеченность высшего руководства Senior management involvement	4, 16, 28	300
Сплоченность сотрудников Employee cohesion	5, 17, 29	150
Наличие и качество инноваций Availability and quality of innovations	6, 18, 30	200
Наличие 5S 5S Availability	7, 19, 31	175
Снижение потерь Reducing losses	8, 20, 32	100
Использование системы вытягивания Using a Pull System	9, 21, 33	50
Изучение требований потребителей Studying consumer requirements	10, 22, 34	25
Повышение качества продукции Improving product quality	11, 23, 35	100
Работа с поставщиками Work with providers	12, 24, 36	70



Рис. 6. «Колесо бережливого производства» АО «Новосибирский стрелочный завод»  
Fig. 6. «The wheel of lean production» JSC «Novosibirsk Switch Plant»

### Заключение

Таким образом, в ходе выполненных исследований получены следующие результаты:

1. На рассматриваемом предприятии с учетом опыта разработки алгоритма внедрения БП на отечественных и зарубежных предприятиях сформулирована современная система БП.
2. Основные производственные фонды АО «НСЗ» имеют сильный физический и моральный износ, а также низкие темпы обновления.

3. Производственный процесс насыщен потерями, возникающими по причине брака.

4. Уровень брака зависит от рациональной организации рабочего пространства, модернизации оборудования и всеобщего вовлечения сотрудников в совершенствование производственного процесса.

5. В настоящее время в АО «НСЗ» внедряются базовые элементы концепции, такие как инструмент 5S и обучение основам БП.

6. В работе рассчитана область покрытия производства инструментом 5S, для всех цехов она составляет 13,6 %.

7. Посредством экспертного опроса составлено «колесо БП».

8. Выявлены направления для устранения «перекосов» в «колесе БП»: использование системы вытягивания, работа с поставщиками, наличие стратегического управления и изучение требований потребителей.

Итак, можно отметить, что подходы ор-

ганизации эффективной производственной системы могут быть различными при одновременном использовании идентичных инструментов и технологий БП для всех производств. Исходя из определения БП следует, что особое внимание необходимо обращать на производственное поведение людей в технологических процессах, а также на воспитательные моменты, о чем свидетельствует метод рациональной организации рабочего пространства.

### Список литературы

1. Антонова И.И. Бережливое производство: системный подход к его внедрению на предприятиях Республики Татарстан. Казань : Познание, 2013. 176 с.
2. Гришкова Д.Ю., Чуйкова О.Ю. Особенности внедрения бережливого производства в России // *Фундаментальные науки и современность*. 2019. № 5 (26). С. 12–18.
3. Бережливое производство: итоги и задачи // *Железнодорожный транспорт*. 2019. № 2. С. 70–74.
4. Туркова А.А., Курбанаева А.Р. Бережливое производство как метод повышения эффективности производства на предприятиях машиностроения // *Инновационная наука*. 2017. № 12. С. 123–125.
5. Гришкова Д.Ю., Тесленко И.О. Бережливое производство как основа повышения производительности труда // *Сб. науч. тр. Донец. ин-та ж.-д. транспорта*. 2018. № 51. С. 45–52.
6. Бережливое производство как основа для повышения эффективности производства / И.Е. Литвинов, А.Н. Коркишко, М.С. Чухлатый и др. // *Экономика и предпринимательство*. 2019. № 2 (103). С. 1132–1136.
7. Арская Е.В., Усатова Л.В. Бережливое производство: проблемы и перспективы // *Актуальные проблемы экономического развития : сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф.* Белгород, 2018. С. 48–51.
8. Вумек Дж.П., Джонс Д.Т. Продажа товаров и услуг по методу бережливого производства. М. : Альпина Паблишер, 2016. 261 с.
9. Ефимычев Ю.И., Плехова Ю.О. Реализация резервов развития промышленного предприятия на основе концепции бережливого производства // *Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского*. 2007. № 1. С. 223–227.
10. Каныкова В.П. Бережливое производство: основные инструменты и принципы бережливого производства // *Аллея науки*. 2018. Т. 1. № 7 (23). С. 642–647.
11. Новосибирский стрелочный завод // АО «НСЗ» : сайт. URL : <https://nsznsk.ru> (Дата обращения: 07.03.2024).
12. Седашкин А.Д. Управление качеством продукции на основе статистического моделирования процесса расчета выборок // *Наука и молодежь : материалы XIX Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*. Барнаул, 2022. Т. 1. Ч. 1. С. 53–54.
13. Гришкова Д.Ю., Чуйкова О.Ю. Причины производственного брака на предприятии // *Современные достижения молодежной науки : сб. ст. Междунар. науч.-исслед. конкурса*. Петрозаводск, 2019. С. 69–73.
14. Методы бережливого производства: анализируем, оцениваем и выбираем / А.А. Овчинников, К.П. Фаллер, С.А. Овчинников и др. // *Методы менеджмента качества*. 2016. № 8. С. 10–15.
15. Бережливое производство: как сделать первые шаги и не сбиться с пути / А.А. Овчинников, С.А. Овчинников, К.П. Фаллер и др. // *Методы менеджмента качества*. 2016. № 7. С. 16–20.
16. Тер-Исраелян А.М. Бережливое производство в России: реалии и перспективы // *Вестн. Марийск. гос. ун-та. Сер.: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2015. Т. 1. № 4 (4). С. 96–100.
17. Черкасская Г.А. Бережливое производство и инструменты организации управления производством // *Вопросы науки и образования*. 2017. № 11 (12). С. 119–120.
18. Шибанов К.С. Бережливое производство: непрерывный поток и системы вытягивания // *Colloquium-journal*. 2019. № 2-6 (26). С. 41–42.

### References

1. Antonova I.I. Berezhlivoie proizvodstvo: sistemnyi podkhod k ego vnedreniyu na predpriyatiyakh Respubliki Tatarstan [Lean manufacturing: a systematic approach to its implementation at enterprises of the Republic of Tatarstan]. Kazan': Poznanie Publ., 2013. 176 p.
2. Grishkova D.Yu., Chuikova O.Yu. Osobennosti vnedreniya berezhlivogo proizvodstva v Rossii [Features of the introduction of lean manufacturing in Russia]. *Fundamental'nye nauki i sovremennost'* [Fundamental Sciences and Modernity], 2019, no. 5 (26), pp. 12–18.
3. Berezhlivoie proizvodstvo: itogi i zadachi [Lean manufacturing: results and objectives]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2019, no. 2, pp. 70–74.
4. Turkova A.A., Kurbanaeva A.R. Berezhlivoie proizvodstvo kak metod povysheniya effektivnosti proizvodstva na predpriyatiyakh mashinostroeniya [Lean manufacturing as a method of increasing production efficiency at machine-building enterprises]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative science], 2017, no. 12, pp. 123–125.

5. Grishkova D.Yu., Teslenko I.O. Berezhlivoe proizvodstvo kak osnova povysheniya proizvoditel'nosti truda [Lean production as a basis for increasing labor productivity]. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [The collection of scientific papers of the Donetsk Railway Transport Institute], 2018, no. 51, pp. 45–52.
6. Litvinov I.E., Korkishko A.N., Chukhatyi M.S., Nabokov A.V. Berezhlivoe proizvodstvo kak osnova dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva [Lean production as a basis for improving production efficiency]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2019, no. 2 (103), pp. 1132–1136.
7. Arskaya E.V., Usatova L.V. Berezhlivoe proizvodstvo: problemy i perspektivy [Lean manufacturing: problems and prospects]. *Sbornik dokladov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy ekonomicheskogo razvitiya»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Actual problems of economic development»]. Belgorod, 2018, pp. 48–51.
8. Womack J.P., Jones D.T. Lean Solutions. How Companies and Customers Can Create Value and Wealth Together. Moscow: Al'pina Publisher Publ., 2016. 261 p.
9. Efimychev Yu.I., Plekhova Yu.O. Realizatsiya rezervov razvitiya promyshlennogo predpriyatiya na osnove kontseptsii berezhlivogo proizvodstva [Realization of reserves for the development of an industrial enterprise based on the concept of lean production]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevskii], 2007, no. 1, pp. 223–227.
10. Kanyukova V.P. Berezhlivoe proizvodstvo: osnovnye instrumenty i printsipy berezhlivogo proizvodstva [Lean manufacturing: basic tools and principles of lean production]. *Alleya nauki* [Alley of Science], 2018, vol. 1, no. 7 (23), pp. 642–647.
11. Novosibirskii strel'chnyy zavod (elektronnyi resurs) [Novosibirsk Switch Plant (Electronic Resource)]. Available at: <https://Novosibirsk Switch Plantnsk.ru/> (Accessed March 7, 2024).
12. Sedashkin A.D. Upravlenie kachestvom produktsii na osnove statisticheskogo modelirovaniya protsessa rascheta vyborok [Product quality management based on statistical modeling of the sample calculation process]. *Materialy XIX Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh «Nauka i molodezh'»* [Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Ph.D. Students and Young Scientists «Science and Youth»]. Barnaul, 2022, vol. 1, part 1, pp. 53–54.
13. Grishkova D.Yu., Chuikova O.Yu. Prichiny proizvodstvennogo braka na predpriyatii [The reasons for industrial defects at the enterprise]. *Sbornik statei Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Sovremennye dostizheniya molodezhnoi nauki»* [Proceedings of the International Research Competition «Modern Achievements of Youth Science»]. Petrozavodsk, 2019, pp. 69–73.
14. Ovchinnikov A.A., Faller K.P., Ovchinnikov S.A., Emanakov I.V. Metody berezhlivogo proizvodstva: analiziruem, otsenivaem i vybiraem [Methods of lean production: analyzing, evaluating and choosing]. *Metody menedzhmenta kachestva* [Methods of quality management], 2016, no. 8, pp. 10–15.
15. Ovchinnikov A.A., Ovchinnikov S.A., Faller K.P., Emanakov I.V. Berezhlivoe proizvodstvo: kak sdelat' pervye shagi i ne sbit'sya s puti [Lean manufacturing: how to take the first steps and not lose your way]. *Metody menedzhmenta kachestva* [Methods of quality management], 2016, no. 7, pp. 16–20.
16. Ter-Israelyan A.M. Berezhlivoe proizvodstvo v Rossii: realii i perspektivy [Lean manufacturing in Russia: realities and prospects]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Mari State University. The Series: Agricultural sciences. Economic Sciences], 2015, vol. 1, no. 4 (4), pp. 96–100.
17. Cherkasskaya G.A. Berezhlivoe proizvodstvo i instrumenty organizatsii upravleniya proizvodstvom [Lean production and tools for organizing production management]. *Voprosy nauki i obrazovaniya* [Problems of Science and Education], 2017, no. 11 (12), pp. 119120.
18. Shibanov K.S. Berezhlivoe proizvodstvo: nepreryvnyi potok i sistemy vytyagivaniya [Lean manufacturing: continuous flow and pulling systems]. *Colloquium-journal*, 2019, no. 2-6 (26), pp. 41–42.

### Информация об авторах

**Гришкова Диана Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики, коммерческой работы и подвижного состава, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск; e-mail: raigas@inbox.ru.

**Чуйкова Ольга Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики, коммерческой работы и подвижного состава, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск; e-mail: chuykova1974@bk.ru.

### Information about the authors

**Diana Yu. Grishkova**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics, Commercial Work and Rolling Stock, Siberian Transport University, Novosibirsk; e-mail: raigas@inbox.ru.

**Ol'ga Yu. Chuikova**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics, Commercial Work and Rolling Stock, Siberian Transport University, Novosibirsk; e-mail: chuykova1974@bk.ru.

## Математические методы принятия оптимальных решений в проектировании железных дорог

В.В. Казарина✉

ООО Учебный центр «Салютем», г. Иркутск, Российская Федерация

✉vvkaz92@mail.ru

### Резюме

В статье исследуются вопросы модернизации принятия решений в проектировании железных дорог с использованием математических методов. Выделены типы информационных ситуаций, которые могут возникнуть при принятии решений (в условиях определенности, риска, неопределенности). Рассмотрена необходимость структурирования информации при формировании критериев, выборе альтернатив. Показана важность информационно-аналитической деятельности при принятии решений. Фактор неопределенности в процессе проектирования железных дорог обусловлен состоянием окружающей среды, обязательностью учета внешних условий и другими особенностями строительства и эксплуатации железных дорог. Автором предложено использовать методы, в которых возможно построить математическую модель и учесть неполноту информации при принятии оптимальных решений в условиях риска и неопределенности. Приведена классификация методов принятия решений по содержанию и типу экспертной информации. Описаны основные положения теории нечетких множеств, которые могут быть использованы в принятии решения при проектировании железных дорог. Рассмотрена практическая задача проектирования новой железной дороги. Сформировано множество критериев для выбора оптимального решения. Предложено решение практической задачи многокритериального выбора стратегических альтернатив проектирования железных дорог в условиях неопределенности, основанных на теории нечетких множеств, а также на методах минимакса, абсолютного решения и эталонного сравнения. Составлены программы Excel для автоматического расчета данными методами. Полученный результат демонстрирует возможность применения теории нечетких множеств при принятии решений в практике строительства железных дорог.

### Ключевые слова

принятие решений, проектирование железных дорог, оптимальное решение, многокритериальные задачи, критерий, альтернатива, условия неопределенности, математические методы, теория нечетких множеств

### Для цитирования

Казарина В.В. Математические методы принятия оптимальных решений в проектировании железных дорог / В.В. Казарина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 163–173. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).163-173.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 18.03.2024 г.; поступила после рецензирования: 21.03.2024 г.; принята к публикации: 22.03.2024 г.

## Mathematical methods for making optimal decisions in designing railways

V.V. Kazarina✉

JSC Educational Center «Salutem», Irkutsk, the Russian Federation

✉vvkaz92@mail.ru

### Abstract

The article is devoted to the modernization of decision-making in the design of railways using mathematical methods. The types of information situations that may arise when making decisions (under conditions of certainty; risk, uncertainty) are identified. The need for structuring information when forming criteria and choosing alternatives is considered. The importance of information and analytical activities in decision making is shown. The uncertainty factor in the design of railways is determined by the state of the environment, the need to take into account external conditions and other features of the construction and operation of railways. The author proposed to use methods allowing to build a mathematical model and take into account the information incompleteness when making optimal decisions under conditions of risk and uncertainty. A classification of decision-making methods according to the content and type of information is given. The basic principles of the fuzzy set theory are described, which can be used in decision-making when designing railways. The practical task of designing a new railway is considered. Multiple criteria have been formed for choosing the optimal solution. A solution is proposed to the practical problem of multicriteria selection of strategic alternatives for designing railways under conditions of uncertainty, based on the fuzzy set theory. The result obtained demonstrates the possibility of using the fuzzy set theory when making decisions in the practice of railway construction.

**Keywords**

decision making, railway design, optimal solution, multicriteria problems, criterion, alternative, conditions of uncertainty, mathematical methods, theory of fuzzy sets

**For citation**

Kazarina V.V. Matematicheskie metody prinyatiya optimal'nykh reshenii v proektirovanii zheleznnykh dorog [Mathematical methods for making optimal decisions in designing railways]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 163–173. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).163-173.

**Article info**

Received: March 18, 2024; Revised: March 21, 2024; Accepted: March 22, 2024.

**Введение**

Характеризуя состояние развития экономики Российской Федерации на современном этапе, эксперты указывают на «устойчивость и стабильность макроэкономической ситуации». В 2018 г. впервые за последние годы резервы государства полностью покрыли внешний долг. В послании Президента РФ Федеральному Собранию от 20 февраля 2019 г. определены приоритеты, направленные на достижение более высоких темпов роста экономики через решение системных проблем, среди которых на первое место выдвигается опережающий темп роста производительности труда, прежде всего на основе новых технологий и цифровизации [1].

В связи с этим в проектировании и эксплуатации железных дорог значительное внимание уделяется повышению требований к обоснованию принимаемых проектных решений, в том числе при проектировании скоростного рельсового транспорта и выборе технологии содержания железнодорожного пути на горно-перевальных участках железных дорог [2–4].

Модернизация существующих методов принятия решений является одним из путей стратегического повышения темпов роста прибыли и снижения экономических затрат при долгосрочной эксплуатации объектов железнодорожного транспорта. В эпоху интенсивного развития экономики возрастает необходимость поиска новых путей решения проблем и принятия решения по выбору одного из них – наиболее оптимального. Оптимальным будем считать решение, которое позволяет максимально приблизиться к поставленной цели при минимальных затратах на ее достижение. Анализ и методам принятия оптимальных решений в настоящее время уделяется большое внимание.

Проведенный автором анализ научной литературы, посвященной вопросу принятия оптимальных решений в проектировании железных дорог, позволил прийти к выводу, что

до сих пор нет четко сформулированной методики выбора оптимальных решений в какой-либо отрасли экономики. Специалисты каждой организации, действующей в условиях рынка, должны самостоятельно выбирать систему критериев, формировать альтернативы, принимать решение и доказывать его оптимальность.

В теории принятия решений различают три основных типа информационных ситуаций, которые могут возникнуть.

1. Принятие решений в условиях определенности (четкая, детерминированная связь между принятым решением и полученным результатом). В этом случае результирующий критерий и ограничения зависят только от лица, принимающего решение (ЛПР) и фиксированных значений детерминированных факторов ( $\Phi_d$ ).

2. Принятие решений в условиях риска (каждая стратегическая альтернатива может привести к одному из множества возможных исходов, имеющих какую-либо вероятность). Значение результирующего критерия зависит не только от альтернатив ( $E$ ) и детерминированных факторов  $\Phi_d$ , но и от информации о случайных факторах ( $I_c$ ) по известным законам распределения.

3. Принятие решений в условиях неопределенности (результирующий критерий зависит от альтернатив  $E = \{e_i\}$ ,  $i = \overline{1; n}$ -фиксированных параметров  $\Phi_d$ , от случайных факторов  $I_c$ , законы распределения которых неизвестны, либо от неопределенных факторов, для которых известно лишь множество возможных значений). В результате влияния неопределенных факторов каждая альтернатива связана со множеством возможных исходов, вероятности которых неизвестны или известны с недостаточной точностью [5, 6].

Процесс выбора решения во многом уникален. Для его оптимизации используются различные классификации, которые позволяют на основании принадлежности к какому-либо клас-

су сделать обоснованный выбор метода принятия решения. В этом случае возрастает роль ЛПР. Его знания, опыт, квалификация позволяют качественно сформировать систему критериев в любом методе решения проектной задачи.

Принимаемое решение оптимально только в том случае, если учитывает условия, в которых оно будет реализовываться в дальнейшем на практике. Поэтому большое внимание уделяется как анализу информации о предпочтениях на множестве критериев, так и данным о последствиях альтернатив при их реализации. Проведение такого анализа – сложный процесс, в котором подвергаются анализу не только количественные, но и качественные данные. Чаще всего этим данным присуще свойство неопределенности. Фактор неопределенности при строительстве железных дорог проявляется в состоянии окружающей природной и экономической среды, в путях развития объектов транспортной инфра-

структуры, в погодных условиях строительства, в состоянии социальной, политической и экономической обстановки в стране в период строительства и эксплуатации. Для учета этих особенностей необходимо использовать методы, в которых возможно построить математическую модель и учитывать неполноту информации при принятии оптимальных решений в условиях риска и неопределенности.

Целями данной статьи являются разработка классификации методов принятия решений по содержанию и типу экспертной информации, а также применение некоторых методов в практической задаче с автоматизацией расчетов.

### Классификация методов принятия решений

Для выбора методов принятия решения была проведена их классификация по содержанию и типу экспертной информации (табл. 1).

**Таблица 1.** Классификация методов принятия решений по содержанию и типу экспертной информации

**Table 1.**

Группа Group	Содержание информации Information content	Качественная информация Quality Information	Количественная информация Quantity information	Методы принятия решений Decision making methods
I	Экспертная информация о предпочтениях отсутствует No expert information on preferences	Отсутствие информации о предпочтениях No information about preferences	Отсутствие информации о предпочтениях No information about preferences	Метод доминирования; метод на основе глобальных критериев Dominance method; method based on global criteria
II	Информация о предпочтениях на множестве критериев Preference information on multiple criteria	Качественная информация по какому-либо критерию Quality information according to a certain criterion	Количественная оценка предпочтительности критериев. Информация о замещениях критериев Quantification of preference criteria. Information about criteria substitution	Лексикографическое упорядочение; сравнение разностей критериальных оценок; метод припасовывания; метод «эффективность – стоимость»; метод главного критерия; метод справедливого компромисса; методы свертки на иерархии критериев; метод кривых безразличия; методы теории ценности; методы идеальной точки Lexicographic ordering; comparison of differences in criterial assessments; fitting method; method «efficiency – cost»; main criterion method; fair compromise method; method of convolution on a hierarchy of criteria; indifference curve method; methods of value theory; ideal point methods

III	Информация о предпочтительности альтернатив Information on preferable alternatives	Качественная информация по какой-либо альтернативе Quality information according to a certain alternative	Количественная информация о последствиях. Оценка предпочтительности парных сравнений альтернатив Quantitative information about the consequences. Grade preference for paired comparisons of alternatives	Методы математического программирования; линейная и нелинейная свертка при интерактивном способе определения ее параметров Methods of mathematical programming; linear and nonlinear convolution with an interactive way of determining its parameters
IV	Информация о предпочтениях на множестве критериев и о последствиях альтернатив Information about preferences on multiple criteria and the consequences of alternatives	Качественная информация о предпочтениях. Качественная (порядковая) информация о предпочтениях и последствиях Quality information about preferences and consequences. Quality (ordinal) information about preferences and consequences	Количественная информация о предпочтениях и последствиях. Количественная и/или интервальная информация о последствиях Quantitative information about preferences and consequences. Quantitative and/or interval information about the consequences	Методы с дискретизацией неопределенности; декомпозиционные методы теории ожидаемой полезности; метод анализа иерархий; метод минимакса; метод абсолютного решения; метод компромиссного параметра; метод эталонного сравнения; метод главного критерия принятия в условиях риска и неопределенности; методы теории нечетких множеств Methods with discretization of uncertainties; decomposition methods of expected utility theory; hierarchy analysis method; minimax method; absolute solution method; compromise parameter method; reference comparison method; method of the main criterion of acceptance under conditions of risk and uncertainty; methods of fuzzy set theory

Классификация методов позволила выделить четыре основные группы.

Первая объединяет методы принятия решений в условиях определенности, остальные – в условиях риска и неопределенности.

Использование отдельных методов второй группы при решении недетерминированных многокритериальных задач описывалось нами ранее [7, 8].

Третья группа, объединяющая методы, использующие информацию о предпочтительности альтернатив, не рассматривалась, поскольку в проектировании железных дорог недостаточно иметь информацию только о последствиях альтернатив и не опираться на какие-либо критерии.

Из множества известных методов и подходов к принятию решений в проектировании железных дорог наибольший интерес представ-

ляют те, которые не только дают возможность учитывать многокритериальность и неопределенность, а также позволяют осуществлять выбор оптимальных решений из множества альтернатив различного типа при наличии критериев, имеющих разные типы шкал измерения (эти методы относятся к группе IV).

Наиболее универсальными методами являются метод анализа иерархий, методы теории нечетких множеств и декомпозиционные методы теории ожидаемой полезности, так как они учитывают многокритериальный выбор в условиях неопределенности строительства и реконструкции железной дороги. Каждый метод имеет свои ограничения.

Особенности использования одного из методов IV группы рассмотрены в работе [9].

Отметим, что ни один из методов не является идеальным, поскольку в момент приня-

тия решения получить точные данные о влиянии внешних и внутренних факторов невозможно. Любая информация на практике оказывается неточной, а построенные на ее основе модели слишком сложны или недостаточно достоверны. Снижение рисков в этом случае происходит через привлечение экспертов, которые качественные данные переводят в количественные. Становится возможным снизить субъективность и «размытость» экспертной оценки, устранить неточности данных при использовании теории нечетких множеств. Проведенная таким образом модернизация известных методов позволяет количественно описать имеющиеся неопределенности, произвести с ними математические операции, учесть неточности информации в виде нечетких множеств.

### Многокритериальная задача принятия оптимального решения

Многокритериальная задача принятия оптимального решения формулируется следующим образом: необходимо определить такую альтернативу строительства железной дороги, которая бы обеспечила максимум прибыли (чистого дохода) в настоящее время и в будущем. Для решения этой задачи, согласно теории нечетких множеств, на начальном этапе использования любого метода строится функция принадлежности некоторых критериев нечеткому множеству. Далее с использованием операции на нечетких множествах делаются приближенные выводы по принятию оптимального решения. Проводится оценка решения, доказывается его оптимальность [10–12].

В общем виде многокритериальную задачу представляют системой уравнений (1). На основе собранной экспертной информации заданы значения (множества значений) критериев  $F$ . В качестве критериев  $F = \{F_j\}$ ,  $j = \overline{1; n}$  могут

выступать значения детерминированных факторов ( $\Phi_d$ ), информация о ситуации ( $I_c$ ), о возможных вариантах развития событий  $W = \{w_k\}$ ,  $k = \overline{1; p}$  после реализации альтернативы.

Необходимо выбрать оптимальную альтернативу  $E = \{E_i\}$ ,  $i = \overline{1; m}$ , при которой достигается максимальное значение показателя экономической эффективности  $\Pi$  при условии, что затраты на реализацию альтернативы  $Z$  не превышают допустимых проектных значений:

$$\begin{aligned} \Pi(F(\Phi_d, I_c), E(W)) &= \\ &= \max \Pi(F_j(\Phi_d, I_c), E_i, w_k), \\ E_i &\in E, w_k \in W. \\ Z(\Phi_d, I_c, E(W)) &< Z_{\text{доп}}, \\ E &= \{E_i\}, i = \overline{1; m}; F = F\{F_j\}, \\ j &= \overline{1; n}; W = \{W_k\}, k = \overline{1; p}. \end{aligned} \quad (1)$$

Использование теории нечетких множеств предоставляет возможность использовать математический аппарат при работе с критериями, заданными в неформальном виде (текстовыми, качественными) и повышает эффективность процесса выбора.

Решение системы (1) – выбор оптимальной альтернативы среди множества допустимых альтернатив и вариантов развития событий.

Рассмотрим решение многокритериальной задачи выбора оптимального варианта железнодорожной линии при наличии нескольких критериев на основе математических методов теории нечетких множеств [13].

Пусть задано множество возможных вариантов трассы  $E$ :

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_m\}, i = \overline{1; m}.$$

Каждый вариант можно охарактеризовать множеством критериев  $F$ :

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_n\}, j = \overline{1; n}.$$

**Таблица 2.** Общий вид матрицы решений в условиях риска  
**Table 2.** General view of the decision matrix under risk conditions

Альтернативы (варианты решений) $E_i, i = \overline{1, m}$ Alternatives (solution options)	Критерии $F_j, j = \overline{1, n}$ Criteria						
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_j$	...	$F_n$
$E_1$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	...	$e_{1j}$	...	$e_{1n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_i$	$e_{i1}$	$e_{i2}$	$e_{i3}$	...	$e_{ij}$	...	$e_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_m$	$e_{m1}$	$e_{m2}$	$e_{m3}$	...	$e_{mj}$	...	$e_{mn}$

Каждому варианту  $E_i$  ставится в соответствие некоторый результат  $e_{ij}$ , характеризующий все последствия этого решения по заданным критериям (табл. 2) [14].

Между каждым членом множества  $E$  и каждым членом множества  $F$  установим такое нечеткое отношение  $\mu_{ij}$  –  $i$ -вариант трассы по  $j$ -критерию, что  $\mu_{ij} \in [0; 1]$ ,  $i = 1; m, j = 1; n$ .

Таким образом, задачу в теории нечетких множеств характеризует матрица  $R$ , составленная из нечетких отношений  $\mu_{ij}$  размером  $nm$  (табл. 3).

Необходимо выбрать оптимальный вариант  $E^*$  из множества  $E$ .

Задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом:

$$E^* = \text{opt}(E, F, R, M), \quad (2)$$

где  $M$  – метод решения задачи, выбранный ЛПР.

Как следует из (2), при одинаковых исходных данных результат решения задачи может отличаться при использовании различных методов принятия решений. Для повышения качества результатов выбора можно использовать математические методы, в том числе теорию нечетких множеств.

На основании положений теории нечетких множеств, расплывчатое ограничение  $C$  представляется в виде нечеткого множества с функцией принадлежности вида для минимизируемых и максимизируемых критериев соответственно:

$$\mu_{c, \min}(x) = (1 + p^{-k}(x - a)^m)^{-1}, \quad (3)$$

$$\mu_{c, \max}(x) = (1 + p^k(a - x)^m)^{-1}, \quad (4)$$

Таблица 3. Общий вид матрицы решений в теории нечетких множеств

Table 3. General view of the decision matrix in the fuzzy set theory

Альтернативы (варианты решений) $E_i, i = 1, m$ Alternatives (solution options)	Критерии $F_j, j = 1, n$ Criteria						
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_j$	...	$F_n$
$E_1$	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	...	$\mu_{1j}$	...	$\mu_{1n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_i$	$\mu_{i1}$	$\mu_{i2}$	$\mu_{i3}$	...	$\mu_{ij}$	...	$\mu_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$E_m$	$\mu_{m1}$	$\mu_{m2}$	$\mu_{m3}$	...	$\mu_{mj}$	...	$\mu_{mn}$

Таблица 4. Исходные данные для решения задачи поиска оптимального решения

Table 4. Initial data for solving the problem of finding an optimal solution

Альтернатива Alternative	Строительная стоимость, млн руб. Construction cost, mln rubles	Приведенные строительные эксплуатационные затраты, млн руб. Estimated construction and operating costs, mln rubles	Общая протяженность трассы, км General length of the track, km	Средний радиус кривой, м Average curve radius, m	Количество искусственных сооружений (всего), шт. Number of artificial structures (total), pcs.
$E_1$	8 467,6	1 770,28	72,14	1 013	37
$E_2$	7 507,7	1 562,41	69,2	1 010	42
$E_3$	8 092,5	1 709,36	71,15	1 004	39
$E_4$	8 512,3	1 874,68	65,12	1 011	46
Направление оптимизации критерия (0 – минимизируемый, 1 – максимизируемый) Cause of criterion optimization (0 – minimized, 1 – maximized)	0	0	0	1	0

где  $p, k, a$  – положительные числа;  $m$  – четное положительное число, которые выбираются ЛПР так, чтобы передать смысл, в котором следует понимать приближение к ограничению  $C$  [15].

Рассмотрим тестовый пример. Пусть требуется принять оптимальное решение по выбору трассы железной дороги из четырех предложенных альтернатив  $E_1, E_2, E_3, E_4$ . Для этого ЛПР были выбраны четыре минимизируемых критерия (строительная стоимость, строительно-эксплуатационные затраты, общая протяженность трассы, количество искусственных сооружений) и один максимизируемый критерий (средний радиус кривой). Исходная информация представлена в табл. 4.

Назначение коэффициентов  $a, k, m, p$  проводит ЛПР. На основании выводов Р. Беллмана и Л. Заде [15], примем  $p = 5, m = 4$ . Коэффициент  $a$  выбирается таким образом, чтобы его значение отображало цель, к которой необходимо стремиться каждому критерию, т.е. локальный экстремум. Для решения данной тестовой задачи назначим:

$$a_1 = 7\,507,7; a_2 = 1\,562,41; \\ a_3 = 65,12; a_4 = 1\,013; a_5 = 37.$$

Назначение коэффициента  $k$  проводится ЛПР с учетом данных проектной задачи по каждому критерию  $F_j$ . Критерии  $F_3$  и  $F_5$  имеют порядок  $10^2$ , можем принять  $k_3 = k_5 = 2$ . Критерии  $F_1, F_2, F_4$  имеют значения порядка  $10^4$ , но значительно отличаются:  $e_{11} = 8\,467,6, e_{12} = 1\,770,28, e_{14} = 1\,013$ . Поэтому  $k_1 \neq k_2 \neq k_4, k_1 > k_2$ . Кроме того, коэффициенты  $k_j$  назначаются таким образом, чтобы полученные значения составленных функций  $\mu_{F_j}$  находились в интервале  $[0; 1]$ . Вычисления получаются достаточно трудоемкие, нередко ЛПР приходится выполнять две и более попыток. Для снятия этих трудностей данный

процесс был автоматизирован автором. С использованием автоматизированного калькулятора для данной задачи можно назначить  $k_1 = 16, k_2 = 12, k_4 = 5$ .

Функции принадлежности  $\mu_{F_j}$  для каждого критерия  $F_j$  могут иметь такой вид:

$$\mu_{F_1}(x) = (1 + 5^{-16}(x - 7\,507,7)^4)^{-1}, \\ \mu_{F_2}(x) = (1 + 5^{-12}(x - 1\,562,41)^4)^{-1}, \\ \mu_{F_3}(x) = (1 + 5^{-2}(x - 65,12)^4)^{-1}, \\ \mu_{F_4}(x) = (1 + 5^{-5}(x - 1\,013)^4)^{-1}, \\ \mu_{F_5}(x) = (1 + 5^{-2}(x - 37)^4)^{-1}.$$

Итак, цель достигнута: значения всех выбранных критериев принадлежат отрезку  $[0; 1]$  и ЛПР может обращаться с ними как с нормированными величинами (табл. 5).

Это позволит повысить обоснованность принимаемых решений и обеспечить выбор оптимальной альтернативы  $E_i$  из множества допустимых. В зависимости от используемого метода результаты решения поставленной задачи могут быть различными при одних и тех же исходных данных.

Проиллюстрируем модернизацию отдельных методов IV группы с использованием теории нечетких множеств для решения многокритериальных задач в условиях неопределенности [16–19].

### Использование метода минимакса

Определяются конечные оценки качества вариантов [16]:

- вариант  $E_1$ :  $\mu(E_1) = \min \{\mu_{1j}; j = 1, 2, 3, 4, 5\} = \min (0,15; 0,12; 0,01; 1; 1) = 0,01$ ;
- вариант  $E_2$ :  $\mu(E_2) = \min \{\mu_{2j}; j = 1, 2, 3, 4, 5\} = \min (1; 1; 0,08; 0,97; 0,04) = 0,04$ ;
- вариант  $E_3$ :  $\mu(E_3) = \min \{\mu_{3j}; j = 1, 2, 3, 4, 5\} = \min (0,57; 0,34; 0,02; 0,32; 0,61) = 0,02$ ;
- вариант  $E_4$ :  $\mu(E_4) = \min \{\mu_{4j}; j = 1, 2, 3, 4, 5\} = \min (0,13; 0,03; 1; 1; 1) = 0,03$ ;

**Таблица 5.** Значения функции принадлежности по частным критериям для сравниваемых вариантов  
**Table 5.** Belonging function values according to particular criteria for compared options

Альтернатива Alternative	Строительная стоимость, млн руб. Construction price, mln rubles	Приведенные строительно-эксплуатационные затраты, млн руб. Given construction and operational costs, mln rubles	Общая протяженность трассы, км General length of the track, km	Средний радиус кривой, км Average radius of the curve, km	Количество искусственных сооружений (всего), шт. Number of artificial structures (total), pcs.
$E_1$	0,15	0,12	0,01	1	1
$E_2$	1	1	0,08	0,97	0,04
$E_3$	0,57	0,34	0,02	0,32	0,61
$E_4$	0,13	0,03	1	0,99	0,004

$5\} = \min(0,13; 0,03; 1; 0,99; 0,004) = 0,004$ .

Максимальное значение конечной оценки вариантов:

$$\mu^{\max} = \max\{0,01; 0,04; 0,02; 0,004\} = 0,04.$$

При решении задачи была создана программа в MS.xlsx для автоматического подсчета данных и повышения эффективности процесса выбора оптимальной альтернативы. Результаты вычислений с применением этого метода представлены на рис. 1.

Вывод: оптимальным является вариант  $E_2$ .

### Использование метода абсолютного решения

Метод основан на назначении минимальных порогов значений критериев. Роль ЛПР становится чрезвычайно важной, поскольку от его умения зависит успешность использования метода. Заметим, если минимальное значение

будет низким, все варианты «пройдут порог», если слишком высоким – не пройдет ни один. Проанализировав матрицу решений, в данной задаче ЛПР может установить следующие значения минимально допустимых параметров:  $f_{1\min} = f_{5\min} = 0,5$ ;  $f_{2\min} = f_{4\min} = 0,3$ ;  $f_{3\min} = 0,015$ . Согласно правилам выполнения операций в теории нечетких множеств, пересечением нечетких множеств является их минимум, т.е.:

$$f(E_i) = \min F_{ij}, j = 1, \dots, m. \quad (5)$$

Результат при проверке вариантов по формуле (5):

– вариант  $E_1$  (0,15; 0,12; 0,01; 1; 1) не отвечает требованиям по параметрам  $F_1, F_2, F_3$ ;

–  $E_2$  (1; 1; 0,08; 0,97; 0,04) – не отвечает требованию критерия  $F_5$ ;

–  $E_4$  (0,13; 0,03; 1; 0,99; 0,004) –  $F_1, F_2, F_5$ .

Разработанная программа позволяет сра-

Метод минимакса						
Альтернатива	Строительная стоимость, млн. руб.	Приведённые строительно-эксплуатационные затраты, млн. руб.	Общая протяжённость трассы, км	Средний радиус кривой, м	Количество ИССО (всего), шт.	
$E_1$	0,15	0,12	0,01	1,00	1,000	0,01
$E_2$	1	1	0,08	0,97	0,040	0,04
$E_3$	0,57	0,34	0,02	0,32	0,610	0,02
$E_4$	0,13	0,03	1,00	0,99	0,004	0,004
					max=	0,04
					Оптимальный вариант	$E_2$

Рис. 1. Применение теории нечетких множеств при реализации метода минимакса в условиях неопределенности (скриншот экрана)

Fig. 1. Application of fuzzy set theory in the implementation of the minimax method under conditions of uncertainty (screenshot)

Метода абсолютного решения						
Альтернатива	Строительная стоимость, млн. руб.	Приведённые строительно-эксплуатационные затраты, млн. руб.	Общая протяжённость трассы, км	Средний радиус кривой, м	Количество ИССО (всего), шт.	
$E_1$	0,15	0,12	0,01	1,00	1,000	Вариант не удовлетворяет минимально допустимому значению
$E_2$	1	1	0,08	0,97	0,040	Вариант не удовлетворяет минимально допустимому значению
$E_3$	0,57	0,34	0,02	0,32	0,610	$E_3$
$E_4$	0,13	0,03	1,00	0,99	0,004	Вариант не удовлетворяет минимально допустимому значению
минимально допустимые значения параметров	0,5	0,3	0,015	0,3	0,5	
					Оптимальный вариант	$E_3$

Рис. 2. Применение теории нечетких множеств при реализации метода абсолютного решения (скриншот экрана)

Fig. 2. Application of fuzzy set theory in the implementation of the absolute solution method (screenshot)

зу выявлять несоответствия – невыполнение условия автоматически подсвечивает ячейку красным цветом (рис. 2).

$$E_0 = \{E_3\} = (0,57; 0,34; 0,02; 0,32; 0,61).$$

Результат решения: оптимальный вариант  $E_3$ .

Этот метод содержит существенный недостаток: нельзя исключить случай, когда все альтернативы имеют критерии, которые не преодолевают установленных порогов. Тогда этот метод использовать не рекомендуется.

### Решение задачи методом компромиссного параметра

Согласно сути метода, каждому критерию необходимо назначить свой вес, составив вектор  $W = (w_1, \dots, w_j, \dots, w_m)$ . В нашем примере пять критериев, каждый из которых обладает разной значимостью. Проектировщик сначала ранжирует их, например, по убыванию важности:  $F_1, F_2, F_4, F_3, F_5$ . Далее ЛПР субъективно распределяет значения весов  $w_j$  так, чтобы  $\sum_{j=1}^5 w_i = 1$ . В нашем примере вектор  $W$  может иметь, например, следующий вид:  $W = (0,33; 0,27; 0,13; 0,2; 0,07)$ .

Вычисляем значения интегрального параметра путем умножения матрицы решений  $e_{ij}$  на матрицу  $W$ , а именно:

$$P = \begin{pmatrix} 0,15 & 0,12 & 0,01 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0,08 & 0,97 & 0,04 \\ 0,57 & 0,34 & 0,02 & 0,32 & 0,61 \\ 0,13 & 0,03 & 1 & 0,99 & 0,004 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,33 \\ 0,27 \\ 0,13 \\ 0,2 \\ 0,07 \end{pmatrix},$$

или

$$P = \{0,3532; 0,8072; 0,3892; 0,3793\}.$$

$$p_{\max} = p_2 = 0,8072.$$

Следовательно, на основании метода компромиссного параметра, вариант  $E_2$  является оптимальным решением задачи.

### Решение задачи методом эталонного сравнения

При использовании этого метода необходимо каждому критерию назначить свой вес. Рассуждения проводятся как в методе компромиссного параметра, значения весов критериев оставим те же:  $W = (0,33; 0,27; 0,13; 0,2; 0,07)$ .

Далее необходимо выставить минимально допустимые значения для каждого критерия  $F_j$ , как это выполнялось в методе абсолютного решения. По вычислениям, приведенным ранее, один из вариантов ( $E_1$ ) не прошел установленные пороги, ЛПР необходимо внести коррективы в значения минимально допустимых параметров так, чтобы они служили нижней границей для обоих вариантов  $E_i$ :

$$f_{1\min} = f_{2\min} = 0,1; f_{3\min} = 0,01; f_{4\min} = 0,3; f_{5\min} = 0,03.$$

Значение интегрального параметра определяется по формуле:

$$p = \sum (e_{ij} - f_{j\min}) \cdot w_j. \quad (6)$$

Тогда интегральный параметр принимает следующие значения:

$$\begin{aligned} p_1 &= (0,15 - 0,1) \cdot 0,33 + (0,12 - 0,1) \cdot 0,27 + \\ &+ (0,01 - 0,01) \cdot 0,13 + (1 - 0,3) \cdot 0,2 + \\ &+ (1 - 0,003) \cdot 0,07 = 0,2317; \\ p_2 &= (1 - 0,1) \cdot 0,33 + (1 - 0,1) \cdot 0,27 + \\ &+ (0,08 - 0,01) \cdot 0,13 + (0,97 - 0,3) \cdot 0,2 + \end{aligned}$$

Метод эталонного сравнения						
Альтернатива	Строительная стоимость, млн. руб.	Приведённые строительно-эксплуатационные затраты, млн. руб.	Общая протяжённость трассы, км	Средний радиус кривой, м	Количество ИССО (всего), шт.	Интегральный параметр
$E_1$	0,15	0,12	0,01	1,00	1,000	0,2317
$E_2$	1	1	0,08	0,97	0,040	0,6857
$E_3$	0,57	0,34	0,02	0,32	0,610	0,2677
$E_4$	0,13	0,03	1,00	0,99	0,004	0,2578
минимально допустимые значения параметров	0,1	0,1	0,01	0,3	0,003	
Вес критериев	0,33	0,27	0,13	0,2	0,07	Проверка суммы весов:
						0,6857
					Оптимальный вариант	$E_2$

Рис. 3. Реализация метода эталонного сравнения, основанного на теории нечетких множеств (скриншот экрана)

Fig. 3. Implementation of a reference comparison method based on fuzzy set theory (screenshot)

$$\begin{aligned}
 & + (0,04 - 0,003) \cdot 0,07 = 0,6857; \\
 p_3 & = (0,57 - 0,1) \cdot 0,33 + (0,34 - 0,1) \cdot 0,27 + \\
 & + (0,02 - 0,01) \cdot 0,13 + (0,32 - 0,3) \cdot 0,2 + \\
 & + (0,61 - 0,003) \cdot 0,07 = 0,2677; \\
 p_4 & = (0,13 - 0,1) \cdot 0,33 + (0,03 - 0,1) \cdot 0,27 + \\
 & + (1 - 0,01) \cdot 0,13 + (0,99 - 0,3) \cdot 0,2 + \\
 & + (0,004 - 0,003) \cdot 0,07 = 0,2578; \\
 p_{\max} & = p_2 = 0,6857.
 \end{aligned}$$

Результаты вычислений с помощью разработанной программы представлены на рис. 3.

Результат решения задачи: оптимальный вариант  $E_2 = (1; 1; 0,08; 0,97; 0,04)$ .

### Заключение

При решении серии проектных задач различными методами с использованием теории нечетких множеств получены неодинаковые

оптимальные решения. Не принижая роль ЛПР в принятии решений, отметим, что большое влияние на достоверность результатов оказывает возможность количественного учета значений таких критериев, как объем и качество информации о возможных состояниях внешней среды и вероятностях их наступления (законах распределения). Использование математического аппарата теории нечетких множеств позволяет улучшить результат решения задачи, в том числе посредством более точного выбора вида функции принадлежности.

Таким образом, использование математических методов повышает эффективность решения проблемы выбора в проектировании железных дорог.

### Список литературы

1. Послание Президента Российской Федерации от 20.02.2019 б/н (О положении в стране и основных направлениях внутренней и внешней политики государства) // Президент России : сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44032/page/1> (дата обращения 18.02.2024).
2. Кашкин Н.В., Быков Ю.А. Риск и неопределенность на современном этапе развития железнодорожного транспорта // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск, 2009. С. 232–234.
3. Подвербный В.А., Казарина В.В., Подвербная О.В. Проектирование скоростного пассажирского рельсового транспорта Иркутской агломерации // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2016. № 4. С. 308–326.
4. Титов К.М. Принятие решения при проектировании легкого рельсового транспорта в условиях городской застройки // Вестник транспорта Поволжья. 2012. № 1 (31). С. 60–68.
5. Сосунова Л.А., Тойменцева И.А. Экономико-математические методы выбора оптимальной стратегии управления предприятиями сферы услуг // Экономические науки. 2011. № 4 (77). С. 259–264.
6. Подвербный В.А., Попов О.Ю. Анализ исходных данных и методы принятия проектных решений в нечеткой среде // Проблемы развития сети железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск, 2006. С. 54–59.
7. Казарина В.В., Подвербный В.А. Принятие решений по выбору варианта направления проектируемой железной дороги на основе метода равномерной оптимизации // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2018. Т. 1. С. 599–606.
8. Гавриленков А.В., Жабров С.С., Подвербный В.А. Выбор варианта трассы высокоскоростной специализированной пассажирской магистрали с использованием теории полезности (на примере ВСМ С.-Петербург – Москва) // Вестн. Всерос. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 1995. № 4. С. 12–18.
9. Силь В., Колос А.Ф., Петряев А.В. Изучение параметров деформации оттаивающих грунтов на основе дисперсионного анализа и метода анализа иерархий // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2023. Т. 20. № 4. С. 868–877.
10. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М. : Радио и связь, 1982. 432 с.
11. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 167 с.
12. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М. : Радио и связь, 1981. 560 с.
13. Мещерякова М.В. Проблема принятия решения и выбор вариантов в нечеткой среде при проектировании новых железных дорог // Успехи современного естествознания. 2005. № 7. С. 84.
14. Подвербный В.А. Выбор варианта железной дороги на основе критерия нечеткой полезности // Транспортное строительство. 2000. № 7. С. 10–13.
15. Беллман Р.Е., Заде Л.А. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений : сб. переводов. М. : Мир, 1976. С. 172–215.
16. Подвербный В.А., Холодов П.Н., Титов К.М. Методы принятия проектных решений в строительстве. Иркутск : ИрГУПС, 2010. 72 с.
17. Анисимов В.А. Математическая постановка и основы метода решения задачи развития линейной транспортной системы // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск, 2009. С. 4–11.
18. Царев В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций. СПб. : Питер, 2004. 464 с.
19. Гудков П.А. Методы сравнительного анализа. Пенза : ПГУ, 2008. 81 с.

## References

1. Poslanie Prezidenta RF Federal'nomu sobraniyu RF ot 20.02.2019 [Message of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of the Russian Federation dated February 20, 2019].
2. Kashkin N.V., Bykov Yu.A. Risk i neopredelennost' na sovremennom etape razvitiya zheleznodorozhnogo transporta [Risk and uncertainty at the present stage of railway transport development]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov «Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva zheleznykh dorog v usloviyakh Dal'nego Vostoka»* [Interuniversity proceedings «Features of Railway Design and Construction in the conditions of the Far East»]. Khabarovsk, 2009, pp. 232–234.
3. Podverbnyi V.A., Kazarina V.V., Podverbnyaya O.V. Proektirovanie skorostnogo passazhirskogo rel'sovogo transporta Irkutskoi aglomeratsii [Design of high-speed passenger rail transport in the Irkutsk agglomeration]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog* [Designing the development of the regional railway network], 2016, no. 4, pp. 308–326.
4. Titov K.M. Prinyatie resheniya pri proektirovanii legkogo rel'sovogo transporta v usloviyakh gorodskoi zastroiki [Decision-making in the design of light rail transport in urban conditions]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of Transport of the Volga region], 2012, no. 1, pp. 60–68.
5. Sosunova L.A., Toimentseva I.A. Ekonomiko-matematicheskie metody vybora optimal'noi strategii upravleniya predpriyatiyami sfery uslug [Economic and mathematical methods for choosing the optimal management strategy for service enterprises]. *Ekonomicheskie nauki* [Economic Sciences], 2011, no. 4 (77), pp. 259–264.
6. Podverbnyi V.A., Popov O.Yu. Analiz iskhodnykh dannykh i metody prinyatiya proektnykh reshenii v nechetkoi srede [Analysis of source data and methods of making design decisions in a fuzzy environment]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov «Problemy razvitiya seti zheleznykh dorog»* [Interuniversity proceedings «Problems of railway network development»]. Khabarovsk, 2006, pp. 54–59.
7. Kazarina V.V., Podverbnyi V.A. Prinyatie reshenii po vyboru varianta napravleniya proektiruemoi zheleznoi dorogi na osnove metoda ravnomernoi optimizatsii [Decision-making on the choice of the direction option of the projected railway based on the uniform optimization method]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Transport Infrastructure of the Siberian Region»]. Irkutsk, 2018, vol. 1, pp. 599–606.
8. Gavrilentsov A.V., Zhabrov S.S., Podverbnyi V.A. Vybor varianta trassy vysokoskorostnoi spetsializirovannoi passazhirskoi magistrali s ispol'zovaniem teorii poleznosti (na primere VSM S.-Peterburg – Moskva) [Choosing a route option for a high-speed specialized passenger highway using utility theory (using the example of the Saint-Petersburg – Moscow High-Speed Railway)]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1995, no. 4, pp. 12–18.
9. Sin' V., Kolos A.F., Petryaev A.V. Izuchenie parametrov deformatsii ottaivayushchikh gruntov na osnove dispersionnogo analiza i metoda analiza ierarkhii [Research of deformation parameters of thawing soils based on dispersion analysis and hierarchy analysis method]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2023, vol. 20, no. 4, pp. 869–877.
10. Kaufmann A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction a la theorie des sous-ensembles flous]. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1982. 432 p.
11. Zadeh L.A. Ponyatie lingvisticheskoi peremennoi i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenii [The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning]. Moscow: Mir Publ., 1976. 167 p.
12. Keeney R.L., Raiffa H. Prinyatie reshenii pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya [Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs]. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1981. 560 p.
13. Meshcheryakova M.V. Problema prinyatiya reshenii i vybor variantov v nechetkoi srede pri proektirovanii novykh zheleznykh dorog [The problem of decision-making and the choice of options in a fuzzy environment when designing new railways]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2005, no. 7, pp. 84.
14. Podverbnyi V.A. Vybor varianta zheleznoi dorogi na osnove kriteriya nechetkoi poleznosti [Choosing a railway option based on the criterion of fuzzy utility]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction], 2000, no. 7, pp. 10–13.
15. Bellman R.E., Zadeh L.A. Prinyatie reshenii v rasplyvchatykh usloviyakh [Decision-Making in Fuzzy Environment]. *Sbornik perevodov «Voprosy analiza i protsedury prinyatiya reshenii»* [Digest of translations «Issues of analysis and decision-making procedures»]. Moscow: Mir Publ., 1976, pp. 172–215.
16. Podverbnyi V.A., Kholodov P.N., Titov K.M. Metody prinyatiya proektnykh reshenii v stroitel'stve [Methods of Making Design Decisions in Construction]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2010. 72 p.
17. Anisimov V.A. Matematicheskaya postanovka i osnovy metoda resheniya zadachi razvitiya lineinoi transportnoi sistemy [Mathematical formulation and fundamentals of the method for solving the problem of linear transport system development]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov «Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva zheleznykh dorog v usloviyakh Dal'nego Vostoka»* [Interuniversity proceedings «Features of Railway Design and Construction in the conditions of the Far East»]. Khabarovsk, 2009, pp. 4–11.
18. Tsarev V.V. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti investitsii [Assessment of the economic efficiency of investments]. Saint-Petersburg: Piter Publ., 2004. 464 p.
19. Gudkov P.A. Metody sravnitel'nogo analiza [Methods of comparative analysis]. Penza: PGU Publ., 2008. 81 p.

## Информация об авторах

**Казарина Валентина Вениаминовна**, методист ООО Учебного центра «Салютем», г. Иркутск; e-mail: vvkaz92@mail.ru.

## Information about the authors

**Valentina V. Kazarina**, methodologist of LLC Educational Center «Salyutem», Irkutsk; e-mail: vvkaz92@mail.ru.

**Современные технологии**  
**Системный анализ**  
**Моделирование**

**№ 1 (81)**  
**2 0 2 4**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Главный редактор **А.П. Хоменко**  
Ответственный за выпуск **Д.В. Буторин**

Подписано в печать 28.03.2024. Формат 60x84/8.

Дата выхода в свет 29.03.2024

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,11.

Уч.-изд. л. 14,32. Тираж 500 экз. Заказ № 3714

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 64556

ISSN: 1813-9108

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН.

Сведения о журнале ежегодно

публикуются в международной справочной системе

по периодическим и продолжающимся изданиям

«Ulrich's Periodicals Directory»

ИД №06506 от 26.12.01

Маркировка информационной продукции - не маркируется

Цена свободная

Адрес редакции, издательства и типографии

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Иркутский государственный университет путей сообщения

Телефон: 8(3952) 63-83-74, E-mail: stsam@irgups.ru

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

Свидетельство ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Учредитель: ФГБОУ ВО "Иркутский государственный университет путей сообщения"  
(664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)