

## НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ, том 18, выпуск 1, 2021

ISSN (Print) 1815-588X

ISSN (Online) 2658-6851

### Учредитель

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей  
связи Императора Александра I»

### Издатель

Общество с ограниченной ответственностью  
«Издательский дом Т-ПРЕССА» по договору  
№ ЭОА45208 от 11.02.2020 г.

### Адрес учредителя

190031, СПб., Московский пр., 9,  
тел. (812) 314-92-32

### Адрес издателя

190031, СПб., наб. реки Фонтанки, 117-А,  
пом. 1Н, офис 350, тел. 8(921)431-47-13,  
e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

### Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС2-7499 от 06.04.2005 г., выдано  
Федеральной службой по надзору за соблюдением  
законодательства в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия, Управление  
по Северо-Западному федеральному округу

### Журнал зарегистрирован

в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

**Журнал включен** в перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов и изданий  
(решение Президиума Высшей аттестационной  
комиссии Минобрнауки России от 29.12.2015 г.,  
№ 6/6)

**Журнал публикует** научные статьи в областях  
технические науки (05.00.00), транспорт (05.22.00)

**Журнал имеет** институт рецензирования

### Журнал распространяется

по адресно-целевой подписке через редакцию  
и каталог ОАО «Роспечать» (индекс 18509)

## РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

### Главный редактор

А. Ю. Панычев, канд. экон. наук, доцент

### Заместитель главного редактора

А. К. Канаев, д-р техн. наук, профессор

### Научный редактор

А. М. Евстафьев, д-р техн. наук, профессор

### Выпускающий редактор

Э. А. Горелик

### Перевод на английский язык

А. Н. Крышня, У. Л. Романова

### Верстка

А. А. Стуканова

### Редактор

Ю. В. Маркова

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Панычев Александр Юрьевич**, канд. экон. наук,  
доцент, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, председатель  
Совета

**Шнайдер Экхард**, профессор, Фраунгоферовский  
институт неразрушающего контроля, Саарбрюкен,  
Германия

**Ситаж Марек**, профессор, Силезский технический  
университет, Польша

**Христов Христо**, профессор, Технический университет,  
София, Болгария

## РЕДКОЛЛЕГИЯ

**Сапожников Валерий Владимирович**, д-р техн. наук, профессор,  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, председатель редколлегии  
**Бадёр Михаил Петрович**, д-р техн. наук, профессор, МГУПС  
(МИИТ), Москва, Россия

**Белаш Татьяна Александровна**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Беленцов Юрий Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Блажко Людмила Сергеевна**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Бороненко Юрий Павлович**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Брынь Михаил Ярославович**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Губачева Лариса Александровна**, д-р техн. наук, профессор,  
Восточно-Украинский национальный университет им. В. Даля,  
Луганск, Украина

**Егоров Владимир Викторович**, д-р техн. наук, доцент, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Канаев Андрей Константинович**, д-р техн. наук, профессор,  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

**Ледяев Александр Петрович**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Петрова Татьяна Михайловна**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Покровская Оксана Дмитриевна**, д-р техн. наук, доцент, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Смирнов Владимир Николаевич**, д-р техн. наук, профессор,  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

**Соловьева Валентина Яковлевна**, д-р техн. наук, профессор,  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

**Талантова Клара Васильевна**, д-р техн. наук, доцент, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Титова Тамара Семеновна**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Фролов Юрий Степанович**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Шангина Нина Николаевна**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

**Штыков Валерий Иванович**, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС,  
Санкт-Петербург, Россия

Фото на обложке из архивов библиотеки  
ФГБОУ ВО ПГУПС. 1910 г.

**Подписано в печать** с оригинал-макета 30.03.2021.  
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать МФУ.  
Усл. печ. л. 19. Уч.-изд. л. 9,5. Установочный тираж 300 экз.

Заказ . Цена свободная.

**Отпечатано в типографии** ООО «Издательство ОМ-Пресс»  
190031, СПб., наб. р. Фонтанки, 117

## SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT UNIVERSITY, volume 18, issue 1, 2021

ISSN (Print) 1815-588X

ISSN (Online) 2658-6851

### Founder

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Emperor Alexander I Petersburg State Transport University"

### Publisher

Limited Liability Company "T-PRESSA Publishing House", under contract N ЭОА45208 dated February 11, 2020

### Founder's address

190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9, (812) 314-92-32

### Publisher's address

190031, St. Petersburg, room 1H, office 350, 117-A, Fontanka River emb., 8(921)431-47-13, e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

### Mass media registration certificate number

ПН N ФС2-7499 dd. 06.04.2005 issued by the Federal service for the monitoring of legislation compliance in the sphere of mass communications and the preservation of cultural heritage, North West Federal district division

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

**The journal is included** in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications

**The journal publishes** scientific articles in the fields of Technics (05.00.00), Transport (05.22.00)

**The journal has** the Peer-review division

**The journal is distributed** by direct subscription via Editorial office and Rospechat catalogue (item 18509)

## JOURNAL STAFF

### Editor-in-chief

A. Yu. Panychev, PhD of Economics, Associate Professor

### Deputy chief editor

A. Kanayev, D. Eng. Sci., Professor

### Science editor

A. Evstafev, D. Eng. Sci., Professor

### Executive editor

E. Gorelik

### English translation

A. Kryshnia, U. Romanova

### Layout

A. Stukanova

### Editor

Yu. Markova

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

**Aleksander Panychev**, PhD in Economics, Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial board

**Ekhhard Shneider**, Professor, Fraunhofer Institute for Non-Destructive Testing, Saarbrücken, Germany

**Marek Sitazh**, Professor, Silesian University of Technology, Poland

**Khristo Khristov**, Professor, Technical University of Sofia, Bulgaria

## EDITORIAL TEAM

**Valeriy Sapozhnikov**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial team

**Mikhail Badyer**, D. Eng. Sci., Professor, Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, Russia

**Tatiana Belash**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Yury Belentsov**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Liudmila Blazhko**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Yuriy Boronenko**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Mikhail Bryn'**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Larisa Gubachyeva**, D. Eng. Sci., Professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Luhansk, Ukraine

**Vladimir Egorov**, D. Eng. Sci., Associate Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Andrey Kanayev**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Aleksander Ledyayev**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Tatiana Petrova**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Oksana Pokrovskaya**, D. Eng. Sci., Associate Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Vladimir Smirnov**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Valentina Solovyova**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Klara Talantova**, D. Eng. Sci., Associate Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Tamila Titova**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Yury Frolov**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Nina Shangina**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Valeriy Shtikov**, D. Eng. Sci., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Published by** Limited Liability Company "OM-Press Publishing House" 190031, St. Petersburg, Fontanka River emb., 117  
Open price

© Petersburg State Transport University, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### → ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

- А.А. Воробьев, А.М. Будюкин, В.Г. Кондратенко**  
Анализ современных технических решений, применяемых в конструкциях низкопольных трамвайных вагонов 7
- В. В. Костенко, Д. Е. Богданович**  
О внесении изменений в расчетные формулы требуемого числа приемоотправочных путей в парках технических станций 16
- М. Ю. Обухов, Н. П. Калинин**  
Снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы за счет использования гибридного моторвагонного подвижного состава 25
- О. Д. Покровская**  
Особенности продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского узла 34
- А. В. Саидова, В. И. Федорова, Ю. Б. Житков, И. В. Федоров, А. Н. Гришаев**  
Оценка износа колес грузовых вагонов при существующих нормативах выпуска трехэлементных тележек с осевой нагрузкой 23,5 тс из ремонта 52

### → СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

- О.И. Зайнитдинов**  
Конструирование съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей 62
- Е. Я. Полякова, Б. О. Поляков, С. И. Дубинский**  
К вопросу об обледенении железнодорожного подвижного состава в условиях эксплуатации северного широтного хода 72
- Д. И. Прохор, Н. В. Грачев**  
Оценка ресурса и характеристик изоляции тяговых двигателей локомотивов методом ускоренного теплового старения 80

---

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ю. П. Бороненко, О. Д. Покровская, Т. С. Титова, Л. В. Цыганская,<br/>Д. Г. Бейн, С. В. Кондратенко</b>      |     |
| Анализ технических решений вагона-паллетовоза   | 95  |
| <b>А. А. Воробьев, И. В. Федоров, Э. Ю. Чистяков, Т. Р. Абдуганиев, А. Е. Глухов</b>                            |     |
| Расчет назначенного срока службы цельнокатаных колес железнодорожного подвижного состава по критерию надежности | 121 |
| <b>Е. К. Коровяковский, М. Б. Сабуров, Ш. Х. Султонов</b>   |     |
| Оценка факторов, влияющих на экспортный потенциал Республики Узбекистан   | 132 |
| <b>Тан Чжуншэн</b>  |     |
| Проблемы безопасности, существующие в строительной отрасли Китая  | 143 |

## CONTENTS

### → PROBLEMATIC OF TRANSPORT SYSTEM

- A. A. Vorobyev, A. M. Budyukin, V. G. Kondratenko**  
Analysis of current technical solutions applied in the design of low-floor tram cars 7
- V. V. Kostenko, D. E. Bogdanovich**  
On amendments to the calculation formulas for the required number of receiving and departure tracks in the technical station yards 16
- M. Yu. Obukhov, N. P. Kalinin**  
Reducing the cost of fuel and energy resources through the use of hybrid multi-unit rolling stock 25
- O. D. Pokrovskaya**  
Special features of block trains and container trains promotion in the terminal network of the Saint Petersburg hub 34
- A. V. Saidova, V. I. Fedorova, Yu. B. Zhitkov, I. V. Fedorov, A. N. Grishaev**  
Assessment of the wear of wheels of freight cars under the existing standards for releasing three-piece bogies with an axle load of 23,5 tf from repair 52

### → HIGH TECHNOLOGIES FOR TRANSPORT

- O. I. Zaynitdinov**  
Designing a detachable body with sliding side walls and a roof 62
- E. Ya. Polyakova, B. O. Polyakov, S. I. Dubinskiy**  
On icing of railway rolling stock under operating conditions of Northern Latitudinal Railway 72
- D. I. Prokhor, N. V. Grachev**  
Evaluation of the resource and characteristics of the insulation of traction motors of locomotives by means of accelerated heat aging method 80

---

**→ GENERAL TECHNICAL PROBLEMS AND SOLUTION APPROACH**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Yu. P. Boronenko, O. D. Pokrovskaya, T. S. Titova, L. V. Tsyganskaya, D.G. Beyn, S.V. Kondratenko</b>                 |     |
| Analysis of technical solutions for a pallet car   | 95  |
| <b>A. A. Vorob'yev, I. V. Fedorov, E. Yu. Chistyakov, T. R. Abduganiyev, A. E. Glukhov</b>                               |     |
| Calculation of the design life of solid-rolled wheels of railway rolling stock according to the criterion of reliability | 121 |
| <b>E. K. Korovjakovskij, M. B. Saburov, Sh. Kh. Sultonov</b>   |     |
| Assessment of factors affecting the export potential of the Republic of Uzbekistan                                       | 132 |
| <b>Tang Zhongsheng</b>   |     |
| Safety concerns in China's construction industry   | 143 |



УДК 629.433.2

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНСТРУКЦИЯХ НИЗКОПОЛЬНЫХ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ

**А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г. Анализ современных технических решений, применяемых в конструкциях низкопольных трамвайных вагонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 7–15. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-7-15

### Аннотация

**Цель:** Показать перспективность применения общественного городского транспорта и в первую очередь легкорельсового подвижного состава большой вместимости для городских перевозок, а в ближайшей перспективе и возможность полного отказа от передвижения по городу на индивидуальном автомобиле. В результате это позволит разгрузить российские мегаполисы от автомобильных пробок. **Методы:** Проводились анализ и обобщение опыта работы ведущих трамвайных предприятий Европы (в Вене, Праге, Риге и др.), анализ наиболее прогрессивных конструкций эксплуатируемого подвижного состава и их ходовых частей, сравнение зарубежного и отечественного опыта работы эксплуатационных хозяйств. **Результаты:** Опыт работы многих европейских предприятий доказал целесообразность использования вагонов с поворотными ходовыми тележками, которые благоприятно воздействуют на путь и дают возможность проходить кривые малых радиусов. Применение вагонов из многозвенных конструкций позволило создать полностью низкий пол в салоне. Целесообразно в ходовой части низкопольного вагона располагать редуктор и электропривод с наружной стороны или применять безредукторный привод с помощью низкооборотных электродвигателей. **Практическая значимость:** Внедрение низкопольных вагонов в городах повышает доступность этого вида транспорта для пассажиров, в первую очередь для пассажиров с ограниченными возможностями, существенно сокращая время их посадки (высадки). Показано преимущество вагонов с поворотными тележками. Усложнение конструкции ходовой части дает возможность конструкторам создавать предельно низкий пол в салоне, но это в результате ведет к увеличению стоимости подвижного состава, росту расходов на ремонт, повышает требования к содержанию инфраструктуры и требует высококвалифицированного технического персонала. Рекомендовано приобретать низкопольный подвижной состав отечественных производителей, как наиболее приспособленный к условиям работы в российских городах.

**Ключевые слова:** Низкопольный вагон, многозвенный (сочлененный) вагон, ходовые части вагона, порталная ходовая часть, независимые колеса, безредукторный привод.

В России 3 сентября отмечается день российского трамвая. В этом году исполняется 140 лет, как в петербургских газетах было напечатано следующее сообщение: «1880 года 22 августа в 12 часов дня в С.-Петербурге, на Песках, на углу Болотной улицы и Дегтярного переулка, г. Пирозким первый раз в России двинут вагон электрической силою, идущей по рельсам, по которым катятся колеса вагона... Опыты продолжаютя до 4 сентября».

Таким образом, обычный темно-синий вагон конки с империадом № 114 стал первым электрическим трамваем. Внешне он не отличался от других, но снизу под кузовом был установлен электродвигатель и смонтирована зубчатая передача, которая приводила вагон в движение. Контроллерное управление позволяло регулировать скорость вагона и направление его движения. Электроэнергия подавалась по тем же рельсам, по которым катились колеса вагона, от небольшого генератора, установленного в Рождественском коночном парке. Регулярная работа электрического трамвая в Санкт-Петербурге началась только с 29 сентября 1907 г. [1–5].

Конструкция трамвайных вагонов на протяжении всего этого времени претерпела существенные изменения, от одиночных двухосных до многозвенных поездов с низким уровнем пола. В настоящее время к трамвайным вагонам предъявляются различные требования, к наиболее важным следует отнести: бесшумный ход, высокие динамические свойства, возможность вписываться в кривые малых радиусов, наличие достаточного количества дверей, низкий пол в салоне и др. Обязательным требованием является применение в конструкции вагона либо полностью, или частично низкого пола. Новые вагоны с высоким уровнем пола сейчас повсеместно не производятся, хотя еще эксплуатируются в ряде стран Европы, США и России [6]. Нередко высокопольные вагоны подвергаются модернизации: в них добавляют низкопольные вставки, либо делают низкопольными средние или задние площадки.

Качественный рывок в данном отношении автобусный транспорт сделал после разработ-

ки порталных мостов. Для трамваев такая конструкция не годилась, поскольку их ходовая часть принципиально отличается от автобусной. Каждая тележка классического четырехосного вагона является одновременно моторной и поворотной, и разделить их функции, как было сделано с автобусными мостами, на 15-метровом трамвае технически невозможно. В низкопольном вагоне были неизбежны высокие подиумы над тележками, которые занимали большую часть внутривагонного пространства, на которых располагали сиденья. По этим причинам в салоне получался очень узкий проход для пассажиров, и лишь примерно треть пола в центральной части салона могла иметь низкий уровень. Применение многозвенных вагонов и различных технических решений в конструкциях ходовой части позволяет сделать пол трамвайного вагона ровным и избавиться от подиумов и, таким образом, создать широкие проходы в вагоне.

Возможность создания низкопольного подвижного состава в первую очередь связана с конструкцией его ходовой части. Рассмотрим наиболее современные технические решения, примененные конструкторами при создании ходовых частей рельсового подвижного состава.

Вагон ULF (Ultra Low Floor) – сочлененный многосекционный низкопольный трамвай производства компании Siemens AG. Это один из первых трамваев с низким уровнем пола по всей длине, разработка которого была начата еще в начале 1990-х годов (рис. 1). Отдельные части и элементы вагона (преобразователь ETRIS S1000 и микропроцессорная система управления преобразователями ELTAS) поставлялись компанией Elin EBG Traction GmbH, которая является с 2006 г. дочерней компанией Siemens AG. Дизайн вагона разработан компанией Porsche Design Group. Существуют две модификации: ULF 197-4 и ULF 197-6.

Первый рабочий прототип был выпущен в 1995 г., а серийное производство началось только в 1997 г. Это самый низкопольный трамвай в мире (высота пола составляет всего 200–210 мм над головкой рельса), что делает вход в вагон для пассажиров, особенно в инвалидных колясках,



Рис. 1. Общий вид многозвенового низкопольного вагона ULF

простым, так как он находится практически на уровне тротуара. Кроме того, пол выполнен на всем протяжении салона ровный, облегчая компоновку салона, в отличие от большинства других низкопольных трамваев, в салоне которых имеются выступающие козухи тележек.

Главная особенность данного трамвая – применение одноосных тележек портального типа с независимо вращающимися колесами, расположенными между секциями трамвая. Каждое колесо этого трамвая имеет индивидуальную подвеску, тяговый двигатель и редуктор. По паре колес размещается в передней и задней секциях, остальные – в узлах сочленения. Двигатель располагается вертикально над колесом с наружной стороны тележки, приводя его в движение через конический редуктор. Все электрооборудование расположено на крыше. Так как колеса в трамвае установлены по одному, а не парами, как в тележечных, поворот передних и задних осей при проезде кривых осуществляется с помощью специальной электронной системы (рис. 2).

Эти вагоны в основном поставлялись в Вену (Австрия). Кроме «детских болезней», характерных для первых серий таких трамваев и устраненных в дальнейшем, в них так и остались шумные двигатели и скрипучие узлы сочленения. Данные вагоны очень сложны в техническом обслуживании, из-за чего до четверти всего парка регулярно простаивало в ожидании ремонта. К тому же они оказались довольно дорогими

и трудоемкими и в эксплуатации, поэтому широкого распространения не получили. В настоящее время в Вене решили все же переходить на вагоны более традиционной конструкции.

Другой более рациональный подход к решению рассматриваемой проблемы нашли чешские конструкторы при разработке вагонов серии Škoda 15T. Вагоны серии Škoda 15T (также Škoda ForCity Alfa) – семейство чешских полностью низкопольных пассажирских сочлененных трамваев с транзисторно-импульсной системой управления. Они производятся с 2008 г. на заводе Škoda Transportation в г. Пльзень [7, 8].

Вагон состоит из трех или четырех секций (рис. 3). В узлах сочленения установлены низкопольные тележки Jacobs. Крайние тележки – полноповоротные, размещены максимально близко к оконечностям кузова, что позволило сделать трамвай низкопольным на 100%: пространство над передней тележкой занимает кабина водителя, а над задней – задний ряд сидений. Разные модификации этих вагонов работают в Праге и Риге.

Трамвай может изготавливаться как для одностороннего, так и для челночного движения. Вагон имеет привод от 60% колес до всех колес для сетей в холмистых городах. Поскольку у тележек Jacobs шарнирное сочленение и они не влияют на внутреннее пространство секций кузова, существует неограниченный выбор внутренней планировки и расположения дверей.



Рис. 2. Ходовая часть и тяговый двигатель вагона ULF

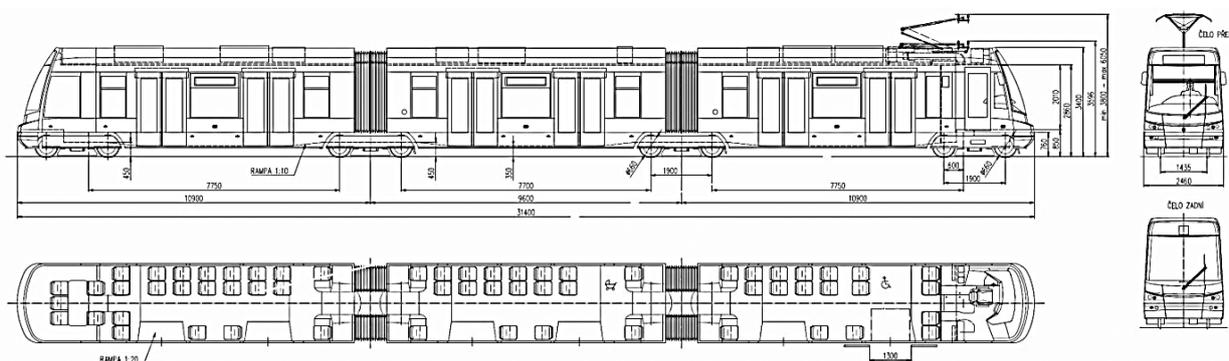


Рис. 3. Габаритные размеры и планировка Škoda 15T ForCity

Базовая длина вагона может быть изменена. Также возможно соединить два или более транспортных средства. Технические характеристики вагона приведены в таблице.

Неповоротные тележки, которые внедрены в большинстве трамваев со 100%-ным низким полом, увеличивают износ колеи и уменьшают скорость, с которой трамвай может проехать поворот (обычно 4–15 км/ч) на кривой радиуса 20 м. В вагоне Škoda 15T эти недостатки устранены,

на нем применены только поворотные тележки, как по концам вагона (рис. 4), так и под сочленениями (системы Jacobs).

Высота большей части пола трамвая составляет 350 мм над рельсами, но по концам вагона она равна 450 мм. Переход в уровне пола выполнен наклонным, без внутренних ступеней. Ширина прохода в салоне над центральными тележками – 700 мм. Некоторое время вагон Škoda 15T, в производстве, был единственным

## Технические характеристики вагона Škoda 15T ForCity

| Наименование параметра  | Для Праги            | Для Риги  |
|---|----------------------|---|
| Годы постройки  | с 2009 г.            | с 2010 г.   |
| Масса, т  | 42                   | –   |
| Полная вместимость (8 чел./м <sup>2</sup> )/мест для сидения: |                      |   |
| – трехзвенный   | 300/61               | 318/60  |
| – четырехзвенный  | –                    | 418/79  |
| Электрические двигатели: количество × мощность, кВт           | 16×45<br>(3-звенный) | 12×46,6<br>(3-звенный),<br>16 × 46<br>(4-звенный) |
| Максимальная скорость, км/ч                                   | 60                   | 70  |
| Колея, мм   | 1435                 | 1524  |
| Длина вагона, мм:   |                      |   |
| 3-звенный   | 31 400               | 31600   |
| 4-звенный   | –                    | 41 200  |
| Высота пола над головкой рельса, мм                           | 350/450              |   |
| Высота вагона, мм   | 3600                 |   |
| Ширина вагона, мм   | 2460                 | 2500  |
| Осевая нагрузка, т  | 5,2                  |   |
| Диаметр колеса по кругу катания, новый, мм                    | 660                  |   |



Рис. 4. Вид тележки – слева и справа колес (тяговые индивидуальные электродвигатели)

полностью низкопольным трамваем, с полностью поворачивающимися тележками.

Все тележки могут приводиться в движение, но некоторые могут быть и немоторными, в зависимости от требования заказчика. Тележки имеют четыре колеса, привод колес отдельный, без редуктора и двухступенчатую подвеску. Установлены колеса с резиновыми пружинами, со встроенными тормозными дисками и осевыми подшипниками. На подшипниках оси смонтирован комбинированный, динамически устойчивый, основной каркас тележки с металлическими пружинами на резиновой связке. С внешней стороны колес крепятся к каркасу тележки четыре тяговых двигателя (в крайних тележках) и один или два (во внутренних тележках), подпружиненных поворотным валиком (рис. 5). Электродвигатели приводят в движение колеса трамвая напрямую через механически отключаемую кулачковую муфту. Индивидуальный привод колес значительно уменьшает износ рельсов и уровень шума в кривых участках пути благодаря различной скорости вращения колес.

Вторичная пружина качающихся валиков обеспечивается стальными спиральными пружинами с параллельными гидравлическими вращающимися демпферами. Поворотные валики имеют шарнирные подшипники, которые обеспечивают полное вращение тележки под кузовом без каких-либо ограничений.



Рис. 5. Асинхронный тяговый двигатель с водяным охлаждением индивидуального привода колеса

Конструкция привода достаточно простая, но в ней электродвигатель создает достаточно большую неподдресоренную массу, которая плохо действует как на него, так и может вызывать разрушение пути. Здесь применены асинхронные тяговые двигатели с низкой частотой вращения в номинальном режиме [9].

Фрикционный дисковый тормоз управляется гидравлически с помощью электрического компрессорного устройства. Каждая тележка также оборудована парой магниторельсовых тормозов напряжением 24 В постоянного тока. Фрикционный дисковый тормоз также обеспечивает функцию стояночного тормоза Škoda 15T. Конструкция тележки выполнена так, что точка закрепления крайних тележек к корпусу (шкворень) не совпадает с их геометрическим центром, а смещена на 250 мм в продольном направлении. Такую тележку невозможно кантовать. Износ реборды у первой пары колес все равно будет больше, чем у второй.

Вагон Škoda 15T имеет высокую стоимость и довольно сложен в техническом обслуживании и ремонте. Поэтому эта модель, которая выпускается до сих пор, пока не нашла широкого распространения.

Таким образом, можно сделать вывод, что низкопольные вагоны удобны, поскольку отсутствие ступенек на входе в салон позволяет уменьшить время посадки и высадки пассажиров (и соответственно выпуск на линию), а также не создает проблем для пожилых людей. Обе рассмотренные конструкции ходовой части современных вагонов с независимыми колесами, как одноосная порталного типа, так и с индивидуальным безредукторным приводом, весьма сложные, требуют квалифицированного обслуживания и отличного состояния путевого хозяйства [10]. Несмотря на высокий технический уровень данных вагонов, они не пригодны для эксплуатации в условиях трамвайных предприятий России. В нашей стране также разработаны и изготавливаются как низкопольные, так и с переменным уровнем пола вагоны различной конфигурации [10, 11], конструкция которых уже адаптирована к российским условиям,

поэтому при выборе подвижного состава следует отдавать предпочтение продукции отечественных производителей: ПК «Транспортные системы», Усть-Катавский вагоностроительный завод и «Уралтрансмаш».

### Библиографический список

1. Киселев И. П. История скоростных сухопутных нетрадиционных видов пассажирского транспорта / И. П. Киселев // История науки и техники. – 2006. – № 8. – С. 2–12.
2. Киселев И. П. Развитие классификаций транспортных систем в СССР и России. Специфика колесного (направляемого) транспорта / И. П. Киселев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2010. – Вып. 4 (25). – С. 168–178.
3. Фортунатов В. В. История мировых цивилизаций / В. В. Фортунатов. – СПб. : Питер, 2012. – 560 с.
4. Голубев А. А. История транспорта : учеб. пособие / А. А. Голубев, И. П. Киселев, В. И. Голубев, В. В. Фортунатов, В. В. Яробков ; под ред. В. В. Фортунатова. – СПб. : ПГУПС, 2013. – 134 с.
5. Годес Я. Г. Этот новый старый трамвай / Я. Г. Годес. – Л. : Лениздат, 1982. – 166 с.
6. Современные трамвай : сочлененные, низкопольные, вместительные // Грузовик-Пресс. – 2013. – № 9. – С. 64–66.
7. АО «Шкода Транспортейшн». Буклет «Трамвай Škoda». – 2020. – 21 с.

8. Городской транспорт. – URL : [trasnfoto.ru](http://trasnfoto.ru) (дата обращения : 24.05.2020 г.).

9. Никитин В. В. Безредукторный тяговый электропривод городского рельсового транспорта / В. В. Никитин, А. Я. Пармас, В. М. Пивоваров, Р. Р. Сатаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2013. – Вып. 1. – С. 31–38.

10. Быльцева В. Д. Совершенствование конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Д. Быльцева, А. М. Будюкин, Е. В. Пакулина // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте железнодорожного подвижного состава : сб. трудов нац. науч.-технич. конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – СПб. : ПГУПС, 2020. – С. 44–50.

11. Кондратенко В. Г. Эволюция конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Г. Кондратенко, А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, Д. Д. угли Каримов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 1. – С. 62–67.

Дата поступления: 10.09.2020

Решение о публикации: 13.01.2021

### Контактная информация:

ВОРОБЬЕВ Александр Алфеевич – д-р техн. наук, доц.; [79219751198@yandex.ru](mailto:79219751198@yandex.ru)

БУДЮКИН Алексей Митрофанович – канд. техн. наук, доц.; [ktexmet@yandex.ru](mailto:ktexmet@yandex.ru)

КОНДРАТЕНКО Владимир Григорьевич – канд. техн. наук, доц.; [ktexmet@yandex.ru](mailto:ktexmet@yandex.ru)

## Analysis of current technical solutions applied in the design of low-floor tram cars

**A. A. Vorobyev, A. M. Budyukin, V. G. Kondratenko**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Vorobyev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. Analysis of current technical solutions applied in the design of low-floor tram cars. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 7–15. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-7-15

## Summary

**Objective:** To show the prospects of using public urban transport and, first of all, high-capacity light rail rolling stock for urban transportation, and in the immediate future, the possibility of completely abandoning private vehicles for movement around the city. As a result, this will help lessen the traffic jam load in Russian megacities. **Methods:** The authors have analyzed and applied best practice of the leading tram companies in Europe (Vienna, Prague, Riga, etc.), analyzed the most progressive designs of the rolling stock and their undercarriage, and compared foreign and domestic experience of service facilities operation. **Results:** The experience of many European companies has proved the feasibility of using cars with swivel bogies, which have a beneficial effect on the track and make it possible to pass curves of small radii. The use of wagons made of multi-link structures allowed designing a completely low-floor cabin. It is advisable to place a gearbox and an electric drive on the outside of the low-floor car undercarriage, or to use a gearless drive and low-speed electric motors. **Practical importance:** The introduction of low-floor cars in cities improves the accessibility of this type of transport for passengers, primarily for passengers with disabilities, and significantly reduces the time of their boarding (disembarking). The advantage of cars with swivel bogies is shown. The increased complexity of the undercarriage design allows designers to create an extremely low floor cabin, but this consequently leads to an increase in the cost of rolling stock, an increase in repair costs, stricter requirements for the support services and a demand for highly qualified technical personnel. It is recommended to purchase domestic low-floor rolling stock as the most adapted to operation in Russian cities.

**Keywords:** Low-floor car, multi-link (articulated) car, undercarriage, portal undercarriage, independent wheels, gearless drive.

## References

1. Kiselyov I. P. Istoriya skorostnykh sukhoputnykh netraditsionnykh vidov passazhirskogo transporta [History of high-speed land non-traditional types of passenger transport]. *Istoriya nauki i tekhniki [History of Science and Technology]*, 2006, no. 8, pp. 2–12. (In Russian)
2. Kiselyov I. P. Razvitiye klassifikatsiy transportnykh sistem v SSSR i Rossii. Spetsifika koleynogo (napravlyayemogo) transporta [Development of transport system classifications in the USSR and Russia. Specificity of track (guided) transport]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia [Proceedings of Petersburg Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2010, iss. 4 (25), pp. 168–178. (In Russian)
3. Fortunatov V. V. *Istoriya mirovykh tsivilizatsiy [History of world civilizations]*. Saint Petersburg, Piter Publ., 2012, 560 p. (In Russian)
4. Golubev A. A., Kiselyov I. P., Golubev V. I., Fortunatov V. V. & Yarobkov V. V. *Istoriya transporta. Ucheb. posobiye [History of transport. Training manual]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2013, 134 p. (In Russian)
5. Godes Ya. G. *Etot novyy staryy tramvay [This new old tram]*. Leningrad, Lenizdat Publ., 1982, 166 p. (In Russian)
6. Sovremennyye tramvay: sochlenennyye, nizkopol'nyye, vmestitel'nyye [Modern trams: articulated, low-floor, spacious]. *Gruzovik-Press*, 2013, no. 9, pp. 64–66. (In Russian)
7. AO “Shkoda Transporteishen”. Buklet “Tramvai Skoda” [*Škoda Transportation a. s. Škoda Trams booklet*], 2020, 21 p. (In Russian)
8. *Gorodskoy transport [Urban transport]*. Available at: [trasnfoto.ru](http://trasnfoto.ru) (accessed: May 24, 2020). (In Russian)
9. Nikitin V. V., Parmas A. Ya., Pivovarov V. M. & Sattarov R. R. Bezreduktornyy tyagovyy elektroprivod gorodskogo rel'sovogo transporta [Gearless electric traction drive for urban rail transport]. *Proceedings of Petersburg Transport University*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2013, iss. 1, pp. 31–38. (In Russian)
10. Byl'tseva V. D., Budyukin A. M. & Pakulina E. V. Sovershenstvovaniye konstruksii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge [Improving the design of light rail rolling stock in Saint Petersburg]. *Progressivnyye tekhnologii, primenyayemye pri*

*remonte zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava*. Sb. trudov natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [*Advanced technologies used in the repair of railway rolling stock*. Proceedings of the National Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students, and Young Scientists]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2020, pp. 44–50. (In Russian)

11. Kondratenko V. G., Vorobyev A. A., Budyukin A. M. & Karimov ugli D. D. Evolyutsiya konstruktsii podvizhnogo sostava legkorel'sovogo transporta v Sankt-Peterburge [Evolution of the design of light rail rolling stock in Saint Petersburg]. *Proceedings of Peters-*

*burg Transport University*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2020, vol. 17, iss. 1, pp. 62–67. (In Russian)

Received: September 10, 2020

Accepted: January 13, 2021

**Author's information:**

Aleksandr A. VOROBYEV – D. Sci. in Engineering, Associate Professor;  
79219751198@yandex.ru

Aleksey M. BUDYUKIN – PhD in Engineering, Associate Professor; ktexmet@yandex.ru

Vladimir G. KONDRATENKO – PhD in Engineering, Associate Professor; ktexmet@yandex.ru

УДК 656.212

## О внесении изменений в расчетные формулы потребного числа приемоотправочных путей в парках технических станций

**В. В. Костенко, Д. Е. Богданович**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Костенко В. В., Богданович Д. Е. О внесении изменений в расчетные формулы потребного числа приемоотправочных путей в парках технических станций // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 16–24.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-16-24

### Аннотация

**Цель:** Рассмотреть вопрос о целесообразности внесения изменений в методику аналитического расчета потребного числа приемоотправочных путей в парках технических станций. Показать необходимость введения новых поправочных коэффициентов для оценки времени нахождения транзитного грузового поезда на станции, учитывающих влияние внешних факторов, которые зачастую являются случайными событиями, на продолжительность занятия приемоотправочного пути; определить возможность использования поправочных коэффициентов для предварительной оценки потребного числа приемоотправочных путей; обосновать необходимость проведения имитационного моделирования работы станции для более точной оценки потребного числа приемоотправочных путей в зависимости от времени нахождения транзитного грузового поезда на станции с учетом влияния внешних факторов. **Методы:** Применяются сравнительный анализ существующих методик определения потребного числа приемоотправочных путей, оценка аналитических зависимостей и обоснование необходимости внесения новых поправочных коэффициентов на основе проведенного анализа отчетных показателей работы технических станций. **Результаты:** Указана необходимость совершенствования существующей методики аналитического расчета потребного числа приемоотправочных путей. Определены группы факторов, влияющие на время нахождения транзитного грузового поезда на станции, в том числе на потребное число путей. Предложены новые поправочные коэффициенты для оценки времени нахождения транзитного грузового поезда на станции. Выявлена необходимость в проведении дополнительного изучения данной темы. **Практическая значимость:** Показана необходимость уточнения существующей методики аналитического расчета потребного числа приемоотправочных путей введением поправочных коэффициентов, что позволит повысить точность определения потребного числа приемоотправочных путей технической станции.

**Ключевые слова:** Железнодорожная станция, путевое развитие, приемоотправочные пути, коэффициент использования мощности путей, имитационное моделирование.

### Введение

Определение числа приемоотправочных путей в парках технических станций актуально как при проектировании, так и в процессе эксплуатации. Оптимизация числа приемоотправочных путей, емкости парков для реализации потреб-

ной пропускной способности станции, обеспечения ритмичности и бесперебойности приема–отправления транзитных грузовых поездов является сложной многовариантной задачей.

Существующие методики определения необходимого числа приемоотправочных путей [1] не в полной мере учитывают влияние внешних

факторов на продолжительность занятия инфраструктуры при обработке транзитных поездов [2]. Увеличение времени занятия приемоотправочного пути транзитным грузовым поездом [3] (сверх нормативного значения, обусловленного технологией работы станции) оказывает негативное влияние как на работу станции [4], так и часто полигона [5]: задержки поездов на подходах к станции по неприему, сбои в графике движения поездов при отправлении, необходимость применения дополнительных регулировочных мероприятий персоналом диспетчерских центров управления движением (ДЦУП) по продвижению поездопотоков [6]. Недостаточность путевого развития станций [7] или емкости станционных путей [8, 9] приводит к ограничениям размеров движения [10, 11]. При дефиците путей возникают технологические сбои в перевозочном процессе, что ведет к увеличению времени простоя поездов и вагонов, а следовательно, к большим эксплуатационным расходам. При профиците числа путей возрастают как капитальные затраты при строительстве (для вновь строящихся станций), так и эксплуатационные затраты на их содержание и ремонт.

### Оценка числа приемоотправочных путей железнодорожных станций

В настоящее время основным методом оценки числа приемоотправочных путей в парках станций является аналитический. Необходимое число путей в приемоотправочных парках технических станций  $m$  возможно определить через коэффициент использования мощности путей с учетом общего времени занятия путей  $T$  рассчитываемого парка, которое зависит от числа поездов, поступающих в приемоотправочный парк, и времени занятия пути  $t_{\text{зан}}$  одним поездом, поправочных коэффициентов  $\beta$  и  $\alpha$ , а также времени занятия путей  $\Sigma T_{\text{пост}}^{\text{пп}}$  по соотношению, согласно п. 2.3.2.2 Инструкции [12]:

$$K = \frac{T}{\beta\alpha \cdot 1440m - \Sigma T_{\text{пост}}^{\text{пп}}}.$$

Наиболее значимым параметром в данном соотношении является значение  $T$ .

Время занятия пути  $t_{\text{зан}}$  одним поездом рассчитывается по формулам (2.2.7)–(2.2.10) [12] и определяется продолжительностью выполнения операций, предусмотренных технологическим процессом, т. е. время занятия пути  $t_{\text{зан}}$  принимается согласно соответствующему технологическому графику обработки поезда.

В действительности время занятия приемоотправочных путей зависит не только от продолжительности выполнения технического обслуживания и коммерческого осмотра, а также от множества случайных факторов и процессов [13], происходящих не только в границах станции [14], но и зачастую в пределах участка, а порой и полигона [15].

### Анализ времени нахождения транзитных грузовых поездов на станциях

Для оценки общего времени занятия приемоотправочных путей рассмотрена работа станций М, Т, Н и Б Западно-Сибирской железной дороги, на которых выполняется обработка транзитных поездов со сменой локомотива (локомотивной бригады), при этом специфика работы станций отличается:

- М – внеклассная грузовая станция, являющаяся станцией стыкования электротяги постоянного и переменного тока, а также междорожным стыком;
- Т – узловая участковая станция первого класса, которая является предбарьерной перед стыковой станцией М1;
- Н – двухсторонняя грузовая узловая внеклассная станция с горкой средней мощности;
- Б – участковая станция первого класса.

Несмотря на то, что станции М и Н грузовые, они имеют локомотивные эксплуатационные депо и служат конечными пунктами тяговых плеч.

Время обработки поезда согласно технологическому графику и среднегодовое время фактической обработки поезда на данных станциях за 2018 г. иллюстрирует рис. 1.

Распределение времени нахождения транзитного поезда без переработки на станции по элементам представлено на рис. 2.

По станции М фактическое время обработки транзитного поезда без переработки больше в 3,2 раза, чем по технологическому графику. При этом время ожидания локомотива и отправления суммарно составляет 82 % от общего. Это обусловлено следующими основными причинами:

- недосодержание эксплуатируемого парка локомотивов постоянного и переменного тока оборотного депо;
- неприем поездов соседней железной дорогой;
- регулировка движения поездов дежурно-диспетчерским аппаратом ДЦУП двух стыковых дорог.

По станции Т фактическое время нахождения на станции транзитного поезда без переработки больше в 3 раза, чем по технологическому

графику. При этом время ожидания локомотива и отправления суммарно составляет 84 % от общего. Это связано с такими основными причинами:

- несвоевременным подходом поездов, отсутствием локомотивных бригад;
- неприемом соседней железной дорогой.

По станции Н фактическое время нахождения на станции транзитного поезда без переработки превышает время по технологическому графику на 4 %. В данном случае можно сказать, что обработка транзитного поезда без переработки соответствует технологическому графику.

По станции Б фактическое время нахождения на станции транзитного поезда без переработки больше в 1,33 раза, чем по технологическому графику. При этом ожидание обработки, локомотива и отправления суммарно составляет 44 % от общего времени. Это вызвано следующими основными причинами:

- простой в ожидании начала опробования автотормозов, по причине дополнительно затраченного времени на осмотр вагонов, имеющих в пути следования тревожные показания прибора

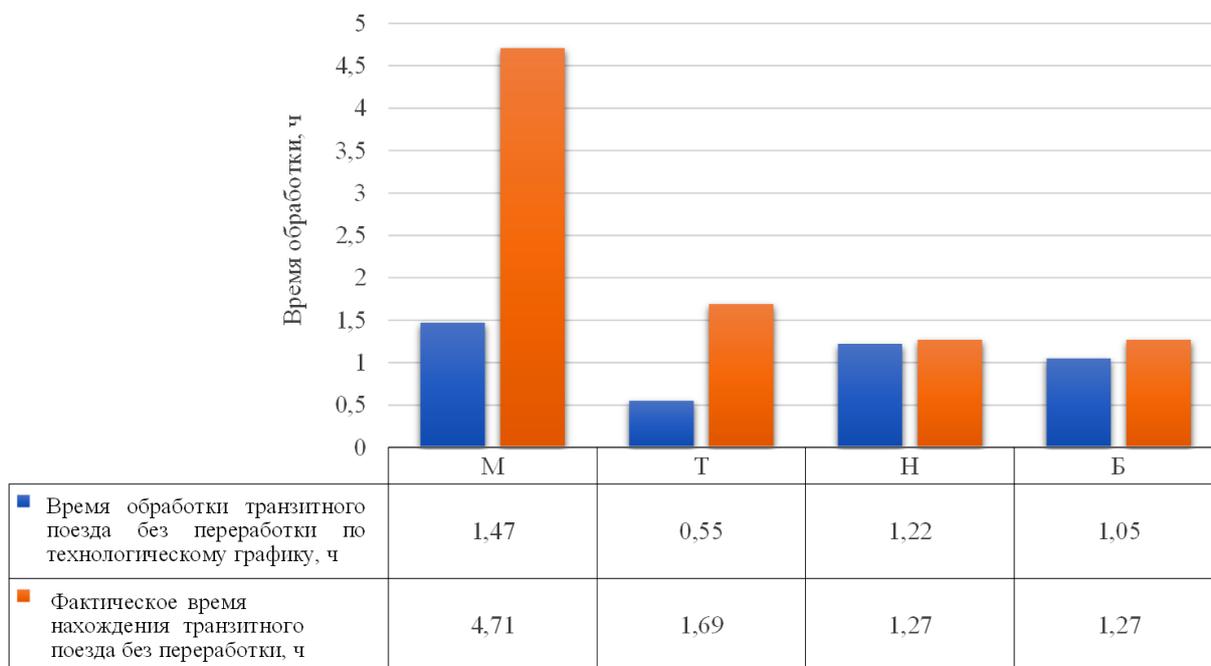


Рис. 1. Время обработки поезда согласно технологическому графику и время фактической обработки поезда

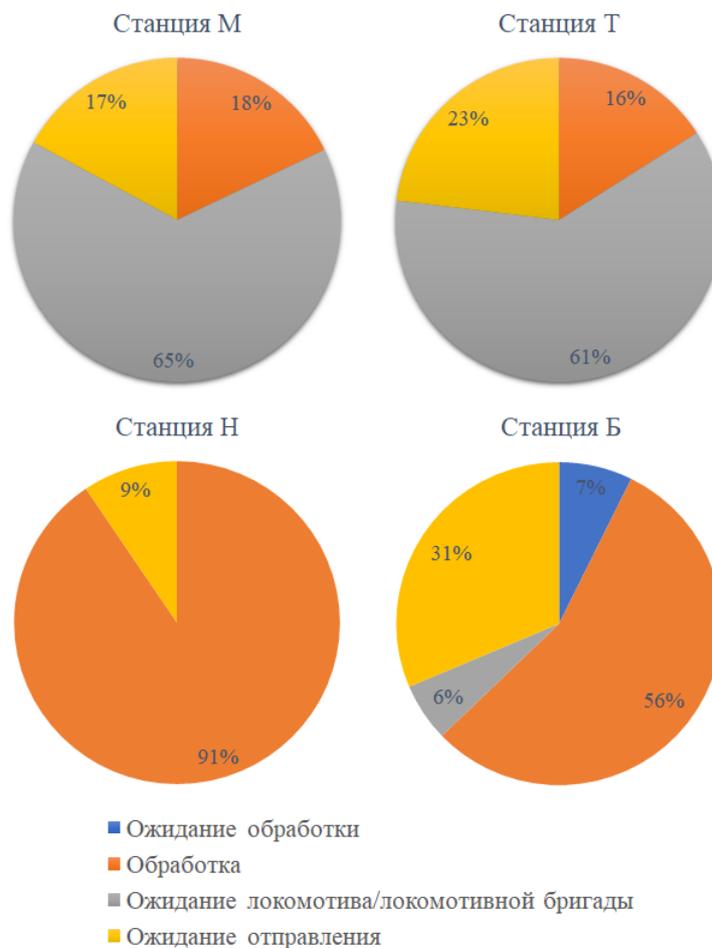


Рис. 2. Распределение времени нахождения транзитного поезда на станции по элементам

Комплекса технических средств мониторинга (КТСМ) нагрева букс вагонов);

- отцепка неисправных вагонов;
- пропуск пассажирских и преимущественных поездов.

Результаты анализа работы станций с транзитными грузовыми поездами без переработки показывают, что фактическое время нахождения поезда на станции зависит от множества дополнительных факторов, таких как характер работы станции (например, станция стыкования постоянного и переменного тока), ее расположение (в частности, междорожный стык или предбарьерная станция), несогласованность отдельных технологических цепочек (планирование локомотивных бригад, подвод поездных локомотивов, работа пунктов технического обслуживания и ремонта вагонов и т. п.). Следо-

вательно, это приводит к различным сбоям в работе станции, увеличению простоев, росту эксплуатационных расходов.

Для оценки времени нахождения транзитного грузового поезда на станции введем обозначения:  $\gamma$  – отношение времени ожидания обработки к времени обработки по технологическому графику;  $\lambda$  – отношение времени ожидания локомотива/локомотивной бригады к времени обработки по технологическому графику;  $\mu$  – отношение времени ожидания отправления к времени обработки по технологическому графику;  $K$  – отношение общего времени нахождения поезда на станции к времени обработки по технологическому графику.

Рассмотрим величины введенных поправочных коэффициентов с обратно пропорциональными значениями коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , при-

Расчетные коэффициенты для станций М, Т, Н, Б

| Станция | $1/\alpha$ | $1/\beta$ | $\gamma$ | $\lambda$ | $\mu$ | $K$  |
|---------|------------|-----------|----------|-----------|-------|------|
| М       | 1,05       | 1         | 0,00     | 2,20      | 0,58  | 3,78 |
| Т       | 1,33       | 1         | 0,00     | 1,87      | 0,71  | 3,58 |
| Н       | 1,12       | 1         | 0,00     | 0,00      | 0,10  | 1,10 |
| Б       | 1,35       | 1         | 0,10     | 0,08      | 0,41  | 1,58 |



Рис. 3. Группы факторов, влияющих на время нахождения транзитного грузового поезда на станции

веденными в формуле на с. 17, для станций М, Т, Н, Б.

Результаты представлены в таблице. Анализируя их, можно сказать, что указанная формула позволяет в достаточной мере рассчитать необходимое число путей только в случае станций Н и Б. При этом коэффициент  $\mu$  приблизительно равен коэффициенту  $\alpha$ , который учитывает влияние движения преимущественных и сборных поездов.

Для станции Б коэффициент  $\gamma$  является случайной величиной, поскольку неисправность вагонов случайное событие, но при этом оно описывается законом распределения Пуассона [16].

Для станций Т и М величина  $\lambda$  есть коэффициент, показывающий отклонения в работе локомотивного депо (недостаток локомотивов, отсутствие локомотивных бригад), величина  $\mu$  – коэффициент, определяющий не только влияние движения преимущественных и сборных поездов, но также учитывающий диспетчерское регулирование. Можно сказать, что данные величины являются зависимыми переменными между двумя системами, например приемоотправочный парк–локомотивное депо, приемоотправоч-

ный парк–диспетчерский аппарат, и могут быть комплексно оценены [17, 18].

В результате можно выделить факторы, влияющие на время нахождения транзитного грузового поезда на станции (рис. 3).

Согласно проведенному анализу, большинство факторов относятся к случайным событиям, которые описываются математическими функциями распределения. Так, отцепка неисправных вагонов – это случайный фактор, описываемый законом распределения Пуассона [16]. К факторам, являющимся событиями, зависящими от другой системы, можно отнести: система «локомотивное депо» – ожидание локомотива или бригады, система «диспетчерский аппарат ДЦУП» – пропуск пассажирских и преимущественных поездов, ожидание нитки графика, регулировка движением поездов, системы «соседняя станция» или «дорога» – предбарьерная станция, станция стыкования различных систем тока.

### Заключение

Существующая методика оценки потребного числа приемоотправочных путей позволяет

достоверно определить их достаточность преимущественно в тех случаях, когда отсутствует влияние внешних факторов других систем (локомотивное депо, диспетчерский аппарат и др.).

Существуют различные факторы, такие как отцеп неисправных вагонов или простой в ожидании начала опробования автотормозов, которые выявляются случайными событиями, описываемыми законом распределения Пуассона. Следовательно, при сборе достаточного объема статистических данных может быть введен коэффициент, учитывающий эти случайные величины.

Взаимодействие двух различных систем, каждая из которых подвержена воздействию случайных событий, приводит к невозможности определения воздействия одной системы на другую. В данном случае имеются два варианта решения данной проблемы:

- обширный сбор статистики, ее анализ, поиск математических зависимостей, который позволит предложить корректирующие коэффициенты, но только лишь для предварительной оценки;
- обязательное проведение имитационного моделирования особо сложных в работе станций (станции стыкования, предбарьерные, узловые и т. д.). При этом имитационное моделирование необходимо проводить не только для самой станции, но и для влияющей системы (локомотивное депо, соседняя станция и т. д.). Только в данном случае можно будет получить реальные и точные результаты оценки работы станции, выявить узкие места с целью определения потребного числа приемоотправочных путей.

## Библиографический список

1. Архангельский Е. В. Определение мощности путевого развития и времени нахождения вагонов на станциях : учеб. пособие / Е. В. Архангельский, А. Н. Алаев, М. М. Сухопяткин. – М. : Изд-во РГОТУПС, 1999. – 68 с.
2. Апатцев В. И. Железнодорожные станции и узлы : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. И. Апатцев, Ю. И. Ефименко, Н. В. Правдин и др. ; под ред. В. И. Апатцева, Ю. И. Ефименко. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – 855 с.
3. Козлов П. А. Определение параметров парков и горловин станции с учетом их взаимодействия / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин // Транспорт Урала. – 2017. – № 1 (52). – С. 3–17.
4. Ефименко Ю. И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов : монография / Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбин, Л. А. Олейникова и др. ; под общ. ред. Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбина. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 243 с.
5. Шепель А. С. Разработка программного комплекса по расчету эксплуатационных параметров станционных горловин / А. С. Шепель, П. А. Голубев, В. В. Костенко // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы IV междунар. науч.-практич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2014. – С. 532–542.
6. Иванкова Л. Н. Определение пропускной способности станций с учетом емкости путевого развития / Л. Н. Иванкова, А. В. Буракова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 59. – № 3. – С. 92–98.
7. Косенко С. А. Проектирование путевого развития станций и выбор конструкций верхнего строения пути для тяжеловесного движения поездов / С. А. Косенко, С. В. Богданович, С. С. Акимов // Вестн. Сибирск. гос. ун-та путей сообщения. – 2018. – № 4 (47). – С. 21–29.
8. Akimov S. Stability of the supporting subgrade on the tracks with heavy train movement. *Advances in intelligent systems and computing* / S. Akimov, S. Kosenko, S. Bogdanovich // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. – Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1116 / eds by Z. Popovic, A. Manakov, V. Breskich. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1116. – P. 228–236.
9. Kosenko S. A. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic / S. A. Kosenko, S. S. Akimov // MATEC Web of Conferences. – 2018. – N 239. – P. 1–12.
10. Богданович С. В. Рационализация распределения вагонопотоков по грузовым станциям как инструмент сокращения простоя местных вагонов / С. В. Богданович, Р. А. Овчинников // Молодежная наука : тру-

ды XXIV Всерос. студенч. науч.-практич. конференции. – Красноярск : КрИИЖТ, 2020. – С. 146–148.

11. Богданович С. В. Рационализация местной работы станции / С. В. Богданович // Политранспортные системы : материалы X Междунар. науч.-технич. конференции. – Новосибирск : Сиб. гос. ун-т путей сообщения, 2019. – С. 147–149.

12. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 128 16 ноября 2010 г. – М. : ОАО РЖД, 2010. – 305 с.

13. Бородин А. Ф. Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 8–17.

14. Бородин А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 3. – С. 8–19.

15. Козлов П. А. Взаимодействие структуры с частично управляемым потоком / П. А. Козлов, Н. А. Тушин // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 4. – С. 31–35.

16. Гарбарук В. В. Оценка рисков отцепки вагонов в пути следования / В. В. Гарбарук, А. Е. Красковский, В. Н. Фоменко // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2015. – № 1. – С. 11–17.

17. Pokrovskaya O. D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions / O. D. Pokrovskaya // Sustainable economic development of regions: monograph. Vol. 3 / ed. by L. Shlossman. – Vienna : East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2014. – P. 154–175.

18. Покровская О. Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем железнодорожного транспорта : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.08 / О. Д. Покровская. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 377 с.

Дата поступления: 26.06.2020

Решение о публикации: 27.01.2021

#### Контактная информация:

КОСТЕНКО Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доц.; docentkostenko@yandex.ru  
БОГДАНОВИЧ Данила Евгеньевич – аспирант; bogdan\_danila@inbox.ru

## On amendments to the calculation formulas for the required number of receiving and departure tracks in the technical station yards

V. V. Kostenko, D. E. Bogdanovich

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Kostenko V V., Bogdanovich D. E. On amendments to the calculation formulas for the required number of receiving and departure tracks in the technical station yards. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 16–24. (In Russian)

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-16-24

### Summary

**Objective:** To discuss the feasibility of modifying the analytical calculation technique for the required number of receiving and departure tracks in the technical station yards. To show the need to introduce new adjustment factors to assess the time spent by a transit freight train at the station, considering the influence of external factors – often random events – on the duration of the receiving and departure track occupation; to determine the possibility of adjustment factors application for a preliminary assessment of the required

number of receiving and departure tracks; to substantiate the need for simulation of the station operation for a more accurate assessment of the required number of receiving and departure tracks depending on the time spent by a transit freight train at the station, considering the influence of external factors. **Methods:** Comparative analysis of the existing techniques for determining the required number of receiving and departure tracks, assessment of analytical dependencies, and substantiation of the need to introduce new adjustment factors based on the analysis of the technical stations' reported performance indicators are applied. **Results:** The need to improve the existing analytical calculation technique for the required number of receiving and departure tracks has been indicated. The groups of factors influencing the time spent by a transit freight train at the station, including the required number of tracks, have been determined. New adjustment factors to assess the time spent by a transit freight train at the station have been proposed. The need for additional study of this issue has been revealed. **Practical importance:** The authors have shown that it is necessary to clarify the existing analytical calculation technique for the required number of receiving and departure tracks by introducing the adjustment factors, which will improve the accuracy of determining the required number of receiving and departure tracks at a technical station.

**Keywords:** Railway station, arrangement of tracks, receiving and departure tracks, track capacity factor, simulation.

## References

1. Arkhangel'skiy E. V., Alayev A. N. & Sukhopyatkin M. M. *Opredeleniye moshchnosti putevogo razvitiya i vremeni nakhozheniya vagonov na stantsiyakh*. Ucheb. posobiye [*Determination of the track arrangement capacity and the time spent by cars at stations*. Training manual]. Moscow, Publishing House of the Russian State Open Technical University of Railways, 1999, 68 p. (In Russian)
2. Apattsev V. I., Efimenko Yu. I., Pravdin N. V. et al. *Zheleznodorozhnyye stantsii i uzly*. Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [*Railway stations and junctions*. Textbook for railway transport universities]. Moscow, Training and Methodology Centre for Railway Transport Publ., 2014, 855 p. (In Russian)
3. Kozlov P. A., Kolokol'nikov V. S. & Tushin N. A. *Opredeleniye parametrov parkov i gorlovin stantsii s uchedom ikh vzaimodeystviya* [Determination of the parameters of station yards and necks with regard to their interaction]. *Transport Urala* [*Transport of the Urals*], 2017, no. 1 (52), pp. 3–17. (In Russian)
4. Efimenko Yu. I., Rybin P. K., Oleynikova L. A. et al. *Obosnovaniye etapnosti razvitiya zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov* [*Substantiation of the stagewise development of railway stations and junctions*]. Monograph. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 243 p. (In Russian)
5. Shepel' A. S., Golubev P. A. & Kostenko V. V. *Razrabotka programmnogo kompleksa po raschetu ekspluatatsionnykh parametrov stantsionnykh gorlovin* [Development of a software package for calculating the operational parameters of station necks]. *Intellektual'nyye sistemy na transporte*. Materialy IV mezhdunar. nauch.-praktich. konferentsii [*Intelligent transport systems*. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2014, pp. 532–542. (In Russian)
6. Ivankova L. N. & Burakova A. V. *Opredeleniye propusknoy sposobnosti stantsiy s uchedom emkosti putevogo razvitiya* [Determination of the station capacity due to the track arrangement capacity]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [*Modern technologies. System analysis. Simulation*], 2018, vol. 59, no. 3, pp. 92–98. (In Russian)
7. Kosenko S. A., Bogdanovich S. V. & Akimov S. S. *Proyektirovaniye putevogo razvitiya stantsiy i vybor konstruktsiy verkhnego stroyeniya puti dlya tyazhelovesnogo dvizheniya poyezdov* [Designing the station track arrangement and selecting superstructures for heavy train traffic handling]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [*Bulletin of the Siberian Transport University*], 2018, no. 4 (47), pp. 21–29. (In Russian)

8. Akimov S., Kosenko S. & Bogdanovich S. Stability of the supporting subgrade on the tracks with heavy train movement. *Advances in intelligent systems and computing. VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham, Springer Publ., 2020, vol. 1116, pp. 228–236.
9. Kosenko S.A. & Akimov S.S. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. *MATEC Web of Conferences*, 2018, no. 239, pp. 1–12.
10. Bogdanovich S. V. & Ovchinnikov R.A. Ratsionalizatsiya raspredeleniya vagonopotokov po gruzovym stantsiyam kak instrument sokrashcheniya prostoya mestnykh vagonov [Reorganization and integration of car traffic distribution among freight stations as a tool to reduce the downtime of local cars]. *Molodezhnaya nauka. Trudy XXIV Vseros. studencheskoy nauch.-praktich. konferentsii [Youth Science. Proceedings of the XXIV All-Russia Student Scientific and Practical Conference]*. Krasnoyarsk, KriZhT [Krasnoyarsk Railway Transport University] Publ., 2020, pp. 146–148. (In Russian)
11. Bogdanovich S. V. Ratsionalizatsiya mestnoy raboty stantsii [Reorganization and integration of the local work of the station]. *Politransportnyye sistemy. Materialy X Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konferentsii [Polytransport systems. Proceedings of the X International Scientific and Technical Conference]*. Novosibirsk, Siberian Transport University Publ., 2019, pp. 147–149. (In Russian)
12. *Instruktsiya po raschetu nalichnoy propusknoy sposobnosti zheleznykh dorog [Guidelines for calculating the available capacity of railways]*. JSC Russian Railways Order N 128 as of November 16, 2010. Moscow, JSC Russian Railways Publ., 2010, 305 p. (In Russian)
13. Borodin A. F. Kompleksnyye resheniya problem razvitiya infrastruktury i perevozochnykh resursov [Complex solutions for the problems of infrastructure development and transportation resources]. *Mir transporta [The World of Transport]*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 8–17. (In Russian)
14. Borodin A. F. & Sotnikov E. A. Ratsional'noye sootnosheniye vmestimosti putey stantsiy i vagonnykh parkov s uchetom uvelicheniya doli privatnykh vagonov [Practical balance between the capacity of the tracks of stations and yards, considering the increased proportion of private cars]. *Zheleznodorozhnyy transport [The Railway Transport Magazine]*, 2001, no. 3, pp. 8–19. (In Russian)
15. Kozlov P.A. & Tushin N.A. Vzaimodeystviye struktury s chastichno upravlyayemym potokom [Interaction of structure with partially controlled flow]. *Nauka i tekhnika transporta [Science and Technology in Transport]*, 2016, no. 4, pp. 31–35. (In Russian)
16. Garbaruk V. V., Kraskovskiy A. E. & Fomenko V.N. Otsenka riskov ottsepki vagonov v puti sledovaniya [Assessment of the risks of car uncoupling along the route]. *Intellektual'nyye tekhnologii na transporte [Intellectual Technologies on Transport]*, 2015, no. 1, pp. 11–17. (In Russian)
17. Pokrovskaya O. D. Terminalistika as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions. *Sustainable economic development of regions*. Monograph. Vienna, East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH Publ., 2014, vol. 3, pp. 154–175.
18. Pokrovskaya O. D. *Kompleksnaya otsenka transportno-skladskikh sistem zheleznodorozhnogo transporta*. Dis. ... dokt. tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.08 [Comprehensive assessment of railway storage-retrieval systems. Dis. of D. Sci. in Engineering, speciality: 05.22.08]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 377 p. (In Russian)

Received: June 26, 2020

Accepted: January 27, 2021

**Author's information:**

Vladimir V. KOSTENKO – PhD in Engineering, Associate Professor; docentkostenko@yandex.ru  
Danila E. BOGDANOVICH – Postgraduate Student; bogdan\_danila@inbox.ru

УДК 629.01:629.03

## Снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы за счет использования гибридного моторвагонного подвижного состава

М. Ю. Обухов, Н. П. Калинин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Обухов М. Ю., Калинин Н. П. Снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы за счет использования гибридного моторвагонного подвижного состава // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 25–33. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-25-33

### Аннотация

**Цель:** Анализ экономической целесообразности замены дизельного моторвагонного подвижного состава (МВПС) на гибридный на примере маршрута Санкт-Петербург – Выборг (через Приморск). **Методы:** Применяется комплексный подход к проблеме энергетической эффективности МВПС, ориентированный на практическую значимость и экономическую обоснованность результатов. **Результаты:** Полученные данные могут служить базой для рационального подбора подвижного состава для участков с чередованием автономной и неавтономной тяги. **Практическая значимость:** Разработанная концепция позволит эффективно подбирать МВПС для эксплуатации на участках с чередованием автономной и неавтономной тяги.

**Ключевые слова:** Энергоэффективность, электропоезда, накопители энергии, гибридный моторвагонный подвижной состав.

### Введение

В настоящее время необходимо решать обширный ряд задач для транспорта, в частности, для железной дороги. Одной из них является снижение расходов на перевозку пассажиров в пригородном сообщении на малодеятельных участках с чередованием автономной и неавтономной тяги (или с частичным выходом на данные участки) [1, 2]. К ним относятся участки Санкт-Петербург-Финляндский-Выборг (через Приморск) протяженностью 170 км.

Сейчас на данном участке пассажиров перевозит дизельный моторвагонный подвижной состав (МВПС) серии РА2 (рельсовый автобус 2-го типа, представлен на рис. 1) модели 750.05.20.

Максимальная вместимость такого рельсового автобуса в трехвагонной компоновке со-

ставляет 600 человек. Максимальная скорость в эксплуатации – 100 км/ч. Так как достаточно обширная часть этого участка электрифицирована (70 км и ожидается увеличение до 106 км в 2021 г.), то возникает вопрос об экономической целесообразности использования на нем рельсовых автобусов.

Альтернативой дизельному подвижному составу на подобных участках, сопряженных с переходом от электрифицированных магистралей к малодеятельным неэлектрифицированным, может служить гибридный МВПС [3], представленный на Октябрьской железной дороге дизель-электропоездом серии ДТ1 (Дизель-электропоезд Торжокский, 1-го типа, рис. 2) модели 63-9001 [4]. Вместимость данного дизель-электропоезда при аналогичной (трехвагонной) компоновке в условиях максимальной населенности поезда составляет 756 человек. Макси-



Рис. 1. Рельсовый автобус серии РА2



Рис. 2. Дизель-электропоезд ДТ1

мальная его скорость в эксплуатации также выше: 120 км/ч.

Оба варианта подвижного состава могут эксплуатироваться как с низкой, так и с высокой платформой, однако, учитывая то, что ДТ1 имеет большие пассажироместимости и скорость движения, вероятность привлечения им пассажиропотока выше. Также за счет электрического привода время следования по маршруту Санкт-Петербург–Выборг (через Приморск) можно сократить не менее чем на 25 мин по сравнению с РА2, при этом не в ущерб конструкции подвижного состава, комфорту пассажиров и затратам на топливо-энергетические ресурсы (ТЭР).

Принимая во внимание текущий диапазон цен на ТЭР по Октябрьской железной дороге и средненормативные показатели их расхода, можно произвести сравнительный расчет стоимости суточной эксплуатации двух вышеописанных серий МВПС [5].

#### **Расчет затрат ТЭР для различных видов МВПС**

Для проведения сравнительного расчета экономической эффективности эксплуатации РА2 и ДТ1 в настоящее время, а также на момент завер-

шения мероприятий по реконструкции участка Ермилово–Попово с его последующей электрификацией в 2021 г. принимается ряд необходимых величин.

Согласно текущему диапазону цен на ТЭР по ОЖД, норм расходования топливно-энергетических ресурсов, технико-распорядительных актов (ТРА) станций и режимным картам участка принимается [6, 7]:

- месяц, рассматриваемый для анализа, – ОКТЯБРЬ (необходимо для определения объемов движения, диапазона цен, а также норм расходования ТЭР);

- количество дней в месяце  $D = 31$ ;
- количество дней в году  $\Gamma = 365$ ;
- цена за 1 кВт·ч электроэнергии  $C_{эл-эн} = 4,2$  руб.;

- цена за 1 кг дизельного топлива  $C_{дт} = 41,4$  руб.;

- расстояние между станциями Санкт-Петербург-Финляндский и Зеленогорск  $L_1 = 50$  км;

- расстояние между станциями Зеленогорск и Попово  $L_2 = 101$  км;

- расстояние между станциями Зеленогорск и Ермилово  $L_2^* = 64$  км;

- расстояние между станциями Попово и Выборг  $L_3 = 19$  км;

- расстояние между станциями Ермилово и Выборг  $L_3^* = 56$  км;

- общая длина участка Санкт-Петербург-Финляндский–Выборг (через Приморск)  $L_{общ1} = 170$  км;

- в качестве прямого направления движения, так как нормативы расхода при движении «туда» и «обратно» существенно отличаются, принимаются следующие:

- от станции Санкт-Петербург-Финляндский в направлении станции Зеленогорск,

- от станции Зеленогорск в направлении станции Выборг,

- движение в противоположном направлении от вышеописанного считается обратным;

- норма расхода электроэнергии для ДТ1 на участке Санкт-Петербург-Финляндский–Зеленогорск  $N_{г1} = 284$  кВт·ч (совпадает в прямом и обратном направлениях);

- средняя норма расхода дизельного топлива на 1 км пути для ДТ1 на участке Зеленогорск–Попово (Ермилово)  $N_{г_ср1} = 1,12$  кг/км (совпадает в прямом и обратном направлениях);

- средняя норма расхода электроэнергии на 1 км пути для ДТ1 на участке Попово (Ермилово)–Выборг  $N_{г_ср2} = 5,42$  кВт·ч/км (совпадает в прямом и обратном направлениях);

- норма расхода дизельного топлива для РА2 в прямом направлении на участке Санкт-Петербург-Финляндский–Зеленогорск  $N_{ра1} = 50$  кг;

- норма расхода дизельного топлива для РА2 в обратном направлении на участке Санкт-Петербург-Финляндский–Зеленогорск  $N_{ра1}^* = 55$  кг;

- норма расхода дизельного топлива для РА2 в прямом направлении на участке Зеленогорск–Выборг (через Приморск)  $N_{ра2} = 119$  кг;

- норма расхода дизельного топлива для РА-2 в обратном направлении на участке Зеленогорск–Выборг (через Приморск)  $N_{ра2}^* = 133$  кг;

- количество пар поездов в сутки на участке Санкт-Петербург-Финляндский–Зеленогорск согласно служебному расписанию  $n_1 = 1$ ;

- количество пар поездов в сутки на участке Зеленогорск–Выборг согласно служебному расписанию  $n_2 = 2$ ;

- количество пар поездов в сутки на участке Выборг–Хийтола согласно служебному расписанию  $n_3 = 2$ .

Сначала определяется стоимость суточной эксплуатации различных видов МВПС без учета приносимой ими прибыли от осуществления перевозочного процесса, а также затрат на техническое обслуживание, ремонт, сервисные пробеги и маневровые передвижения [8–15].

Итак, расходы на передвижение по участку находятся следующим образом:

$$R_i = N_{срi} \cdot L_i \cdot C_i, \quad (1)$$

или

$$R_i = N_i \cdot C_i. \quad (2)$$

По формуле (2) рассчитаем расход энергии и топлива для МВПС на участке Санкт-Петербург-Финляндский-Зеленогорск:

- ДТ1 в прямом и обратном направлениях:

$$R_{г1} = N_{г1} \cdot C_{эл-эн} = 284 \cdot 4,2 = 1192,80 \text{ руб.};$$

- РА2 в прямом направлении:

$$R_{pa1} = N_{pa1} \cdot C_{эл-эн} = 50 \cdot 41,4 = 2070,0 \text{ руб.};$$

- РА2 в обратном направлении:

$$R_{pa1}^* = N_{pa1} \cdot C_{эл-эн} = 55 \cdot 41,4 = 2277,0 \text{ руб.}$$

После этого определяются расходы на перевозочный процесс в сутки на данном участке по формулам:

$$S_i = 2(R_i \cdot n_i),$$

$$S_i = R_i \cdot n_i + R_i^* \cdot n_i;$$

- ДТ1 за сутки на данном участке расходует ТЭР (табл. 1) на сумму:

$$\begin{aligned} S_{г1} &= 2 \cdot (R_{г1} \cdot n_1) = 2 \cdot (1192,8 \cdot 1) = \\ &= 2385,6 \text{ руб.}; \end{aligned}$$

- РА2 за сутки на данном участке расходует ТЭР (табл. 1) на сумму:

$$\begin{aligned} S_{pa1} &= R_{pa1} \cdot n_1 + R_{pa1}^* \cdot n_1 = \\ &= 2070,0 \cdot 1 + 2277,0 \cdot 1 = \\ &= 4347,00 \text{ руб.}; \end{aligned}$$

ТАБЛИЦА 1. Расход ТЭР на участке Санкт-Петербург-Финляндский-Зеленогорск в денежном эквиваленте

| Серия МВПС | Эксплуатационные затраты на маршрут, руб. |         | Количество поездов в сутки, шт. |         | Итого, руб. |
|------------|---|---------|---------------------------------|---------|-------------|
|            | туда                                      | обратно | туда                            | обратно |             |
| ДТ1        | 1192,80                                   | 1192,80 | 1                               | 1       | 2385,60     |
| РА2        | 2070,00                                   | 2277,00 | 1                               | 1       | 4347,00     |



Рис. 3. Визуализация суточного расхода ТЭР на участке Санкт-Петербург-Финляндский-Зеленогорск (50 км) в денежном эквиваленте

По формулам (1) и (2) рассчитаем расход энергии и топлива для МВПС на участке Зеленогорск–Выборг (через Приморск).

Для ДТ1 этот участок дробится на электрифицированную и неэлектрифицированную части. Для РА2 все расчеты производятся аналогично.

Электрификация отсутствует в данный момент на участке от станции Зеленогорск до станции Попово (101 км), однако в 2021 г. участок

сократится до станции Ермилово и составит 64 км. Расчеты осуществлены по формуле (1) для ДТ1 до 2021 г.:

$$R_{Г2.1} = N_{Гсп1} \cdot L_2 \cdot C_{дт} = 1,12 \cdot 101 \cdot 41,4 = 4669,23 \text{ руб.};$$

$$R_{Г2.2} = N_{Гсп2} \cdot L_3 \cdot C_{дт} = 5,42 \cdot 19 \cdot 4,2 = 432,80 \text{ руб.};$$

ТАБЛИЦА 2. Расход ТЭР на участке Зеленогорск–Выборг (через Приморск) в денежном эквиваленте

| Серия МВПС          | Эксплуатационные затраты на маршрут, руб. |         | Количество поездов в сутки, шт. |         | Итого, руб. |
|---------------------|---|---------|---------------------------------|---------|-------------|
|                     | туда                                      | обратно | туда                            | обратно |             |
| ДТ1                 | 5102,03                                   | 5102,02 | 2                               | 2       | 20408,10    |
| ДТ1 (после 2021 г.) | 4234,33                                   | 4234,32 | 2                               | 2       | 16937,31    |
| РА2                 | 4926,60                                   | 5506,20 | 2                               | 2       | 20865,60    |



Рис. 4. Визуализация суточного расхода топливо-энергетических ресурсов на участке Зеленогорск–Выборг (через Приморск) (120 км) в денежном эквиваленте

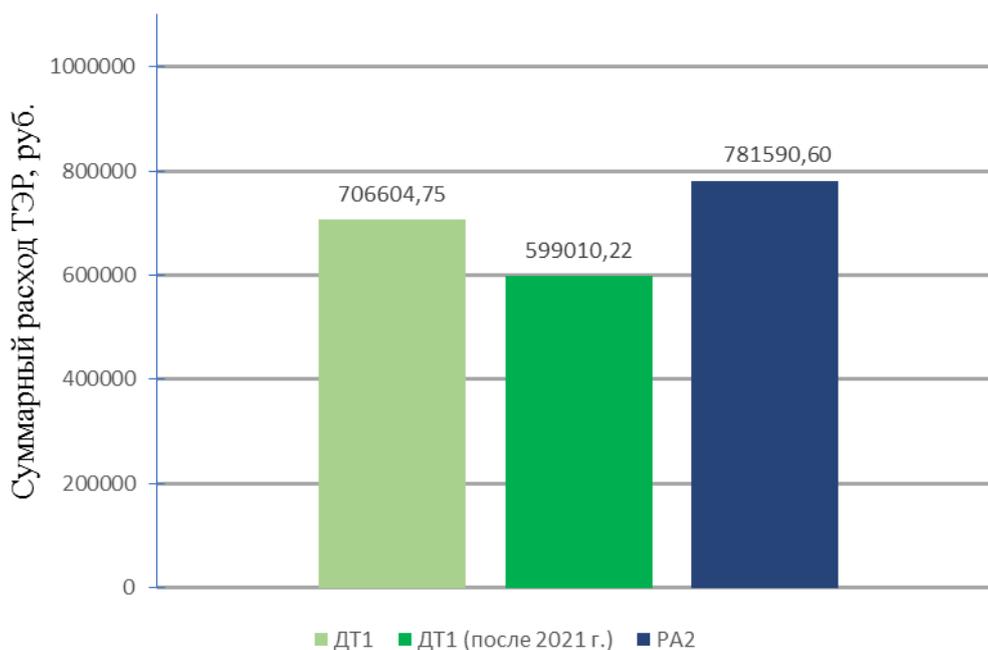


Рис. 5. Визуализация годового суммарного расхода ТЭР на всех маршрутах, указанных выше, различными типами МВПС в денежном эквиваленте

$$R_{r2} = R_{r2.1} + R_{r2.2} = 4669,23 + 432,80 = 5427,13 \text{ руб.}$$

Расход ТЭР рассчитывается, как для предыдущего участка, его данные приведены в табл. 2, а также визуализированы на рис. 4. После пересчета суточного расхода на год (принимается 365 дней) данные показаны на рис. 5.

## Заключение

Из полученных в ходе расчетов данных приходим к следующим выводам:

- в настоящий момент замена PA2 на DT1 приведет к экономии ТЭР на сумму 74985,85 руб. ежемесячно;
- в 2021 г. (при сохранении цен на ТЭР) ежемесячная экономия составит 182580,38 руб.;
- в год экономия ТЭР может достигнуть 2,2 млн руб.

В результате этого можно судить о большей экономической целесообразности применения

на маршруте Санкт-Петербург-Финляндский–Выборг-Пассажирский (через Приморск) МВПС серии DT1 вместо PA2.

Так как маршруты, аналогичные рассмотренному в настоящей статье, могут иметься как на других участках Октябрьской железной дороги, так и в других частях Российской Федерации, то также можно заключить о возможности использования и для них приведенного метода расчета при подборе оптимального варианта подвижного состава.

## Библиографический список

1. Обухов М. Ю. Повышение энергоэффективности электропоезда за счет установки накопителей электрической энергии / М. Ю. Обухов, Н. П. Калинин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 4. – С. 449–464.
2. Евстафьев А. М. Гибридные системы тягового привода / А. М. Евстафьев, И. Ю. Евстафьев // Интеллектуальные системы на транспорте : сб. материалов

V Междунар. науч.-практич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2015. – С. 363–366.

3. Карасев Д. А. Водородная и аккумуляторная тяга: проекты ТМХ / Д. А. Карасев // Техника железных дорог. – М. : НП «ОПЖТ», 2020. – 6 ноября.

4. Обухов М. Ю. Применение гибридного моторвагонного подвижного состава с накопителями энергии в пригородном сообщении / М. Ю. Обухов, И. П. Викулов // Электрификация, развитие электроэнергетической инфраструктуры и электрического подвижного скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта : материалы VIII Междунар. симпозиума «Элтранс-2015», 7–9 октября 2015 г., г. Санкт-Петербург. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 336–343.

5. Обухов М. Ю. Повышение энергоэффективности гибридного моторвагонного подвижного состава / М. Ю. Обухов, И. П. Викулов // Транспорт : проблемы, идеи, перспективы : сб. трудов LXXVII Всерос. науч.-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 320–324.

6. Евстафьев А. М. Повышение энергетической эффективности гибридного локомотива / А. М. Евстафьев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 2. – С. 6–10.

7. Евстафьев А. М. Применение гибридных технологий в тяговом подвижном составе / А. М. Евстафьев // Бюл. результатов науч. исследований. – 2018. – Вып. 3. – С. 27–38.

8. Титова Т. С. Перспективы развития тягового подвижного состава. Ч. 1 / Т. С. Титова, А. М. Евстафьев, М. Ю. Изварин, А. Н. Сычугов // Транспорт Российской Федерации. Журн. о науке, практике, экономике. – 2018. – № 6 (79). – С. 40–42.

9. Титова Т. С. Повышение энергетической эффективности локомотивов с накопителями энергии / Т. С. Титова, А. М. Евстафьев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2017. – Т. 14. – Вып. 2. – С. 200–210.

10. Евстафьев А. М. Оценка энергоемкости бортового накопителя энергии для тягового подвижного состава / А. М. Евстафьев // Бюл. результатов науч. исследований. – 2018. – Вып. 2. – С. 7–17.

11. Евстафьев А. М. Повышение энергетической эффективности гибридного локомотива / А. М. Евстафьев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 2. – С. 6–10.

12. Власьевский С. В. Сравнение энергетической эффективности электровозов переменного тока с коллекторным и асинхронным приводом / С. В. Власьевский, Д. В. Грибенюк, М. С. Алексеева // Вестн. Ин-та тяги и подвижного состава. – 2016. – № 12. – С. 24–27.

13. Иньков Ю. М. Использование контактно-аккумуляторных электровозов для маневровой работы на станциях / Ю. М. Иньков, А. С. Космодамианский, Г. А. Федяева, В. П. Феокистов // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 4. – С. 9–15.

14. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта (основные положения). – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2459р от 27 декабря 2007 г. – М. : ОАО «РЖД», 2007.

15. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – Утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21 июня 1999 г. – М., 1999.

Дата поступления: 30.11.2020

Решение о публикации: 16.02.2021

#### **Контактная информация:**

ОБУХОВ Михаил Юрьевич – аспирант, инженер; [mikhail.obukhov.0526@gmail.com](mailto:mikhail.obukhov.0526@gmail.com)

КАЛИНИН Николай Павлович – аспирант, инженер; [nikolaykalinin1997@gmail.com](mailto:nikolaykalinin1997@gmail.com)

## Reducing the cost of fuel and energy resources through the use of hybrid multi-unit rolling stock

M. Yu. Obukhov, N. P. Kalinin

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Obukhov M. Yu., Kalinin N. P. Reducing the cost of fuel and energy resources through the use of hybrid multi-unit rolling stock. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 25–33. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-25-33

### Summary

**Objective:** Analysis of the economic feasibility of replacing diesel multiple units with hybrid ones exemplified by the Saint Petersburg–Vyborg route (through Primorsk). **Methods:** To solve the problem of energy efficiency of multiple units, an integrated approach is applied which is focused on the practical significance and economic feasibility of the results. **Results:** The data obtained can serve as a basis for the rational selection of rolling stock to use in the sections with alternating arrangement of autonomous and non-autonomous traction. **Practical importance:** The concept developed will allow for effective selection of multiple units for operation in the sections with alternating arrangement of autonomous and non-autonomous traction.

**Keywords:** Energy efficiency, electric trains, energy storage units, hybrid multi-unit rolling stock.

### References

1. Obukhov M. Yu. & Kalinin N. P. Povysheniye energoeffektivnosti elektropoyezda za schet ustanovki nako-piteley elektricheskoy energii [Increasing the energy efficiency of an electric train by installing electric energy storage units]. *Proceedings of Petersburg Transport University*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2020, vol. 17, iss. 4, pp. 449–464. (In Russian)

2. Evstaf'yev A. M. & Evstaf'yev I. Yu. Gibrnidnyye sistemy tyagovogo privoda [Hybrid traction drive systems]. *Intellektual'nyye sistemy na transporte*. Sb. materialov V Mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konferentsii [Intelligent transport systems. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2015, pp. 363–366. (In Russian)

3. Karasev D. A. Vodorodnaya i akkumulyatornaya tyaga: proyekty TMH [Hydrogen and battery traction: TMH projects]. *Tekhnika zheleznykh dorog [Railway Equipment]*. Moscow, Non-profit partnership “Union

of Industries of Railway Equipment” Publ., November 6, 2020. (In Russian)

4. Obukhov M. Yu. & Vikulov I. P. Primeneniye gi-bridnogo motorvagonnogo podvizhnogo sostava s nako-pitelyami energii v prigorodnom soobshchenii [The use of hybrid multi-unit rolling stock with energy storage units in suburban traffic]. *Elektrifikatsiya, razvitiye elektroener-geticheskoy infrastruktury i elektricheskogo podvizhnogo skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta [Electrification, development of power supply infrastructure for traction of rapid and high-speed railway transport]*. Proceedings of the VIII International symposium “Eltrans-2015,” October 7–9, 2015, Saint Petersburg. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, pp. 336–343. (In Russian)

5. Obukhov M. Yu. & Vikulov I. P. Povysheniye energoeffektivnosti gibrnidnogo motorvagonnogo podvizhnogo sostava [Increasing the energy efficiency of hybrid multi-unit rolling stock]. *Transport: problemy, idei, perspektivy*. Sb. trudov LXXVII Vserossiyskoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Transport: problems, ideas, prospects.

Proceedings of the LXXVII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, pp. 320–324. (In Russian)

6. Evstaf'yev A. M. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti gibridnogo lokomotiva [Increasing the energy efficiency of a hybrid locomotive]. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta [Electronics and electrical equipment of transport]*, 2015, no. 2, pp. 6–10. (In Russian)

7. Evstaf'yev A. M. Primeneniye gibridnykh tekhnologii v tyagovom podvizhnom sostave [Application of hybrid technologies in traction rolling stock]. *Byul. rezul'tatov nauch. issledovaniy [Bulletin of scientific research results]*, 2018, iss. 3, pp. 27–38. (In Russian)

8. Titova T. S., Evstaf'yev A. M., Izvarin M. Yu. & Sychugov A. N. Perspektivy razvitiya tyagovogo podvizhnogo sostava [Development potential of traction rolling stock]. Pt 1. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike [Transport of the Russian Federation. A magazine of science, economy and practice]*, 2018, no. 6 (79), pp. 40–42. (In Russian)

9. Titova T. S. & Evstaf'yev A. M. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti lokomotivov s nakopitelyami energii [Improving the energy efficiency of locomotives with energy accumulation devices]. *Proceedings of Petersburg Transport University*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, vol. 14, iss. 2, pp. 200–210. (In Russian)

10. Evstaf'yev A. M. Otsenka energoyomkosti bortovogo nakopitelya energii dlya tyagovogo podvizhnogo sostava [Assessment of the energy consumption of an onboard energy storage unit for traction rolling stock]. *Byul. rezul'tatov nauch. issledovaniy [Bulletin of scientific research results]*, 2018, iss. 2, pp. 7–17. (In Russian)

11. Evstaf'yev A. M. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti gibridnogo lokomotiva [Increasing the energy efficiency of a hybrid locomotive]. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta [Electronics and electrical equipment of transport]*, 2015, no. 2, pp. 6–10. (In Russian)

12. Vlas'yevskiy S. V., Gribenyuk D. V. & Alekseyeva M. S. Sravneniye energeticheskoy effektivnosti elektrovozov peremennogo toka s kollektornym i asinkhronnym privodom [Comparison of the energy efficiency of alternating current electric locomotives with collector and asynchronous drives]. *Vestnik Instituta tyagi i podvizhnogo sostava [Proceedings of Institute of Traction and Rolling Stock]*, 2016, no. 12, pp. 24–27. (In Russian)

13. In'kov Yu. M., Kosmodamianskiy A. S., Fedayeva G. A. & Feoktistov V. P. Ispol'zovaniye kontaktno-akkumulyatornykh elektrovozov dlya manevrovoy raboty na stantsiyakh [The use of contact-battery electric locomotives for shunting at stations]. *Nauka i tekhnika transporta [Science and Technology in Transport]*, 2014, no. 4, pp. 9–15. (In Russian)

14. Metodika opredeleniya stoimosti zhiznennogo tsikla i limitnoy tseny podvizhnogo sostava i slozhnykh tekhnicheskikh sistem zheleznodorozhnogo transporta (osnovnyye polozheniya) [Methodology for determining the life cycle value and limit price of rolling stock and complex technical systems of railway transport (basic provisions)]. Approved by JSC Russian Railways Order N 2459r dated December 27, 2007. Moscow, JSC Russian Railways Publ., 2007. (In Russian)

15. Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov [Methodological recommendations for investment projects effectiveness assessment]. Approved by Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Ministry of Finance of the Russian Federation, State Committee of the Russian Federation for Construction, Architectural and Housing Policy, N VK 477 dated June 21, 1999. Moscow, 1999. (In Russian)

Received: November 30, 2020

Accepted: February 16, 2021

#### Author's information:

Mikhail Yu. OBUKHOV – Postgraduate Student, Engineer; mikhail.obukhov.0526@gmail.com

Nikolay P. KALININ – Postgraduate Student, Engineer; nikolaykalinin1997@gmail.com

УДК 656.073:658.8

## Особенности продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского узла<sup>1</sup>

О. Д. Покровская

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Покровская О. Д. Особенности продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского узла // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 34–51. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-34-51

### Аннотация

**Цель:** Изучить особенности продвижения блок-трейнов и контейнерных поездов по терминальной сети Санкт-Петербургского транспортного узла. **Методы:** Применяются средства и методы теории складских систем О. Б. Маликова, общей теории систем, системного и экономического анализов, логистики и управления эксплуатационной работой железных дорог. **Результаты:** Установлено, что для привлечения транзитных грузопотоков и дальнейшего развития международных транспортных коридоров, проходящих через Санкт-Петербургский транспортный узел, прежде всего на направлении «Восток–Запад», необходимо формирование сети контейнерных терминалов с многофункциональной логистикой, что позволит расширить перечень направлений доставки с использованием блок-трейнов, сформировать конкурентоспособные сквозные тарифные ставки, переориентировать с автотранспорта высокодоходные грузопотоки на железные дороги, а также организовать взаимодействие с европейскими и китайскими интермодальными и стивидорными операторами по слотированию мест и продления направлений движения блок-трейнов, контейнерных, ускоренных и специализированных поездов. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут быть применены при реализации концепции развития Санкт-Петербургского транспортного узла, при проектировании отдельных элементов и устройств железнодорожного узла, а также при оптимизации технологии обслуживания морского порта и терминальной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** Терминальная сеть, терминально-складская инфраструктура, контейнерный терминал, транспортный узел, технология «блок-трейн», клиентоориентированность, продвижение контейнерных поездов.

### Введение

Эффективное функционирование транспортной системы Российской Федерации является одним из стратегических направлений развития

страны на долгосрочную перспективу. Развитие и рост межрегиональных и международных компаний, увеличение деловой активности и мобильности населения, принятие идеологии устойчивого экологического развития и идео-

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках гранта ОАО «РЖД» для молодых ученых на проведение научных исследований, направленных на создание новой техники и технологий для применения на железнодорожном транспорте, 2020 г.

логии «рационального потребления» требуют изменения привычного режима функционирования транспортного комплекса страны.

В Санкт-Петербургском макрорегионе сосредоточены крупные промышленные предприятия, деловые бизнес-центры, величайшие исторические сооружения и объекты социальной инфраструктуры, а также транспортные объекты федерального, регионального и международного значения. Мероприятия по развитию Санкт-Петербургского железнодорожного узла предусмотрены разработанной в 2014 г. Генеральной схемой развития железнодорожного узла транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области, утвержденной Координационным советом по развитию транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2015 г. (протоколом заседания Координационного Совета по развитию Санкт-Петербурга и Ленинградской области от 27 ноября 2015 г. № 80).

На совещании по вопросу развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области под председательством министра транспорта Российской Федерации Е. И. Дитриха, состоявшегося 8 февраля 2019 г. с участием руководителей Санкт-Петербурга, Ленинградской области и руководства ОАО «РЖД», в докладе ОАО «РЖД» было заявлено намерение Компании о подготовке в 2019 г. Концепции по развитию железнодорожной инфраструктуры в целях организации пригородных и внутригородских пассажирских перевозок в Санкт-Петербургском железнодорожном узле (далее – Концепция) [1].

К 2030 г. в Санкт-Петербургском железнодорожном узле прогнозируется увеличение объемов перевозок грузов в 1,4 раза. При этом преобладающие объемы перевозок грузов следуют транзитом. Доля таких перевозок составляет более 60% от общего объема [1], что связано с характером рассматриваемого полигона: расположение внутри него и в непосредственной к нему близости морских торговых портов в акватории Финского залива и сухопутных передаточных пунктов на прилегающей территории.

Таким образом, в связи с прогнозируемым увеличением объемов перевозок грузов железнодорожным транспортом, а также социально-экономическим развитием региона возникает необходимость продвижения грузопотоков по узлу и его терминальной сети с применением таких технологий организации взаимодействия морского порта с тяготеющей терминально-складской («сухой») инфраструктурой как контейнерных поездов и блок-трейнов.

Организация работы блок-поездов (или блок-трейнов) в узле предполагает доставку контейнеров в порты по железной дороге с припортовых тыловых терминалов – контейнерных терминалов (КТ). Вопросами организации работы КТ в целом и тыловых терминалов в частности, а также исследованием портовых транспортных систем занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Например, перевозки грузов в контейнерах, оптимизация управления поездопотоками и мультимодальными логистическими цепями в транспортных узлах, средства и методы изучения географии транспортных систем рассмотрены в работах [2, 3], управление мультимодальными транспортно-логистическими системами – в [4–7], организация функционирования грузовых терминалов – в [8–10], проблематика организации работы портовых станций – в [11–16].

Согласно классификации, предложенной ранее [17], тыловые терминалы относятся к логистическим объектам, на которых сконцентрирована логистическая работа по обслуживанию грузопотоков, прибывающих с морского порта. Форматом таких сложных транспортно-складских систем как тыловой терминал могут быть транспортно-логистический центр, мультимодальный логистический центр, «сухой порт», хинтерлэнд (терминально-складская инфраструктура, «тяготеющая» к морскому порту – гейтвею).

Исследования транспортно-складских систем транспортных узлов, закономерности их функционально-логистической эволюции могут выполняться с применением средств и методов терминалистики – логистики транспортных

узлов и терминалов, основные принципы которой подробно изложены в работах [18–20].

В общем случае на КТ, тяготеющих (пространственно и функционально) к морскому порту, сосредоточены логистические мощности по организации погрузки и выгрузки грузов в/из контейнеров, что позволяет управлять процессами контейнерных перевозок более эффективно, в том числе с использованием технологии «блок-трейн». Блок-трейны могут быть организованы по твердому расписанию 2–3 раза в день и представлять собой полный состав из 41 фитинговой платформы или неполный состав из 12–20 платформ (в зависимости от размеров грузопотока и других местных условий).

Варианты организации грузопотоков между морским терминалом в порту и КТ могут быть следующими:

- груженные контейнеры (20- или 40-футовые) зарубежных судоходных компаний (называются «линейными контейнерами») с импортными грузами из порта на тыловой терминал;
- порожние контейнеры зарубежных судоходных компаний, освободившиеся из-под импортных грузов в морском порту, – из порта на тыловой терминал для временного хранения;
- порожние контейнеры зарубежных судоходных компаний, освободившиеся после выгрузки из них импортных грузов на тыловом терминале, – в порт для возврата за границу;
- груженные контейнеры с экспортными грузами – с тылового терминала в морской порт.

В Санкт-Петербургском транспортном узле между морскими портами и КТ организовано движение поездов по выделенным ниткам графика.

Технология «блок-трейн» позволяет улучшить процессы планирования и взаимодействия грузополучателя, перевозчика и грузоотправителя. Применение выделенных ниток графика движения поездов дает возможность регулировать прибытие поездов на станцию назначения. При этом возможно заблаговременно сформировать судовую партию контейнеров необходимого грузополучателю размера под конкретное

судно и сократить простой подвижного состава как на подходах к порту, так и в самом порту.

В настоящей работе рассматриваются перспективы организации продвижения блок-трейн и контейнерных поездов по Санкт-Петербургскому транспортному узлу.

Объект исследования – Санкт-Петербургский железнодорожный узел, предмет – анализ логистических мощностей по работе с контейнерами на железнодорожной терминально-складской инфраструктуре узла. Для характеристики дислокации и мощности терминальной сети, логистические объекты которой способны перерабатывать контейнеры и грузы в контейнерах, было изучено функционирование терминально-складских объектов, работающих в узле как КТ, так и тыловые терминалы.

### **Характеристика условий Санкт-Петербургского железнодорожного узла**

Существующие и перспективные маршруты блок-трейнов в рассматриваемом узле представлены на рис. 1.

Специалистами Октябрьского территориального центра фирменного транспортного обслуживания (ТЦФТО) на системной основе проводятся первичный анализ потенциальных направлений и определение потенциальных клиентов, рассматриваются поступающие от клиентов обращения для реализации услуги «Перевозка по расписанию». На основании выявленной потенциальной базы пользователям услуг направляется коммерческое предложение для заключения договора. При заинтересованности со стороны пользователей предоставляются услуги в организации перевозок. Заявитель направляет в ТЦФТО дороги отправления запрос на разработку расписания. ТЦФТО дороги отправления направляет запрос в Центр фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО) в зависимости от перевозки (в пределах одной или более двух полигонов дорог) о разработке и назначении в графике движения грузовых поездов «жесткой»

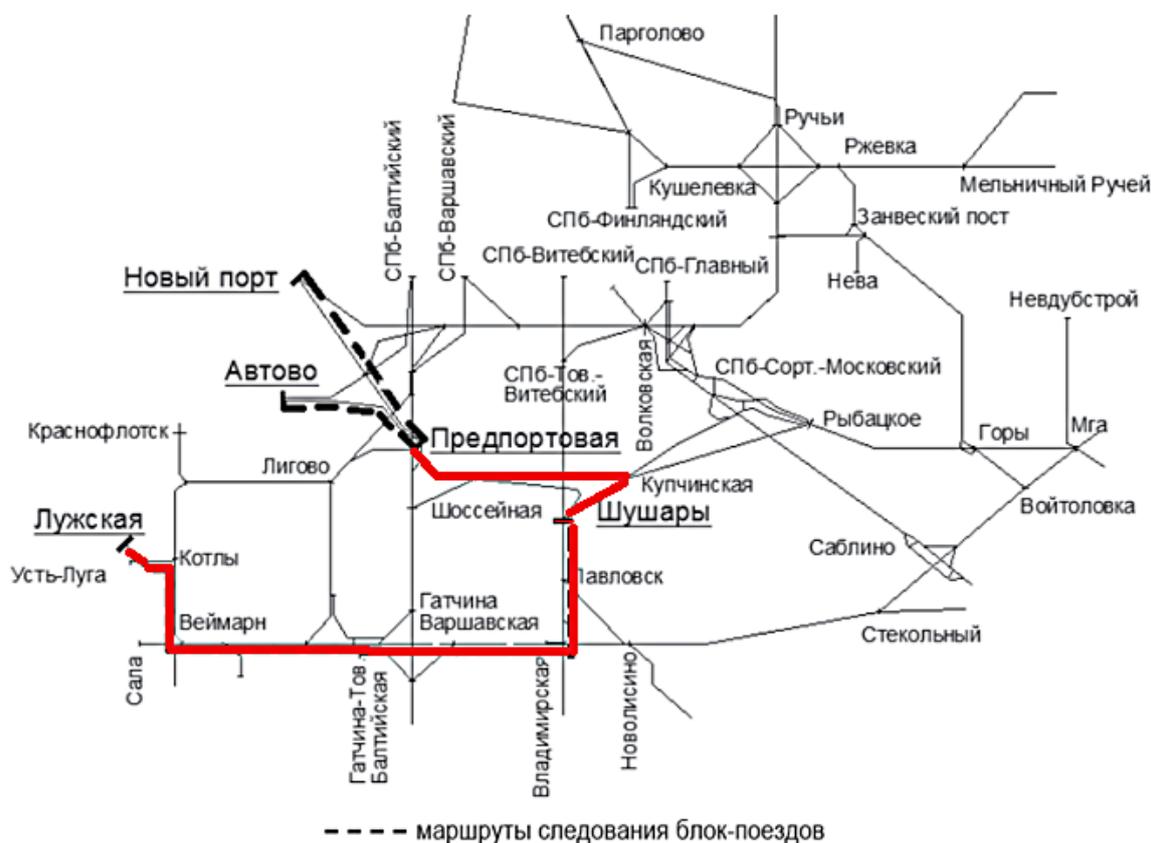


Рис. 1. Существующие и перспективные маршруты блок-трейнов в узле: сплошные линии – функционирующие в настоящее время направления следования блок-трейнов, пунктирные – перспективные направления следования блок-трейнов

нитки графика. При согласии клиента на предлагаемые параметры перевозки с пользователем услуги заключается договор на организацию перевозок грузов по расписанию.

По условиям договора клиентом за 10 дней до начала месяца отправления в ТЦФТО направляется график отправления поездов на месяц. На основании полученной информации формируется наряд-заказ, исходя из параметров которого планируется дальнейшая работа причастных подразделений. При необходимости клиент за 36 ч до предполагаемой даты отправления заявляет о переносе отправления поезда. Отправление поездов осуществляется на основании заключенных договоров с пользователями услуг, а также нормативной документации по взаимодействию причастных подразделений ОАО «РЖД».

В настоящее время назначения контейнерных поездов, курсирующих в узле, в укрупненном виде можно представить гистограммой, которую иллюстрирует рис. 2 (по каждому из семи КТ).

Таким образом, более половины контейнерных грузопотоков (65%) отправляются КТ по направлению «из узла». КТ, расположенные в узле, осуществляют операции по логистической обработке грузов, поступающих и отправляемых в контейнерах, и обеспечивают их преобразование, перераспределение и отправление клиентам в регионы России (рис. 3).

Такая ситуация соответствует тенденциям, отмеченным в Концепции в части транспортного баланса перевозок грузов в Санкт-Петербургском железнодорожном узле на 2018 г. и на перспективу к 2030 г. (рис. 4).

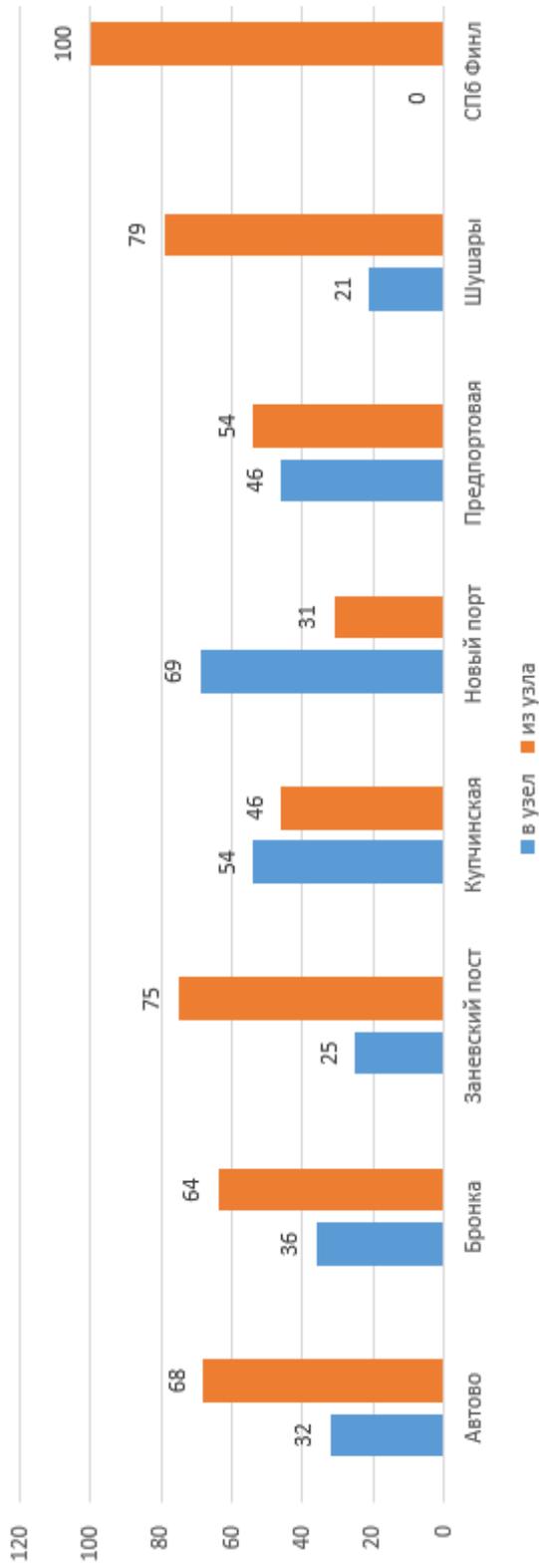


Рис. 2. Назначения контейнерных поездов (в % от числа отправок со станций нахождения КТ): столбцы слева – «в узел» – перевозки с назначением между станциями рассматриваемого полигона, столбцы справа – «из узла» – перевозки с назначением за пределы рассматриваемого полигона

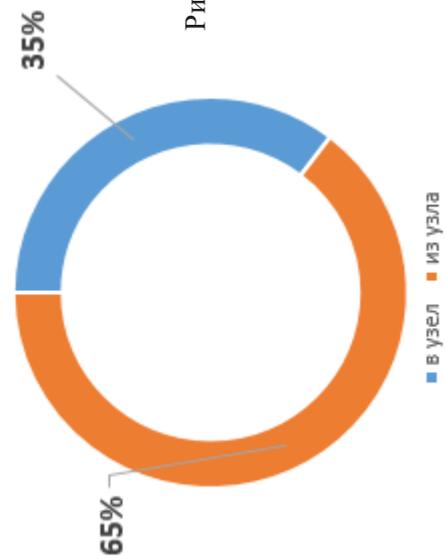


Рис. 3. Разделение грузоогоков, перерабатываемых КТ, на направления «в узел» и «из узла» (в % от объема отправленных КТ грузов)

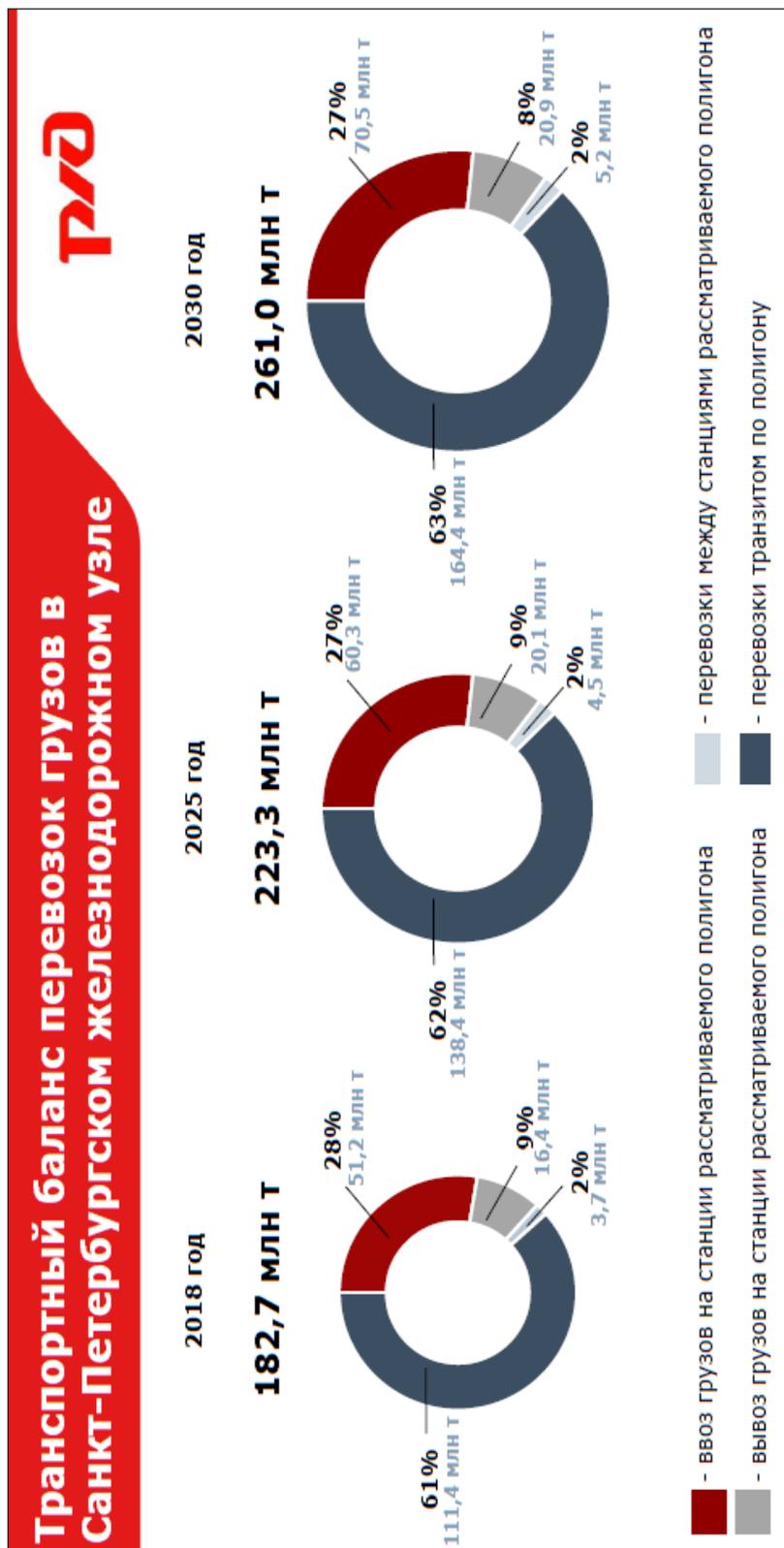


Рис. 4. Тенденции изменения перевозок грузов в Санкт-Петербургском железнодорожном узле [1]

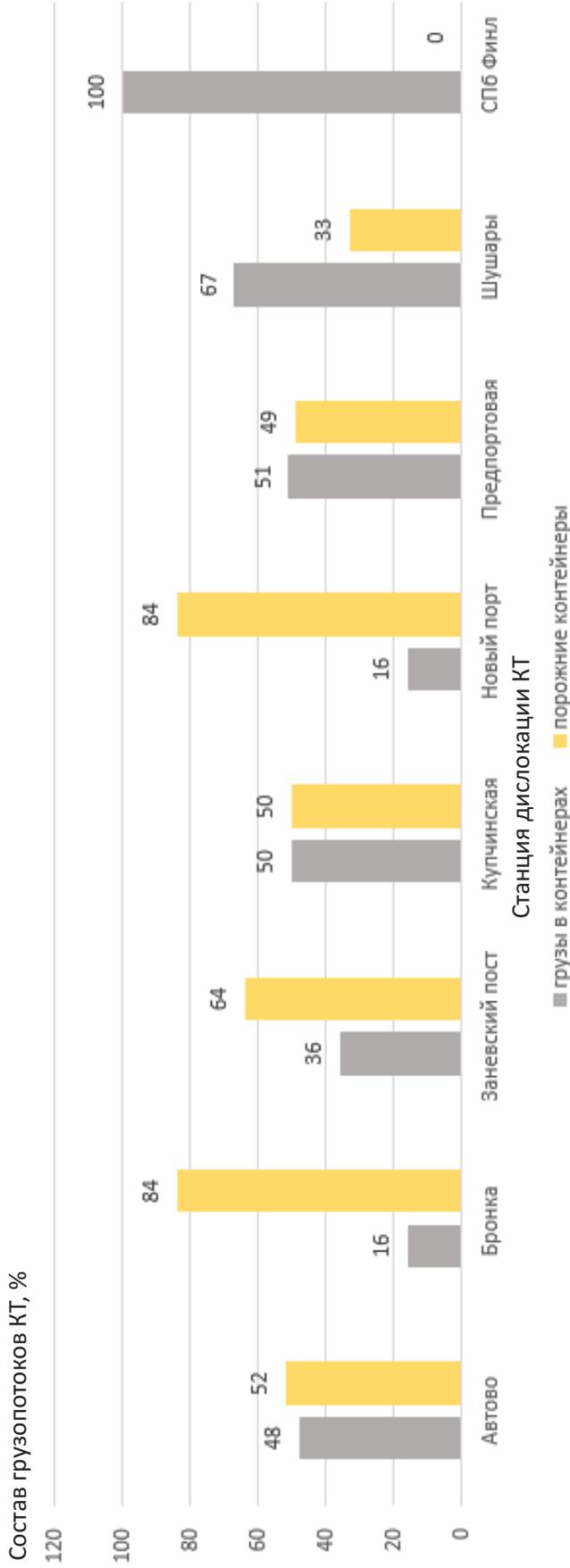


Рис. 5. Соотношение грузопотоков, перерабатываемых КТ узла

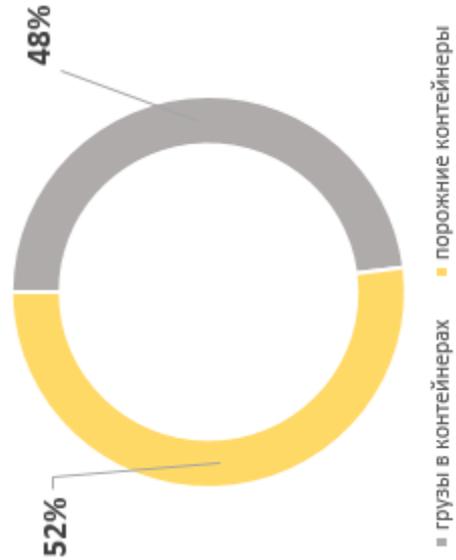


Рис. 6. Общее соотношение состава грузопотоков по КТ узла

Так, в настоящее время наблюдается 28%-ная доля перевозок по ввозу грузов на станции узла в общем объеме, который осваивает узел, и 9%-ная доля перевозок по вывозу грузов.

В частности, с прогнозируемым увеличением доли транзита до 63 % (рост на 2 %) возникает объективная потребность в наращивании перегрузочных мощностей КТ.

Зеркально росту ввоза грузов в узел КТ как инфраструктурные логистические пункты должны отвечать «повороту» контейнерных потоков вглубь страны. Об адекватных мерах по управлению процессами перевозок свидетельствуют данные по Санкт-Петербургскому железнодорожному узлу за первые 7 месяцев 2020 г., отражающие рост направлений следования контейнерных и иных ускоренных и специализированных поездов «из узла», т. е. на вывозные направления.

Качественный состав грузопотоков, перерабатываемых КТ, показан на рис. 5.

Согласно этой гистограмме, более половины грузопотоков по всем КТ рассматриваемого узла составляют порожние контейнеры (рис. 6).

### **Технология работы КТ и их взаимодействие с сетью ОАО «РЖД»**

На сети работающих в Санкт-Петербургском железнодорожном узле КТ возможны следующие варианты переработки линейных контейнеров с экспортными грузами (после прибытия их из морского порта, далее – Порты):

- контейнеры выгружаются с блок-трейна или ускоренного контейнерного поезда на складскую площадку автопогрузчиком с выдвижной крановой стрелой и временно хранятся в течение 3–5 суток в ожидании последующей переработки. В дальнейшем они могут отправляться с КТ в ускоренных контейнерных поездах, в обычных сборных поездах, на автотранспорте или передаваться средствами внутритерминального транспорта на участок перегрузки грузов, где грузы из

них могут быть перегружены в крытые вагоны, автомобили, на склад (с таможенной очисткой или под таможенным контролем) или в контейнеры внутрироссийского обращения;

- контейнеры выгружаются из блок-трейна или ускоренного контейнерного поезда мостовым краном грузоподъемностью 30 т на крытый участок перегрузки (вместимость участка 100 TEU), и грузы из них под таможенным контролем постепенно перегружаются в контейнеры внутрироссийского обращения. Грузовые контейнеры передаются средствами внутритерминального транспорта на складскую площадку, где накапливаются на объем загрузки ускоренного контейнерного поезда;

- порожние линейные контейнеры зарубежных судоходных компаний могут загружаться на блок-трейн и доставляться обратно в Порт (чтобы использовать обратный порожний рейс блок-трейна) или передаваться на складскую площадку для временного хранения в ожидании последующей загрузки их экспортными грузами, или в составе контейнерных поездов отправляться под погрузку к грузоотправителям, имеющим экспортные внешнеторговые связи (например, на целлюлозно-бумажные комбинаты);

- возможны также переработки и других грузопотоков на КТ (экспортные контейнеропотоки, грузопотоки тарно-штучных и скоропортящихся по Санкт-Петербургу, Северо-Западному и другим регионам России).

В общем случае последовательность выполнения технологических операций с составом блок-трейна за время его оборота иллюстрирует рис. 7.

Существующая технология работы КТ следующая. Формирование состава блок-поезда, таможенное оформление, погрузка контейнеров осуществляются на путях КТ. Прием груза к перевозке, проверка правильности размещения контейнеров на фитинговых платформах производятся также на путях КТ приемосдатчиком станции. Продолжительность операций по обработке контейнерного блок-поезда на путях терминала «Предпортовый» ООО «Модуль» в среднем составляет порядка 410 мин (рис. 8).

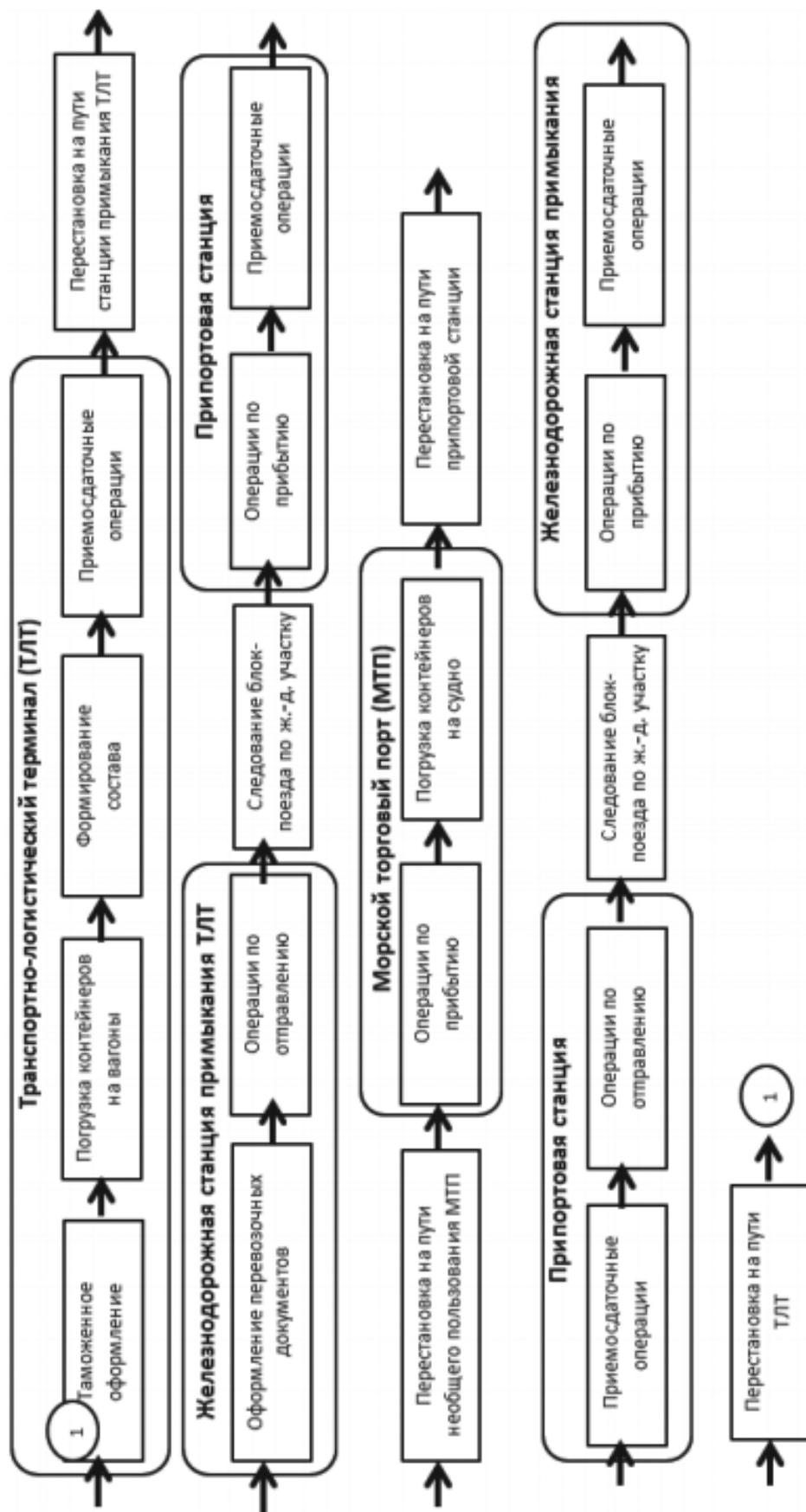


Рис. 7. Последовательность выполнения технологических операций с составом блок-трейна за время его оборота (КТ выступает в качестве ТЛТ)

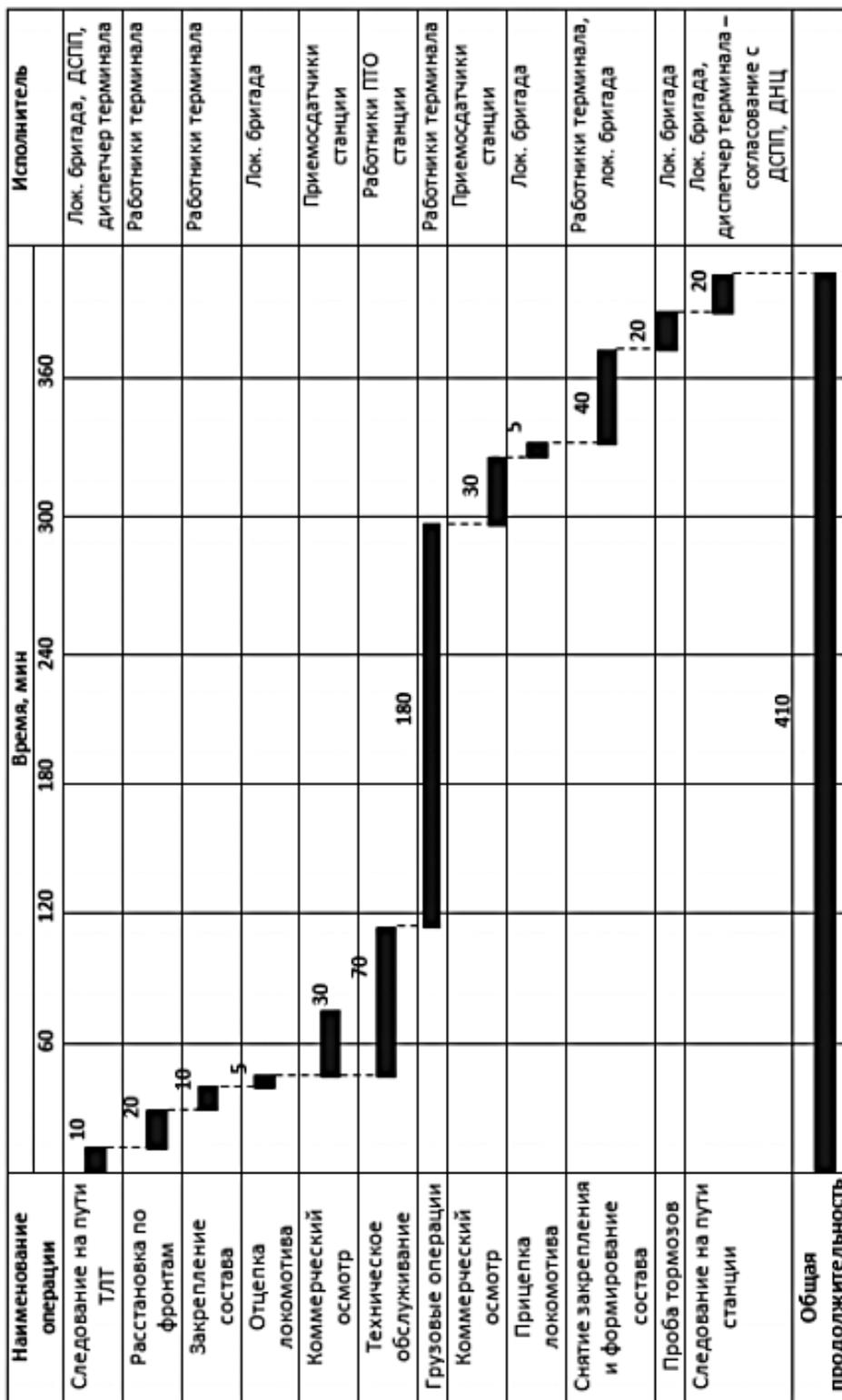


Рис. 8. Технологический график обработки состава блок-трейна на путях КТ:  
 ДСПП – дежурный по парку; ДНЦ – поездной диспетчер; ПТО – пункт технического обслуживания вагонов

| Наименование операции   | Время, мин |     |     | Исполнитель                       |
|---|------------|-----|-----|-----------------------------------|
|   | 60         | 120 | 180 |                                   |
| Закрепление состава   | 20         |     |     | ДСПП                              |
| Отцепка маневрового локомотива  | 5          |     |     | Лок. бригада                      |
| Ограждение состава  | 20         |     |     | Сигналист, ДСПП                   |
| Техническое обслуживание  | 70         |     |     | Работники ПТО                     |
| Списывание состава с натуры, подбор документов, оформление натурального листа | 40         |     |     | ДСПП                              |
| Прицепка поездного локомотива   |            | 5   |     | Лок. бригада                      |
| Зарядка тормозной магистрали  |            | 10  |     | Лок. бригада                      |
| Полное опробование тормозов, снятие закрепления                               |            | 25  |     | Лок. бригада, работники ПТО, ДСПП |
| Вручение комплекта документов локомотивной бригаде и отправление поезда       |            |     | 10  | ДСПП                              |
| <b>Общая продолжительность</b>  | <b>165</b> |     |     |                                   |

Рис. 9. Технологический график обработки состава блок-трейна по отправлению со станции примыкания КТ

Вывод состава на приемоотправочный путь станции осуществляется не позднее чем за час до планируемого прибытия поездного локомотива. Техническое обслуживание производится осмотрщиками вагонов на путях станции. По прибытии на станцию поездной локомотив заезжает под состав контейнерного поезда, сцепляется с ним, объединяются тормозные магистрали, проводится опробование тормозов. Поезд отправляется по расписанию на припортовую станцию, где вагоны подаются (после обработки состава по прибытию) на пути Порта. Продолжительность операций на путях станции примыкания КТ – около 165 мин (рис. 9).

На припортовую станцию прибывает уже готовая для перегрузки на судно судовая партия контейнеров. В результате снижается простой на путях припортовой станции, минимизируется маневровая работа по подаче состава в порт. Следование блок-поезда по заранее известному расписанию позволяет спланировать работу станции во взаимодействии с портом (рис. 10).

Для повышения надежности организации движения блок-поездов по твердому графику установлена возможность оптимизации продолжительности основных элементов цикла работы состава на основе статистических исследований

| Наименование операции   | До прибытия поезда | Время, мин            |     | Исполнитель  |
|---|--------------------|-----------------------|-----|--|
|   |                    | После прибытия поезда |     |  |
|   |                    | 60                    | 120 |  |
| Получение информации о прибывающем поезде, информирование причастных работников | 15                 |                       |     | ДСП, маневровый диспетчер, приемосдатчики, работники ПТО |
| Прием перевозочных документов   | 5                  |                       |     | Оператор СТЦ   |
| Сосрбка документов с НЛ поезда  | 20                 |                       |     | Составитель  |
| Закрепление состава   | 10                 |                       |     | Лок. бригада   |
| Отцепка поездного локомотива  | 5                  | 20                    |     | Работники ПТО  |
| Ограждение состава  |                    |                       |     | Работники ПТО  |
| Техническое обслуживание и нанесение меловой разметки (при необходимости)       |                    |                       | 97  | Работники ПТО  |
| Коммерческий осмотр и сверка НЛ с составом поезда                               |                    |                       | 105 | Приемосдатчики   |
| Снятие ограждения   |                    | 152                   | 20  | Работники ПТО  |
| <b>Общая продолжительность</b>  |                    |                       |     |  |

Рис. 10. Технологический график обработки состава блок-трейна по прибытию на припортовую станцию:  
 НЛ – натурный лист поезда; СТЦ – станционный технологический центр;  
 ДСП – дежурный по станции

и обработки их результатов с использованием математических методов.

### Анализ потенциала логистических цепей с применением блок-трейнов

Существенная часть грузопотоков, проходящих через Петербург, – из Финляндии (или из Европы через Финляндию). Если в настоящее время перевозки из Финляндии в Россию и в обратном направлении составляют около 7 млн т в год, то, согласно прогнозам европейских экспертов, к 2025 г. они могут достигнуть 10 млн т

в год (многое будет зависеть от развития перевозок по Транссибирской магистрали).

Следует отметить также, что через Санкт-Петербургский железнодорожный узел идет большая часть грузопотоков в Россию, в Москву, в другие регионы, а также в страны СНГ и на Дальний Восток. Эти грузопотоки за последние годы стабильно увеличиваются и по прогнозам европейских и отечественных экспертов будут возрастать с интенсивностью 7–10% в год (по разным грузам и различным направлениям перевозок). Эти грузопотоки связывают страны Европейского Союза со странами Азии и Дальнего Востока (например, транзитные перевоз-

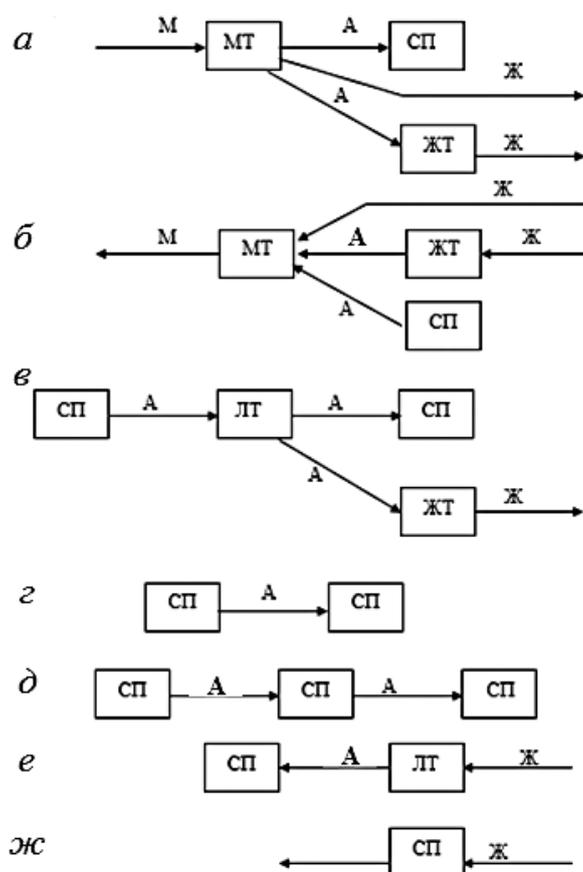


Рис. 11. Варианты логистических цепей доставки грузов для Санкт-Петербургского транспортного узла: импортные грузы (*а*), экспортные грузы (*б*), готовая продукция Санкт-петербургских предприятий (*в–д*), материалы и комплектующие изделия (*е, ж*) [10]: склады: СП – предприятий, МТ – морского терминала, ЛТ – логистического терминала, ЖТ – железнодорожного терминала; транспорт: Ж – железнодорожный, А – автомобильный, М – морской

ки по 9-му транспортному коридору, а также по транспортному коридору «Север–Юг», начало которого также проходит через рассматриваемый узел).

Учеными Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I установлено, что потенциальная емкость рынка для терминалов, перерабатывающих только контейнерные грузы, по Санкт-Петербургскому транспортному узлу к 2025 г. может составить порядка 120 млн долл. в год. При этом варианты «включения» в сложившиеся и вновь формируемые логистические цепи в условиях пандемии и переориентации грузопотоков могут быть различными.

Варианты организации логистических цепей доставки грузов, потенциально пригодных к перевозке в блок-трейках и иных специализированных и ускоренных поездах, в Санкт-Петербургском транспортном узле, представлены на рис. 11.

## Заключение

Для привлечения транзитных грузопотоков и дальнейшего развития международных транспортных коридоров, проходящих через Санкт-Петербургский транспортный узел, преж-

де всего на направлении «Восток–Запад», необходимо формирование сети КТ с многофункциональной логистикой, что позволит расширить перечень направлений доставки с использованием блок-трейнов, сформировать конкурентоспособные сквозные тарифные ставки, переориентировать с автотранспорта высокодоходные грузопотоки на железные дороги, а также организовать взаимодействие с европейскими и китайскими интермодальными и стивидорными операторами по слотированию мест и продления направлений движения блок-трейнов, контейнерных, ускоренных и специализированных поездов.

Для исключения неэффективного использования приемоотправочных путей припортовых станций, имеющих унифицированную полезную длину, и простоя составов «блок-трейн» из 30–40 вагонов необходимо, чтобы эти поезда транзитом следовали через станцию на погрузочно-выгрузочный фронт Порта, где с ними выполнялись бы коммерческий осмотр и погрузочно-выгрузочные операции.

С учетом потребительского спроса представляется целесообразным рассмотреть варианты пропуска по узлу поездов «блок-трейн» между станциями Шушары, Купчинская, Предпортовая на портовые станции, а также ускоренных контейнерных поездов.

В результате поэтапного развития терминальных мощностей в Санкт-Петербургском транспортном узле с учетом изменений объемов перевозок, а также внедрения технологии «блок-трейн» по связям «морской порт – тыловой терминал» грузоотправители получают возможность надежной ускоренной доставки широкой номенклатуры контейнеропригодных товаров с применением современных интермодальных технологий, экспедиторы и операторы контейнерных перевозок – увеличение спроса на свои услуги, зарубежные партнеры – диверсификацию схем доставки товаров железнодорожным транспортом.

В свою очередь, это повысит степень контейнеризации товаропотоков и объемов транзитных контейнерных перевозок как важного вида

несырьевого экспорта с высокой добавленной стоимостью.

## Библиографический список

1. Концепция по развитию железнодорожной инфраструктуры в целях организации пригородных и внутригородских пассажирских перевозок в Санкт-Петербургском железнодорожном узле. – М. : ОАО «РЖД», 2019. – 105 с.
2. Rodrigue J.-P. The geography of transport systems. Ch. 5. International trade and freight distribution. – 3 ed. / J.-P. Rodrigue. – New York : Routledge, 2013. – 416 p.
3. Notteboom T. Inland terminals within North American and European supply chains / T. Notteboom, J.-P. Rodrigue // *Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific*. – 2009. – N 78. – P. 1–39.
4. Белозеров В. Л. Пути ликвидации «пробок» на подходах к морским и речным портам / В. Л. Белозеров, А. М. Тюфаев, И. В. Серяпова, П. В. Куренков // *Экономика железных дорог*. – 2005. – № 8. – С. 76–83.
5. Куренков П. В. Логистика международных интермодальных грузовых перевозок / П. В. Куренков, А. А. Сафронова, Д. Г. Кахриманова // *Логистика*. – 2018. – № 3 (136). – С. 24–27.
6. Балалаев А. С. Пути повышения эффективности взаимодействия железнодорожного и морского транспорта / А. С. Балалаев, П. В. Куренков // *Экономика железных дорог*. – 2010. – № 10. – С. 72.
7. Куренков П. В. Синхромодальные перевозки и тримодальные терминалы как перспективные направления развития логистических технологий / П. В. Куренков, Д. А. Преображенский, А. В. Астафьев, Д. Г. Кахриманова, С. А. Волкова // *Транспорт : наука, техника, управление*. – 2018. – № 11. – С. 13–17.
8. Маликов О. Б. Грузовые терминалы в системе организации поездопотоков / О. Б. Маликов // *Железнодорожный транспорт*. – 2011. – № 9. – С. 74–76.
9. Маликов О. Б. Контейнерные терминалы : устройство, оборудование, проектирование, исследование / О. Б. Маликов. – Саарбрюкен, Германия: Lambert Academic Publ., 2014. – 257 с.

10. Маликов О. Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок / О. Б. Маликов. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – 536 с.
11. Рыбин П. К. Маневровое обслуживание морских портов и его влияние на путевое развитие портовых станций : автореф. дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / П. К. Рыбин. – СПб. : ПГУПС, 2003. – 26 с.
12. Комовкина Н. С. Обоснование размещения в железнодорожных узлах станций, обслуживающих крупные морские порты : автореф. дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.08 / Н. С. Комовкина. – СПб. : ПГУПС, 2013. – 20 с.
13. Шубко В. Г. Железнодорожные станции и узлы / В. Г. Шубко, Н. В. Правдин, Е. В. Архангельский, В. Я. Болотный, В. А. Бураков, С. П. Вакуленко, В. А. Персианов ; под ред. В. Г. Шубко, Н. В. Правдина. – М. : МПС РФ, 2002. – 368 с.
14. Правдин Н. В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н. В. Правдин, С. П. Вакуленко, А. К. Головнич и др. ; под ред. Н. В. Правдина, С. П. Вакуленко. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2012. – 1086 с.
15. Числов О. Н. Теоретические основы рационального размещения элементов железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем : дис. д-ра техн. наук, специальность : 05.22.01 / О. Н. Числов. – М. : РУТ-МИИТ, 2009. – 368 с.
16. Мохонько В. П. Ситуационное управление перевозочным процессом / В. П. Мохонько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Транспорт : наука, техника, управление : сб. ОИ/ВИНИТИ. – 2004. – № 11. – С. 14–16.
17. Покровская О. Д. Вопросы логистической иерархии железнодорожных объектов / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Вып. 4 (49). – С. 521–531.
18. Покровская О. Д. О терминологии объектов терминально-складской инфраструктуры / О. Д. Покровская // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1 (74). – С. 152–163.
19. Покровская О. Д. Терминалистика – организация и управление в транспортных узлах / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Вып. 4 (49). – С. 509–520.
20. Титова Т. С. Междисциплинарное положение теории терминалистики / Т. С. Титова, О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2018. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 248–260.

Дата поступления: 29.01.2021

Решение о публикации: 01.02.2021

**Контактная информация:**

ПОКРОВСКАЯ Оксана Дмитриевна – д-р техн. наук, проф.; [insight1986@inbox.ru](mailto:insight1986@inbox.ru)

## Special features of block trains and container trains promotion in the terminal network of the Saint Petersburg hub<sup>1</sup>

O. D. Pokrovskaya

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Pokrovskaya O. D. Special features of block trains and container trains promotion in the terminal network of the Saint Petersburg hub. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 34–51. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-34-51

### Summary

**Objective:** To analyze special features of block trains and container trains promotion in the terminal network of the Saint Petersburg hub, in the environment of the discussed transport hub. **Methods:** The means and methods of the theory of warehouse systems developed by O. B. Malikov, general systems theory, system and economic analysis, logistics, and railways operational management have been applied. **Results:** It has been established that in order to attract transit cargo flows and further develop international transport corridors passing through the Saint Petersburg hub, primarily East–West directions, it is necessary to create a network of container terminals with flexible logistics. This solution will expand the range of delivery areas using block trains, form competitive through rates, reorient highly profitable freight traffic from road transport to railways, as well as organize interaction with European and Chinese intermodal and stevedore slotting operators and expand the operation areas block trains, container trains, express and specialized trains. **Practical importance:** The results obtained can be applied in the implementation of the Saint Petersburg transport hub development concept, in the design of railway hub individual elements and units, as well as in the servicing optimization of the seaport and terminal infrastructure.

**Keywords:** Terminal network, terminal and warehouse infrastructure, container terminal, transport hub, block-train technology, customer focus, promotion of container trains.

### References

1. *Kontsepsiya po razvitiyu zheleznodorozhnoy infrastruktury v tselyakh organizatsii prigorodnykh i vnutrigorodskikh passazhirskikh perevozok v Sankt-Peterburgskom zheleznodorozhnom uzle* [Railway infrastructure development concept for organizing suburban and intracity passenger traffic in the Saint Petersburg railway hub]. Moscow, JSC Russian Railways Publ., 2019, 105 p. (In Russian)
2. Rodrigue J.-P. *The geography of transport systems. Ch. 5. International trade and freight distribution*. 3 ed. New York, Routledge Publ., 2013, 416 p.
3. Notteboom T. & Rodrigue J.-P. Inland terminals within North American and European supply chains. *Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific*, 2009, no. 78, pp. 1–39.
4. Belozеров V. L., Tyufayev A. M., Seryapova I. V. & Kurenkov P. V. Puti likvidatsii “probok” na podkhodakh k morskim i rechnym portam [Ways of eliminating ‘traffic jams’ on the approaches to sea and river ports]. *Ekonomika zheleznnykh dorog* [Railway Economy], 2005, no. 8, pp. 76–83. (In Russian)
5. Kurenkov P. V., Safronova A. A. & Kakhrimanova D. G. Logistika mezhdunarodnykh intermodal’nykh gruzovykh perevozok [Logistics of international inter-

<sup>1</sup> The study was carried out within the framework of a grant given by JSC Russian Railways for young scientists to conduct scientific research aimed at creating new equipment and technology for the railway transport, 2020.

- modal freight transport]. *Logistika [Logistics]*, 2018, no. 3, pp. 24–27. (In Russian)
6. Balalaev A. S. & Kurenkov P. V. Puti povysheniya effektivnosti vzaimodeystviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta [Ways to improve the railway and sea transport interaction]. *Ekonomika zheleznykh dorog [Railway Economy]*, 2010, no. 10, p. 72. (In Russian)
7. Kurenkov P. V., Preobrazhenskiy D. A., Astaf'yev A. V., Kakhriyanova D. G. & Volkova S. A. Sinkhromodal'nyye perevozki i trimodal'nyye terminaly kak perspektivnyye napravleniya razvitiya logisticheskikh tekhnologiy [Synchromodal transportation and trimodal terminals as perspective directions for the development of logistics technologies]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye [Transport: science, technology, management]*, 2018, no. 11, pp. 13–17. (In Russian)
8. Malikov O. B. Gruzovyye terminaly v sisteme organizatsii poyezdopotov [Cargo terminals in the system of train flows]. *Zheleznodorozhnyy transport [The Railway Transport Magazine]*, 2011, no. 9, pp. 74–76. (In Russian)
9. Malikov O. B. *Konteynernyye terminaly: ustroystvo, oborudovaniye, proyektirovaniye, issledovaniya [Container terminals: arrangement, equipment, design, research]*. Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publ., 2014, 257 p. (In Russian)
10. Malikov O. B. *Perevozki i skladirovaniye tovarov v tsepyakh postavok [Transportation and warehousing of goods in the supply chains]*. Moscow, Training and Methodology Centre for Railway Transport Publ., 2014, 536 p. (In Russian)
11. Rybin P. K. *Manevrovoye obsluzhivaniye morskikh portov i ego vliyaniye na putevoye razvitiye portovykh stantsiy*. Avtoref. dis. na soiskan. uchen. stepeni kand. tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.08 [Shunting service of seaports and its impact on the port stations track arrangement. Abstract of the dis. for scientist degree of PhD in Engineering, speciality: 05.22.08]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2003, 26 p. (In Russian)
12. Komovkina N. C. *Obosnovaniye razmeshcheniya v zheleznodorozhnykh uzlakh stantsiy, obsluzhivayushchikh krupnyye morskoye porty*. Avtoref. dis. na soiskan. uchen. stepeni kand. tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.08 [Substantiation of the arrangement of stations in railway junctions serving large seaports. Abstract of the dis. for scientist degree of PhD in Engineering, speciality: 05.22.08]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2013, 20 p. (In Russian)
13. Shubko V. G., Pravdin N. V., Arkhangel'skiy E. V., Bolotnyy V. Ya., Burakov V. A., Vakulenko S. P. & Persianov V. A. *Zheleznodorozhnyye stantsii i uzly [Railway stations and junctions]*. Eds by V. G. Shubko, N. V. Pravdin. Moscow, RF Ministry of Transport Publ., 2002, 368 p. (In Russian)
14. Pravdin N. V., Vakulenko S. P., Golovnich A. K. et al. *Proyektirovaniye infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta (stantsii, zheleznodorozhnyye i transportnyye uzly) [Designing the railway transport infrastructure (stations, railway and transport hubs)]*. Eds by N. V. Pravdin, S. P. Vakulenko. Moscow, Training and Methodology Centre for Railway Transport Publ., 2012, 1086 p. (In Russian)
15. Chislov O. N. *Teoreticheskiye osnovy ratsional'nogo razmeshcheniya elementov zheleznodorozhnykh promyshlennykh transportno-tekhnologicheskikh sistem*. Dis. ... dokt. tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.01 [Theoretical foundations of the rational arrangement of railway industrial transport and technological systems elements. Thesis of D. Sci. in Engineering, speciality: 05.22.01]. Moscow, RUT-MIIT [Russian University of Transport] Publ., 2009, 368 p. (In Russian)
16. Mokhon'ko V. P., Isakov V. S. & Kurenkov P. V. *Situatsionnoye upravleniye perezozhnyim protsessom [Situational management of the transportation process]*. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*. Sb. OI/VINITI [Transport: science, equipment, management. Collected volume of OI/VINITI (Russian Institute for Scientific and Technical Information)], 2004, no. 11, pp. 14–16. (In Russian)
17. Pokrovskaya O. D. & Malikov O. B. *Voprosy logisticheskoy iyerarkhii zheleznodorozhnykh ob'yektov [Concerning the logistics hierarchy of railway facilities]*. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia [Proceedings of Petersburg Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, iss. 4 (49), pp. 521–531. (In Russian)
18. Pokrovskaya O. D. *O terminologii ob'yektov terminal'no-skladskoy infrastruktury [On the terminology of terminal and warehouse infrastructure facilities]*.

*Mir transporta* [*The world of transport*], 2018, vol. 16, no. 1 (74), pp. 152–163. (In Russian)

19. Pokrovskaya O. D. & Korovyakovskiy E. K. Terminalistika – organizatsiya i upravleniye v transportnykh uzлах [Terminalistics – administration and management at transport hubs]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia* [*Proceedings of Petersburg Transport University*]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, iss. 4 (49), pp. 509–520. (In Russian)

20. Titova T. S. & Pokrovskaya O. D. Mezhdistsiplinarnoye polozheniye teorii terminalistiki [Interdisci-

plinary position of the theory of terminalistics]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia* [*Proceedings of Petersburg Transport University*]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, vol. 15, iss. 2, pp. 248–260. (In Russian)

Received: January 29, 2021

Accepted: February 01, 2021

**Author's information:**

Oksana D. POKROVSKAYA – D. Sci. in Engineering, Associate Professor; insight1986@inbox.ru

УДК 625.03

## Оценка износа колес грузовых вагонов при существующих нормативах выпуска трехэлементных тележек с осевой нагрузкой 23,5 тс из ремонта

А. В. Саидова<sup>1</sup>, В. И. Федорова<sup>1</sup>, Ю. Б. Житков<sup>1</sup>, И. В. Федоров<sup>1</sup>, А. Н. Гришаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> ПАО «Первая грузовая компания», Российская Федерация, 105066, Москва, ул. Новорязанская, 24

**Для цитирования:** Саидова А. В., Федорова В. И., Житков Ю. Б., Федоров И. В., Гришаев А. Н. Оценка износа колес грузовых вагонов при существующих нормативах выпуска трехэлементных тележек с осевой нагрузкой 23,5 тс из ремонта // Известия Петербургского университета путей сообщения – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. Вып. 1. – С. 52–61.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-52-61

### Аннотация

**Цель:** Оценить влияние размеров и допусков трехэлементных тележек грузовых вагонов с максимальной статической осевой нагрузкой 23,5 тс при их выпуске из плановых видов ремонта на износ гребней колес в эксплуатации. **Методы:** Для этой цели на основании обзора и анализа литературы в области изнашивания системы «колесо–рельс» и актуальных требований руководящих документов по ремонту грузовых вагонов и их деталей сформированы расчетные случаи для моделирования движения железнодорожного экипажа по пути различной конструкции с эксплуатационными скоростями и исследованы процессы изнашивания гребней колес с помощью имитационного компьютерного моделирования в среде программного комплекса «Универсальный механизм». **Результаты:** Определены параметры тележек грузовых вагонов, оказывающие наибольшее влияние на износ колес, а также количественные значения показателей износа колес для разных случаев движения экипажа. Показаны пути снижения износа колес вагонов в эксплуатации за счет изменения размеров и допусков тележек при их выпуске из плановых видов ремонта. **Практическая значимость:** Полученные результаты работы, выполненной по заказу ПАО «Первая грузовая компания», в настоящее время используются для формирования требований к размерам и допускам тележек при их выпуске из ремонта для установления оптимальных параметров, которые способствовали бы снижению износа гребней колес в эксплуатации. Кроме того, они могут быть применены при разработке новых конструкций ходовых частей грузовых вагонов.

**Ключевые слова:** Износ колес, трехэлементная тележка, ремонт тележек, моделирование движения вагона, перекос колесных пар.

### Введение

В настоящее время более половины внеплановых отцепок грузовых вагонов на сети железных дорог России происходит по причине износа гребней колес в колесной паре. При этом 90 % вагонов, находящихся в эксплуатации, со-

ставляют вагоны на тележках тип 2 по ГОСТ 9246–2013 [1] (всего вагонов в эксплуатации 1 184,2 тыс. ед.).

Износ колес железнодорожных экипажей зависит от большого количества факторов (конструкционных, эксплуатационных и т. д.), в том числе от параметров сборки тележек при

их выпуске из ремонта. Ремонт тележек тип 2 по ГОСТ 9246–2013 осуществляется в соответствии с требованиями РД 32 ЦВ 052–2009 «Ремонт тележек грузовых вагонов с бесконтактными скользунками» (далее – Руководство) [2], поэтому при формировании расчетных вариаций для оценки влияния параметров тележки на износ колес необходимо учитывать содержание требований Руководства.

### **Формирование расчетных случаев для исследования влияния параметров тележки при ее выпуске из ремонта на износ гребней колес**

Для формирования расчетных случаев на первом этапе производился обзор и анализ литературы [3–10]. По их результатам были выделены факторы, которые в наибольшей степени влияют на показатели износов в системе колесо–рельс (перечислены в порядке убывания степени влияния) – разность диаметров колес в одной колесной паре, профиль колеса, перекос осей тележки, разность баз боковых рам, продольный зазор в буксовом узле, положение фрикционного клина, поперечный зазор в буксовом узле.

На втором этапе работ с учетом требований Руководства для исследования предложены следующие расчетные вариации:

- первая – разность диаметров колес по кругу катания между колесами первой и второй колесных пар тележки может варьироваться в диапазоне от 6 до 20 мм, разность диаметров колес в одной колесной паре – в диапазоне от 0,5 до 1,0 мм в зависимости от типа подвижного состава;

- вторая – исследовать сочетание профилей колес в тележке: в первой колесной паре профили соответствуют новым, во второй – ремонтным с максимальным прокатом (до 7 мм) и минимальной толщиной гребня (от 26 мм), величины которых устанавливаются в зависимости от типа ремонта;

- третья – рассмотреть перекошенное положение колесных пар в тележке в пределах величин продольных зазоров в буксовых узлах до  $\pm 7$  мм, описать положение колесных пар трапецией и параллелограммом. Дополнительно в качестве способствующего образованию перекоса фактора оценить влияние занижения расположенных по диагонали клиньев относительно нижней опорной поверхности надрессорной балки на величину до 12 мм;

- четвертая – проанализировать влияние размеров подпятника надрессорной балки тележки при различной степени износа его упорной поверхности (максимальная величина износа – 10 мм). Дополнительно произвести оценку влияния смазки подпятникового места графитовой смазкой (коэффициент трения в узле пятник–подпятник должен лежать в пределах от 0,05 до 0,25);

- пятая – исследовать влияние величины зазоров между скользунками тележки и рамой вагона в диапазоне от 0 до 8 мм.

### **Разработка компьютерной модели движения вагона**

Моделирование движения вагона по прямым и кривым участкам пути и расчет показателей износа колес осуществлялись с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» [11, 12].

Для исследования выбран универсальный полувагон с базой 8,65 м и статической осевой нагрузкой 23,5 тс (230,5 кН) (вагон загружен до полной грузоподъемности). В качестве ходовой части вагона рассматривалась тележка модели 18-100. Подробное описание модели представлено в [13].

Контактное взаимодействие между колесом и рельсом описано с помощью алгоритма FAST-SIM (алгоритм решения касательной задачи контакта), основанного на линейной теории сил крипа, предложенной Калкером. Коэффициент трения колесо–рельс в области поверхности катания принимался равным 0,25, на гребне – 0,3.

В качестве показателя оценки влияния параметров тележки на износ колес использовалась работа сил трения в контакте колеса с рельсом.

При моделировании движение вагона осуществлялось с эксплуатационными скоростями (от 40 до 80 км/ч) по прямому и криволинейным участкам пути. Криволинейными участками служили конструкции пути со средним радиусом 600 м и малым радиусом 310 м в соответствии с предложенными в [14, 15] репрезентативными участками, характеризующими нормальные условия эксплуатации.

### Результаты оценки влияния разности диаметров и профилей колес

Сначала производилось сравнение работы сил трения в контакте колес с рельсами для двух расчетных случаев: диаметры всех колес в вагоне составляли 950 мм/930 мм соответственно. Сравнение результатов расчетов показало, что суммарная работа сил трения при движении вагона с диаметром колес 950 и 930 мм отличается не более чем на 14%: разность значений работы при скорости 80 км/ч на поверхности

катания колеса достигает 2%, на гребне – 14%. При скоростях движения вагона ниже 80 км/ч она не превышает 1%.

На следующем этапе было оценено влияние различных сочетаний диаметров колес в первой и второй по ходу движения колесных парах тележки в диапазоне разницы от 6 до 20 мм.

В табл. 1 приведены результаты расчета работы сил трения для данных сочетаний в сравнении с первым эталонным случаем, когда все колеса вагона имели диаметр 950 мм (результаты приведены для колес левой стороны вагона). Из них видно, что при средней ходовой скорости движения поездов по сети дорог РФ (50 км/ч) ограничение разницы диаметров колес в соседних колесных парах не приведет к существенному снижению износа гребней колес (изменение разницы от 6 до 20 мм несущественно, до 2%, влияет на работу сил трения в контакте колес с рельсами).

При оценке влияния профилей колес рассмотрены комбинации, когда все колеса вагона имеют ремонтные профили с толщиной гребня 30 мм/27 мм; в набегающих колесных парах толщина гребня колеса составляет 33–27 мм, в ненабегающих – 27–33 мм. Диаметр колес во всех расчетных случаях составлял 950 мм.

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчетов суммарной работы сил трения в контакте колес с рельсами для разных случаев диаметров колес

| Скорость движения, км/ч                | Работа сил трения, кДж |       | Разница результатов расчетов, % | Работа сил трения, кДж, для С2 | Разница результатов расчетов, % | Работа сил трения, кДж, для С3 | Разница результатов расчетов, % |
|--|------------------------|-------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|  | Э                      | С1    |                                 |                                |                                 |                                |                                 |
| <i>Зона поверхности катания колеса</i> |                        |       |                                 |                                |                                 |                                |                                 |
| 40                                     | 6,91                   | 6,84  | –1,00                           | 6,91                           | +0,10                           | 6,87                           | –0,49                           |
| 60                                     | 7,36                   | 7,46  | +1,33                           | 7,43                           | +0,98                           | 7,36                           | –0,01                           |
| 80                                     | 7,66                   | 7,69  | +0,34                           | 7,63                           | –0,42                           | 7,72                           | +0,82                           |
| <i>Зона гребня колеса</i>              |                        |       |                                 |                                |                                 |                                |                                 |
| 40                                     | 13,37                  | 13,27 | –0,79                           | 13,24                          | –0,99                           | 13,24                          | –1,02                           |
| 60                                     | 16,68                  | 16,61 | –0,42                           | 16,38                          | –1,80                           | 16,45                          | –1,38                           |
| 80                                     | 17,56                  | 19,40 | +10,48                          | 20,03                          | +14,08                          | 18,98                          | +8,10                           |

Примечание: Э – эталонный расчет; С1, С2, С3 – расчетные случаи 1, 2, 3 с разницей диаметров колес в первой и второй колесных парах тележки 6, 12 и 20 мм соответственно.

Анализ результатов расчета комбинаций профилей колес с разной толщиной гребня показывает, что ситуация, когда в вагоне в набегающих колесных парах установлены колеса с толщиной гребней 33 мм (новый профиль), а в ненабегающих – с толщиной гребней от 30 до 27 мм (ремонтные профили), способствует увеличению до 20 % износа гребней колес, расположенных в первой и третьей колесных парах.

Благоприятным условием эксплуатации будет являться тот случай, когда в набегающих колесных парах установлены колеса с толщиной гребня меньше, чем в колесах ненабегающих колесных пар (снижение износа на гребне колеса набегающей пары до 15 раз при разнице в толщинах гребней соседних колесных пар 6 мм). На ненабегающей колесной паре наблюдается ожидаемый рост работы сил трения (в 4–17 раз) с увеличением толщины гребня колеса от 27 до 33 мм.

Обнаруженный при компьютерном моделировании эффект сложно реализуем в эксплуатации, поскольку направление движения экипажа изменяется и одна колесная пара является набегающей в одном случае и ненабегающей в другом. Однако в качестве меры по снижению износа гребней колес может быть введено ограничение разницы толщин гребней колес в вагоне до 3 мм при выпуске из плановых видов ремонта для устранения эффекта возможного максимального износа колес набегающих колесных пар в случае разницы толщин гребней колес между двумя колесными парами тележки 6 мм.

В целом с увеличением износа гребней колес (и уменьшением их толщины с 33 до 27 мм) наблюдается снижение темпов износа колес в эксплуатации. Однако установление требования к выпуску тележек из ремонта с ограничением толщины гребней до 27 мм оставляет минимальный запас пробега до отцепки вагонов в текущий ремонт по неисправности «тонкий гребень». Поэтому при ремонте вагона при восстановлении профиля поверхности катания наиболее целесообразно обеспечивать толщину гребня 30 мм.

### Результаты оценки влияния перекоса колесных пар

На первом этапе исследования влияния перекошенного положения колесных пар в тележке на износ колес вагона при его движении по прямому и криволинейным участкам пути рассматривался случай установки колесных пар трапецией (рис. 1, *a*) и параллелограммом (рис. 1, *б*) в пределах максимального угла между ними 0,014 рад и суммарного зазора в буксовом узле 14 мм ( $\pm 7$  мм на сторону).

В табл. 2 представлены результаты расчета работы сил трения на поверхности катания и гребне колеса первой по ходу движения колесной пары при различных углах между колесными парами в тележке при трапециевидной расстановке для случая движения вагона в прямой (в этом участке пути наблюдается наибольшее

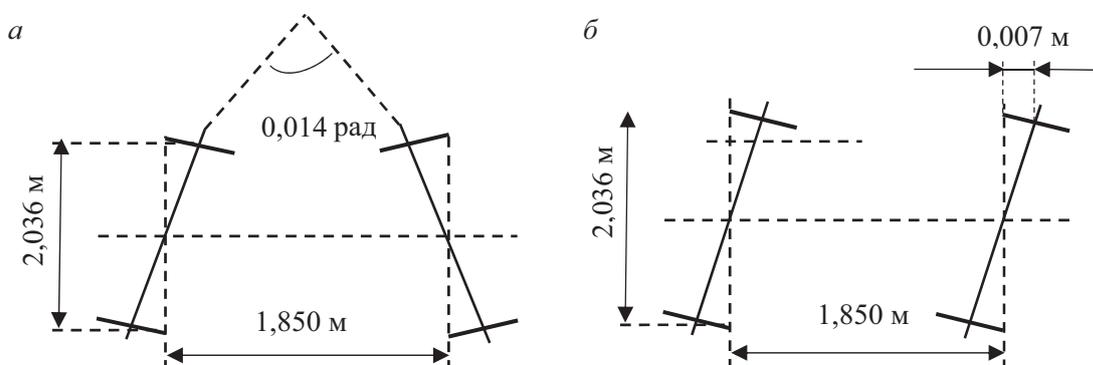


Рис. 1. Предельное перекошенное положение колесных пар в тележке с их установкой трапецией (*a*) и параллелограммом (*б*)

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчетов работы сил трения на колесе при установке колесных пар трапецией в тележке при различных углах их поворота

| Угол между колесными парами, рад | Работа сил трения, Дж, на   |         |         |         |         |         |
|----------------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | поверхности катания         |         |         | гребне  |         |         |
|                                  | при скорости движения, км/ч |         |         |         |         |         |
|                                  | 40                          | 60      | 80      | 40      | 60      | 80      |
| 0,000                            | 6921                        | 7472    | 7682    | 13 570  | 16 362  | 19 485  |
| 0,002                            | 16 076                      | 16 413  | 16 454  | 57 544  | 59 466  | 60 356  |
| 0,008                            | 87 786                      | 87 844  | 87 640  | 230 944 | 228 762 | 227 649 |
| 0,014                            | 148 738                     | 148 753 | 148 708 | 366 028 | 365 815 | 367 190 |

влияние перекоса колесных пар на износ колес – до 26 раз). В кривых влияние непараллельной установки колесных пар снижается (изменение работы сил трения до 3 раз).

Для случая установки колесных пар параллелограммом установлено, что при угле поворота пары до 8 мрад (что соответствует выбору суммарного продольного зазора в буксовом узле в 12–14 мм) работа сил трения на гребне колеса возрастает в среднем в 1,2–1,9 раз (в зависимости от участка пути) для набегающего колеса по сравнению с параллельной расстановкой колесных пар в тележке.

На втором этапе оценивалась степень влияния на износ колес перекошенного положения колесных пар в тележке, образуемого за счет диагонального занижения опорных поверхностей фрикционных клиньев относительно опорных поверхностей надрессорной балки. Анализ полученных результатов показал, что положение фрикционных клиньев оказывает несущественное влияние на работу сил трения на колесе (до 10%, рис. 2).

### Оценка влияния параметров узла пятник–подпятник и скользунов

При оценке влияния параметров узла пятник–подпятник на износ колес диаметр подпятника варьировался в пределах от 302 до 312 мм, а коэффициент трения на его поверхности – от 0,05 (соответствует наличию смазочного материала

на поверхности) до 0,25 (отсутствие смазки). Расчетами установлено, что наличие смазки в узле пятник–подпятник благоприятно сказывается на темпах износа колес вагона (снижение до 31%). Диаметральный зазор между пятником и подпятником в диапазоне от 2 до 10 мм практически не влияет на работу сил трения в контакте колес с рельсами (влияние до 3%).

При оценке влияния параметров скользунов вагона на износ колес рассматривались комбинации величин зазоров, когда все скользуны на вагоне установлены с зазорами 3 мм (с одного конца вагона суммарный зазор составляет 6 мм – минимально допустимый при выпуске вагона из ремонта), 5 и 8 мм (с одного конца вагона суммарный зазор составляет 16 мм – максимально допустимый при выпуске вагона из ремонта). Дополнительно имитировалось замыкание одного из скользунов.

Анализ результатов показал, что изменение величины зазоров в скользунах вагона от 3 до 8 мм, а также замыкание одного из них несущественно (в среднем до 10–13% в различных участках пути) влияют на работу сил трения на колесе (как на гребне, так и на поверхности катания). Наибольшее влияние наблюдается при скоростях движения свыше 60 км/ч.

### Заключение

Анализ результатов расчетов при варьировании параметров трехэлементной тележки тип 2

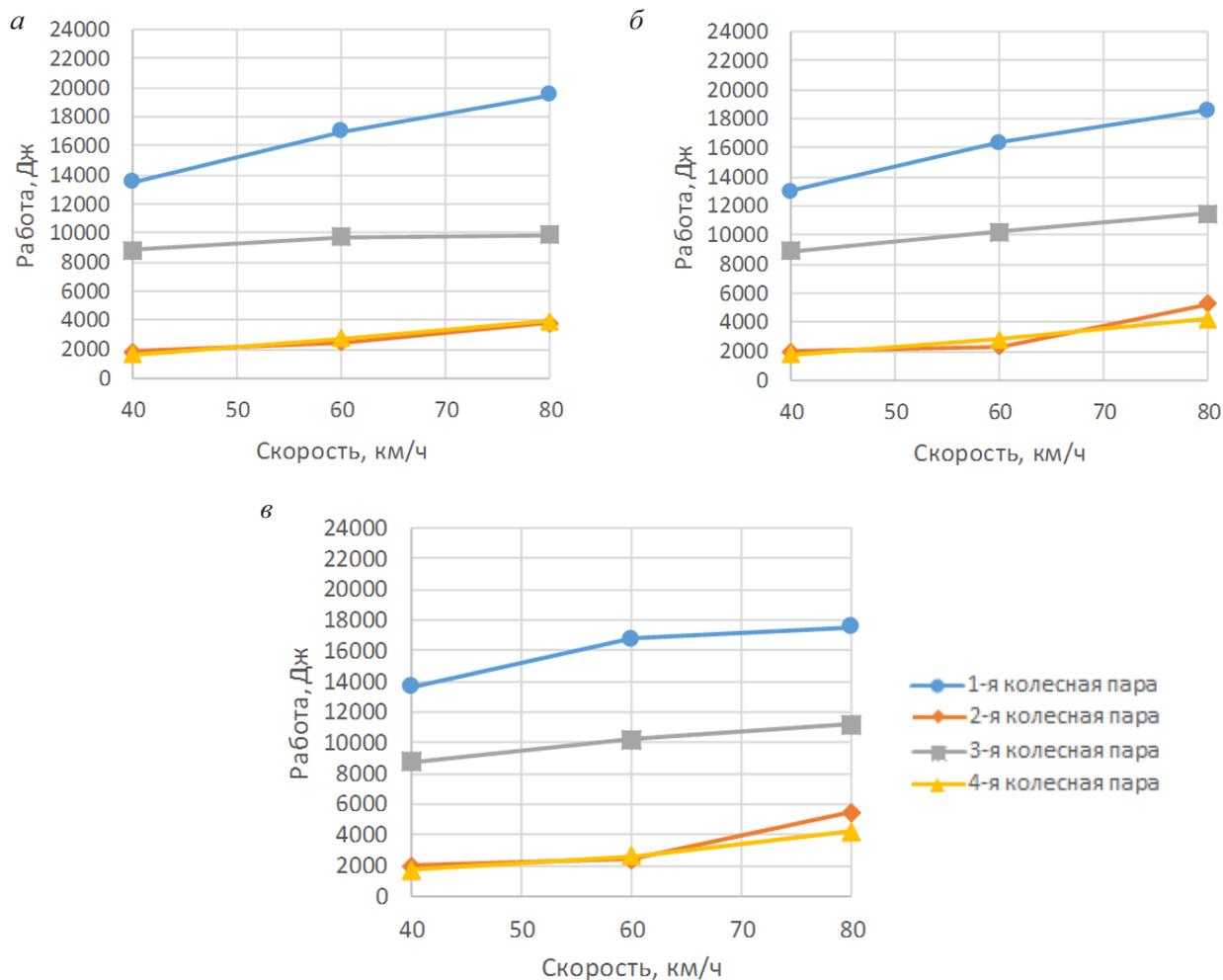


Рис. 2. Работа сил трения на гребне колеса в зависимости от скорости движения вагона в прямой для расчетных случаев:

*a* – все клинья занижены; *б* – опорные поверхности клиньев и балки совпадают;

*в* – клинья занижены по диагонали

ГОСТ 9246–2013 в пределах требований Руководства позволил определить, что наибольшее влияние на износ колес вагона оказывает установка колесных пар в тележке с перекосом (особенно трапециевидная расстановка) и может вызывать увеличение работы сил трения на колесе до 26 раз по сравнению со случаем параллельной расстановки колесных пар в тележке.

Влияние на износ колес вагона до 30% оказывают:

– толщина гребней колес и расположение колесных пар с ремонтными и неизношенным новым профилями колес в вагоне (набегающие/ненабегающие по ходу движения);

– наличие смазочного антифрикционного материала между подпятником надрессорной балки и пятником кузова вагона.

Разница диаметров колес в соседних колесных парах тележки оказывает влияние до 14% на износ гребней колес только при движении вагонов со скоростями не менее 80 км/ч (при меньших скоростях оно составляет до 2%).

Величина зазоров в скользунах вагона, их замыкание, положение фрикционного клина относительно опорной поверхности надрессорной балки оказывают незначительное (до 13%) влияние на темпы износов колес при движении как в прямых участках пути, так и в кривых.

Основное снижение износов колес вагона (гребней и поверхностей катания) в эксплуатации должно достигаться за счет устранения перекосов колесных пар в тележках, обусловленной существующей технологией сборки тележек после ремонта, а также за счет обеспечения их параллельной расстановки в процессе движения.

### Библиографический список

- ГОСТ 9246–2013. Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – М. : Стандинформ, 2014. – 50 с.
- РД 32 ЦВ 052–2009. Руководящий документ. Ремонт тележек грузовых вагонов с бесконтактными скользунами. – М. : Моркнига, 2021. – 85 с.
- Богданов В. М. Техническое состояние вагона и износ гребней колес / В. М. Богданов, И. Д. Козубенко, Ю. С. Ромен // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 8. – С. 23–25.
- Гончаров С. Е. Износ гребней колесных пар грузовых вагонов / С. Е. Гончаров // Вестн. ИПЕМ : Техника железных дорог. – 2017. – № 4 (40). – С. 32–37.
- Гончаров С. Е. Первоочередные меры по сокращению отцепок в ТОР по толщине гребня колесной пары / С. Е. Гончаров // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2017. – № 4 (52). – С. 31–32.
- Захаров С. М. Математическое моделирование влияния параметров пути и подвижного состава на процессы изнашивания колеса и рельса / С. М. Захаров, Ю. С. Ромен // Вестн. ВНИИЖТ. – 2010. – № 2. – С. 26–30.
- Захаров С. М. Анализ влияния параметров экипажей и пути на интенсивность износа в системе колесо–рельс на основе полного факторного эксперимента / С. М. Захаров, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симон // Вестн. ВНИИЖТ. – 2010. – № 2. – С. 31–35.
- Иванов Д. В. Влияние технического состояния ходовых частей грузовых вагонов на безопасность движения и износ в системе колесо–рельс : дис. ... канд. техн. наук, специальность : 05.22.07 / Д. В. Иванов. – М. : МГУПС, 2010. – 203 с.
- Лесничий В. С. Разработка направлений модернизации тележек 18-100 и ее аналогов для увеличения межремонтного пробега / В. С. Лесничий, Г. В. Левков, Е. И. Ткачук // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте подвижного состава РЖД : сб. трудов конференции. – СПб. : ПГУПС, 2016. – С. 56–69.
- Orlova A. The influence of the condition of three-piece freight bogies on wheel flange wear : simulation and operation monitoring / A. Orlova, Y. Boronenko // Vehicle System Dynamics. – 2010. – N 48. – Suppl. 1. – P. 37–53.
- Руководство пользователя программного комплекса «Универсальный механизм 8 “Моделирование динамики железнодорожных экипажей”». – <http://www.umlab.ru/pages/index.php?id=3> (дата обращения : 28.01.2021 г.).
- Воробьев А. А. Моделирование динамики подвижного состава / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко и др. // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2015. – № 21. – С. 24–30.
- Бороненко Ю. П. Разработка компьютерных моделей и проведение расчетов износа гребня колеса в грузовых вагонах на тележках типа 2 при существующих нормативах выпуска тележек из ремонта и с предлагаемыми изменениями. Подготовка рекомендаций по дополнительному контролю : Техническая справка АО «НВЦ «Вагоны» по теме № 27-20/АО-ДД-ТП-171/20 / Ю. П. Бороненко, А. В. Саидова, Ю. Б. Житков и др. – СПб. : ПГУПС, 2020. – 67 с.
- Орлова А. М. Разработка и назначение трех репрезентативных маршрутов движения (прямые, включающие в себя подъемы и спуски, кривые малого радиуса, кривые большого радиуса) подвижного состава, характерных для существующих региональных подразделений сети ОАО «РЖД» : отчет о НИР. – Ч. 2 / А. М. Орлова, А. А. Воробьев. – СПб. : ПГУПС, 2014. – 72 с.
- Воробьев А. А. Математическое моделирование параметров контакта колеса с рельсом для различных условий эксплуатации вагонов / А. А. Воробьев // Вестн. ИПЕМ : Техника железных дорог. – 2016. – № 1 (33). – С. 34–41.

Дата поступления: 04.02.2021

Решение о публикации: 11.02.2021

**Контактная информация:**

САИДОВА Алина Викторовна – канд. техн. наук;  
av-saidova@yandex.ru

ФЕДОРОВА Вероника Игоревна – канд. техн. наук;  
nika.veronika-fedorova@yandex.ru

ЖИТКОВ Юрий Борисович – канд. техн. наук;  
zhitkov-nvc@yandex.ru

ФЕДОРОВ Игорь Владимирович –  
fedorov281973@yandex.ru

ГРИШАЕВ Александр Николаевич –  
grishaevan@pgkweb.ru

## Assessment of the wear of wheels of freight cars under the existing standards for releasing three-piece bogies with an axle load of 23,5 tf from repair

A. V. Saidova<sup>1</sup>, V. I. Fedorova<sup>1</sup>, Yu. B. Zhitkov<sup>1</sup>, I. V. Fedorov<sup>1</sup>, A. N. Grishaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC “First Freight Company”, 24, Novoryazanskaya ul., Moscow, 105066, Russian Federation

**For citation:** Saidova A. V., Fedorova V. I., Zhitkov Yu. B., Fedorov I. V., Grishaev A. N. Assessment of the wear of wheels of freight cars under the existing standards for releasing three-piece bogies with an axle load of 23,5 tf from repair. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 52–61. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-52-61

### Summary

**Objective:** To assess the effect of the dimensions and tolerances of three-piece bogies of freight cars with a maximum static axle load of 23,5 tf when they are released from scheduled repair on the wheel flange wear in operation. **Methods:** For this purpose, drawing on a review and analysis of the literature in the field of wheel-rail system wear and the current requirements of guidelines for the repair of freight cars and their parts, design cases were formed to simulate a railway crew movement along a track of various designs with operating speeds, and the processes of wheel flange wear were studied using simulation computer modeling in the environment of the “Universal Mechanism” software package. **Results:** The parameters of freight car bogies which have the greatest impact on wheel wear have been determined. The quantitative values of the indicators of wheel wear for various cases of crew movement have been determined. The ways of reducing the wear of car wheels in operation by changing the dimensions and tolerances of bogies when they are released from scheduled types of repair are shown. **Practical importance:** The obtained results of the work commissioned by JSC “First Freight Company” are currently used to formulate requirements for the dimensions and tolerances of bogies when they are released from repair in order to establish the optimal parameters that would help to reduce the wheel flange wear in operation. In addition, they can be used in the developing new designs of freight car bogies.

**Keywords:** Wheel wear, three-piece bogie, bogie repair, wagon movement simulation, wheelset misalignment.

### References

1. GOST 9246–2013. *Telezhki dvukhosnyye trekhele-mentnyye gruzovykh vagonov zheleznykh dorog kolei*

*1520 mm. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Two-axle three-piece bogies for freight cars of 1520 mm track gauge railways. General technical conditions]*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 50 p. (In Russian)

2. RD 32 TSV 052–2009. *Rukovodyashchiy dokument. Remont telezhkek gruzovykh vagonov s beskontaktnymi skol'zunami* [RD 32 TsV 052–2009. *Guiding document. Repair of freight car bogies with contactless sideways*]. Moscow, Morkniga Publ., 2021, 85 p. (In Russian)
3. Bogdanov V. M., Kozubenko I. D. & Romen Yu. S. Tekhnicheskoye sostoyaniye vagona i iznos grebney koles [Technical condition of the car and wheel flange wear]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], 1998, no. 8, pp. 23–25. (In Russian)
4. Goncharov S. E. Iznos grebney kolesnykh par gruzovykh vagonov [Wheelset flange wear of freight cars]. *Vestnik IPEM: Tekhnika zheleznykh dorog* [IPEM [Institute of Natural Monopoly Problems] Bulletin: Railway Engineering], 2017, no. 4 (40), pp. 32–37. (In Russian)
5. Goncharov S. E. Pervoocherednyye mery po sokrashcheniyu ottsepok v TOR po tolshchine grebnya kolesnoy pary [Priority measures to reduce detachments in the current uncoupling repair according to the thickness of the wheelset flange]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo* [Wagons and wagon facilities], 2017, no. 4 (52), pp. 31–32. (In Russian)
6. Zakharov S. M. & Romen Yu. S. Matematicheskoye modelirovaniye vliyaniya parametrov puti i podvizhnogo sostava na protsessy iznashivaniya koleasa i rel'sa [Mathematical modeling of the influence of track and rolling stock parameters on wheel and rail wear processes]. *Vestnik VNIIZHT* [Scientific Research Institute of Railway Transport Bulletin], 2010, no. 2, pp. 26–30. (In Russian)
7. Zakharov S. M., Pogorelov D. Yu. & Simonov V. A. Analiz vliyaniya parametrov ekipazhey i puti na intensivnost' iznosa v sisteme koleso–rel's na osnove polnogo faktornogo eksperimenta [Analysis of the influence of vehicle and track parameters on the wear rate in the wheel-rail system based on a full factorial experiment]. *Vestnik VNIIZHT* [Scientific Research Institute of Railway Transport Bulletin], 2010, no. 2, pp. 31–35. (In Russian)
8. Ivanov D. V. *Vliyaniye tekhnicheskogo sostoyaniya khodovykh chastey gruzovykh vagonov na bezopasnost' dvizheniya i iznos v sisteme koleso–rel's*. Dis. kand. tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.07 [Influence of the technical condition of the running gears of freight cars on traffic safety and wear in the wheel-rail system. PhD thesis]. Moscow, MGUPS [Moscow State Transport University] Publ., 2010, 203 p. (In Russian)
9. Lesnichiy V. S., Levkov G. V. & Tkachuk E. I. Razrabotka napravleniy modernizatsii telezhkek 18-100 i yeye analogov dlya uvelicheniya mezhremontnogo probega [Development of directions for modernization of bogies 18-100 and its analogues to increase the overhaul run]. *Progressivnyye tekhnologii, primenyayemye pri remonte podvizhnogo sostava RZHD*. Sbornik trudov konferentsii [Progressive technologies used in the repair of the rolling stock of Russian Railways. Proceedings of the conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Saint Petersburg State Transport University] Publ., 2016, pp. 56–69. (In Russian)
10. Orlova A. & Boronenko Y. The influence of the condition of three-piece freight bogies on wheel flange wear: simulation and operation monitoring. *Vehicle System Dynamics*, 2010, no. 48, suppl. 1, pp. 37–53.
11. *Rukovodstvo pol'zovatelya programmnoy kompleksa "Universal'nyy mekhanizm 8 "Modelirovaniye dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhey" [User manual for the software package "Universal Mechanism 8 „Simulation of the dynamics of railway vehicles" ]*. Available at: <http://www.umlab.ru/pages/index.php?id=3> (accessed: January 28, 2021). (In Russian)
12. Vorob'yev A. A., Budyukin A. M., Kondratenko V. G. et al. Modelirovaniye dinamiki podvizhnogo sostava [Simulation of the rolling stock dynamics]. *Novyye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii* [New materials and technologies in mechanical engineering], 2015, no. 21, pp. 24–30. (In Russian)
13. Boronenko Yu. P., Saidova A. V., Zhitkov Yu. B. et al. *Razrabotka komp'yuternykh modeley i provedeniye raschetov iznosa grebnya koleasa v gruzovykh vagonakh na telezhkakh tipa 2 pri sushchestvuyushchikh normativakh vypuska telezhkek iz remonta i s predlagayemyimi izmeneniyami. Podgotovka rekomendatsiy po dopolnitel'nomu kontrolyu*. Tekhnicheskaya spravka AO "NVTs „Vagony" po teme N 27-20/AO-DD-TP-171/20 [Development of computer models and calculations of wheel flange wear in freight cars on bogies of type 2 with the existing standards for the release of bogies from repair and with the proposed changes. Preparation of recommendations for additional control. Technical information of JSC "NVC Wagons" on topic N 27-20/AO-DD-TP-171/20]. Saint Petersburg, PGUPS [Saint Petersburg State Transport University] Publ., 2020, 67 p. (In Russian)

14. Orlova A. M. & Vorob'yev A. A. *Razrabotka i naznachenije trekh reprezentativnykh marshrutov dvizheniya (pryamyye, vklyuchayushchiye v sebya pod'yemy i spuski, krivyie malogo radiusa, krivyie bol'shogo radiusa) podvizhnogo sostava, kharakternykh dlya sushchestvuyushchikh regional'nykh podrazdeleniy seti OAO "RZHD". Otchet o NIR. Ch. 2 [Development and designation of three representative traffic routes (straight lines, including ups and downs, curves of small radius, curves of large radius) of rolling stock, typical for the existing regional divisions of the Russian Railways network. Research report. Pt 2]. Saint Petersburg, PGUPS [Saint Petersburg State Transport University] Publ., 2014, 72 p. (In Russian)*

15. Vorob'yev A. A. *Matematicheskoye modelirovaniye parametrov kontakta koleasa s rel'som dlya razlichnykh usloviy ekspluatatsii vagonov [Mathematical modeling of*

*wheel-rail contact parameters for different conditions of car operation]. Vestnik IPEM: Tekhnika zheleznnykh dorog [IPEM [Institute of Natural Monopoly Problems] Bulletin: Railway Engineering], 2016, no. 1 (33), pp. 34–41. (In Russian)*

Received: February 04, 2021

Accepted: February 11, 2021

**Authors' information:**

Alina V. SAIDOVA – PhD in Engineering;  
av-saidova@yandex.ru

Veronika I. FEDOROVA – PhD in Engineering;  
nika.veronika-fedorova@yandex.ru

Yuriy B. ZHITKOV – PhD in Engineering;  
zhitkov-nvc@yandex.ru

Igor V. FEDOROV – fedorov281973@yandex.ru

Alexander N. GRISHAEV – grishaevan@pgkweb.ru



УДК 625.5.9

## Конструирование съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей

**О. И. Зайнитдинов**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Зайнитдинов О. И.* Конструирование съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 62–71. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-62-71

### Аннотация

**Цель:** Выбор технических решений конструкции ограждения съемного кузова крытого типа с раздвигающимися боковыми стенами и крышей. **Методы:** Конструирование конструкции съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей выполнялось согласно нескольким технико-нормативным документам с помощью конструкторской программы КОМПАС-3D. **Результаты:** Предложена конструкция съемного кузова крытого типа с раздвигающимися боковыми стенами и крышей, предназначенного для перевозки грузов, которые требуют защиты от атмосферных осадков. Разработаны схема замка для запираения боковых раздвижных дверей и схема сцепления средней части дверей. Представлены чертежи основных несущих элементов кузова вагона, в том числе основания кузова с тремя продольными и несколькими поперечными и вспомогательными балками. Приведена схема крепления роликовых узлов раздвижных дверей на кузове вагона к нижним продольным и к верхней пролётной балкам. **Практическая значимость:** Съемный кузов крытого типа с раздвигающимися боковыми стенами и крышей позволяет сократить время и трудоемкость погрузочно-разгрузочных операций, обеспечить одновременную загрузку и выгрузку грузов как с боковой, так и с верхней части кузова с помощью различных грузоподъемных устройств.

**Ключевые слова:** Съемный кузов, конструкция, основание, торцевые стены, раздвижные боковые стены, роликовые подвески, крепление, транспортировка.

### Введение

Одним из методов модернизаций вагонного парка является специализация вагонов, который дает возможность сократить время и трудоемкость погрузочно-разгрузочных операций, обеспечивая сохранность продукции [1, 2].

Внедрение такой гибкой грузовой системы позволит значительно увеличить эффективность эксплуатации вагонов, уменьшить простои при сезонных колебаниях отправки разнообразных грузов [3].

В настоящей статье описывается конструкция съемного кузова с раздвигающимися бо-

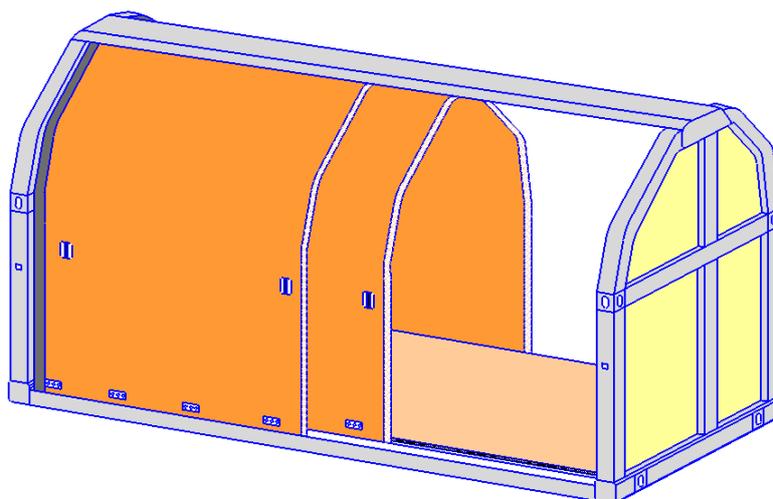


Рис. 1. Общий вид проектируемого съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей

выми стенами и крышей, предназначенного для транспортировки рулоновых, пакетированных, штабельных, штучных, тарно-штучных, грузов на поддонах и других грузов, требующих защиты от атмосферных осадков, с креплением их в соответствии с техническими требованиями (рис. 1).

Конструирование съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей осуществлялось согласно нескольким техниконормативным документам, например таким как ГОСТ Р ИСО 3874–2008, ГОСТ Р 53350–2009 и ГОСТ 9238–2013 [4–6].

Основание съемного кузова представляет собой сварную конструкцию и состоит из основных трех продольных (1 и 2), двух концевых (4), нескольких промежуточных поперечных балок (3) и вспомогательных продольных балок (5), представленных на рис. 2.

Две крайние продольные балки представляют собой квадратный профиль с боковой фаской 45°, на котором устанавливаются нижние направляющие рельсы раздвижных дверей (8), а средней продольной балкой является двутавр марки 18М. Усилительными продольными балками служат швеллеры (3) марки 14М и вспомогательные продольные балки (5), сваренные между поперечными швеллера-

ми, являются пустотельный квадратный профиль.

Настил пола кузова изготовлен из полимерного композиционного материала (6), огражденного П-образным такелажным напольным оградителем, что и является одновременной напольной крепежной схваткой (7) для крепления груза. Описанные составляющие элементы образуют конструкцию основания съемного кузова и приведены в табл. 1.

Кузов имеет две торцевые стены (рис. 3), приваренные снизу к основанию кузова, а сверху соединяются с одной пролётной сварной балкой (6), имеющей изнутри три вертикальные ребра жесткости. Конструкция торцевой стены состоит из нижней горизонтальной балки 1 (концевая поперечная балка 4 на рис. 2) и вертикальной балки (3), сверху соединенной с дугообразной балкой 5 через стандартные фитинги 4. Дугообразные балки 5 с двух сторон приварены к верхней пролётной балке 6, удерживающие ее от поперечного перемещения. Консольные части пролётной балки опираются на среднюю вертикальную балку. На пролётной балке по бокам предусмотрены верхние направляющие рельсы, удерживающие боковые раздвижные двери. Все балки между собой соединены сварным способом и имеют ребра жесткости 2.

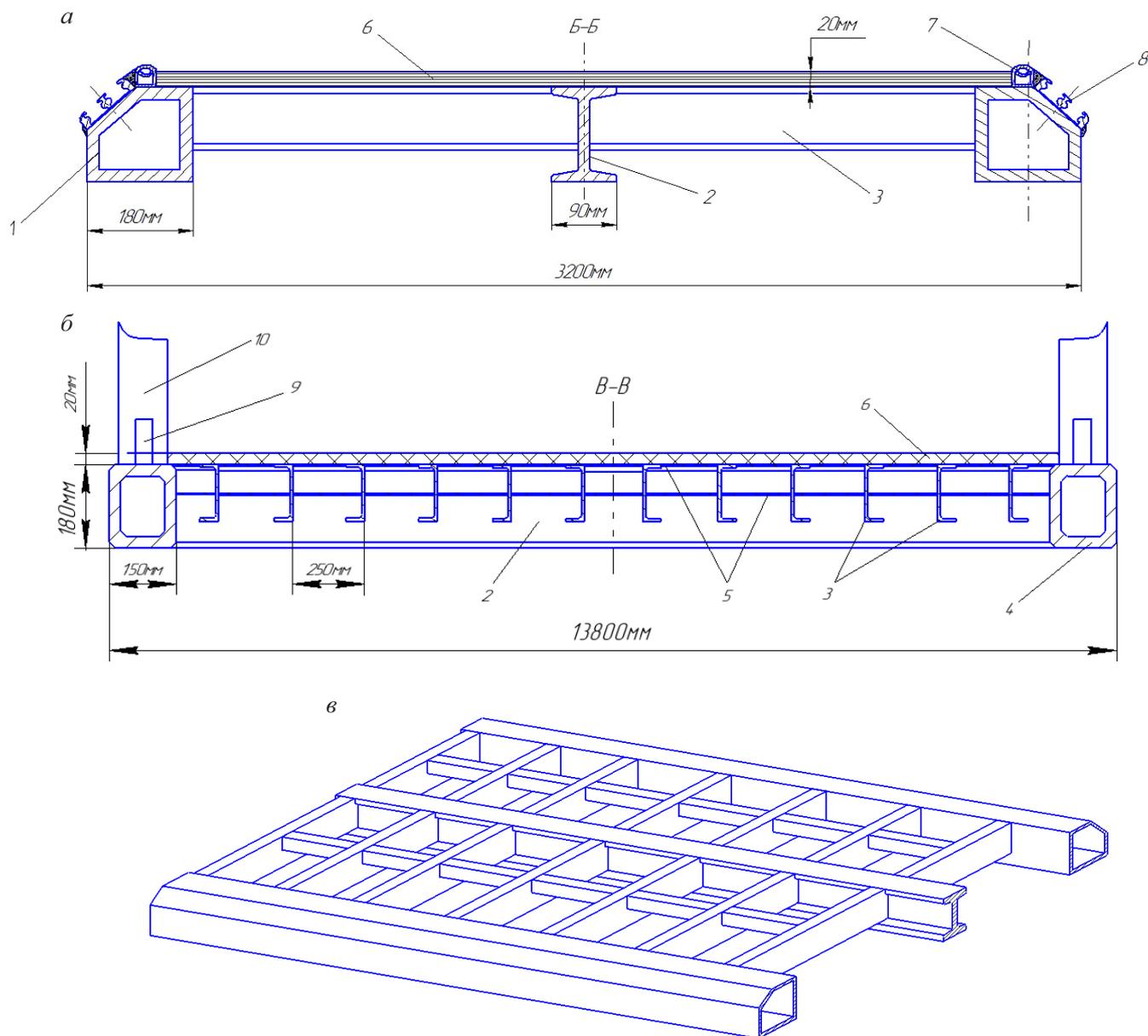


Рис. 2. Конструкционные схемы основания съемного кузова:

*а* – поперечный разрез; *б* – продольный разрез; *в* – общий вид основания.

1, 2 – продольные балки; 3 – поперечные балки; 4 – концевые балки; 5 – продольные балки; 6 – настил пола; 7 – такелажный напольный оградитель; 8 – направляющий рельс; 9 – ребро жесткости; 10 – вертикальные балки

В целях обтекания и защиты от атмосферных осадков роликовых узлов верхней части раздвижных дверей предусмотрен козырек 7.

Раздвижные двери съемного кузова предлагается изготавливать из композиционного материала цельным методом вакуумной инфузии. Как известно, композиционные материалы (КМ)

не уступают по прочности сталям, превосходя при этом его по физико-химическим свойствам, что делает их в настоящее время незаменимым конструкционным материалом.

Такая схема раздвижных дверей из КМ с роликовым креплением на кузове представлена на рис. 4.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики съемного кузова

| Наименование параметров  | Значение                     |
|--|------------------------------|
| Грузоподъемность, т  | 55                           |
| Масса тары съемного кузова, т  | 5                            |
| Масса брутто вагона, т   | 60                           |
| Площадь пола максимальная, м <sup>2</sup>                              | 40,2                         |
| Высота наружная максимальная, мм                                       | 3800                         |
| Длина наружная максимальная, мм  | 13 800                       |
| Ширина наружная максимальная, мм                                       | 3200                         |
| Длина съемного кузова внутренняя до верхней обвязки (максимальная), мм | 13,400                       |
| Высота съемного кузова внутренняя, мм                                  | 3000                         |
| Ширина съемного кузова внутренняя, мм                                  | 3020                         |
| Объем съемного кузова, м <sup>3</sup>                                  | 140                          |
| Количество дверей, шт.   | 4                            |
| Ширина дверного проема, мм   | 6700                         |
| Высота дверного проема, мм   | 3000                         |
| Количество фитингов верхних, шт.                                       | 4                            |
| Количество фитингов нижних, шт.  | 4                            |
| Материалы изготовления элементов кузова                                | 345-09Г2С по ГОСТ 19281–2014 |

ТАБЛИЦА 2. Параметры составляющих профилей основания съемного кузова

| Наименование профиля  | Параметры, $h \times b \times s$ [ $w_x$ ], мм | Количество, шт. |
|---|--|-----------------|
| Продольные балки. Сварной квадратный профиль с боковой фаской 45°. ГОСТ 8639–82 | 180×180×10 [350,44]                            | 2               |
| Продольная балка. Двутавр. ГОСТ 19425–74. Марка: 18М                            | 180×90×10 [196]                                | 1               |
| Концевые поперечные балки. Прямоугольник. ГОСТ 8645–68                          | 180×150×12 [310,8]                             | 2               |
| Поперечные балки. Швеллеры. ГОСТ 8240–97. Марка: 14П                            | 140×58×4,9 [70,4]                              | 90              |
| Вспомогательные продольные балки. Квадратный профиль. ГОСТ 8639–82              | 60×60×7,0 [21,24]                              | 45              |
| Композиционный настил пола  | 2950×1000×20                                   | 14              |
| П-образный такелажный напольный оградитель                                      | 25×35×3  | 4               |
| Направляющие рельсы раздвижных дверей   | 23×128×13,500                                  | 4               |

Примечание:  $h$  – высота,  $b$  – ширина,  $s$  – толщина стенки, [ $w_x$ ] – момент сопротивления, являются важными показателями прочностных и геометрических характеристик профилей [7–10].

Как видно на рис. 4,  $a$ , пролётная балка  $1$  имеет коробчатую форму и усилена изнутри тремя ребрами жесткостями  $4$ . По обоим бо-

кам пролётной балки  $1$  приварены направляющие рельсы  $2$ , по которым двигаются двухрядные роликовые подвески раздвижных дверей  $3$ .

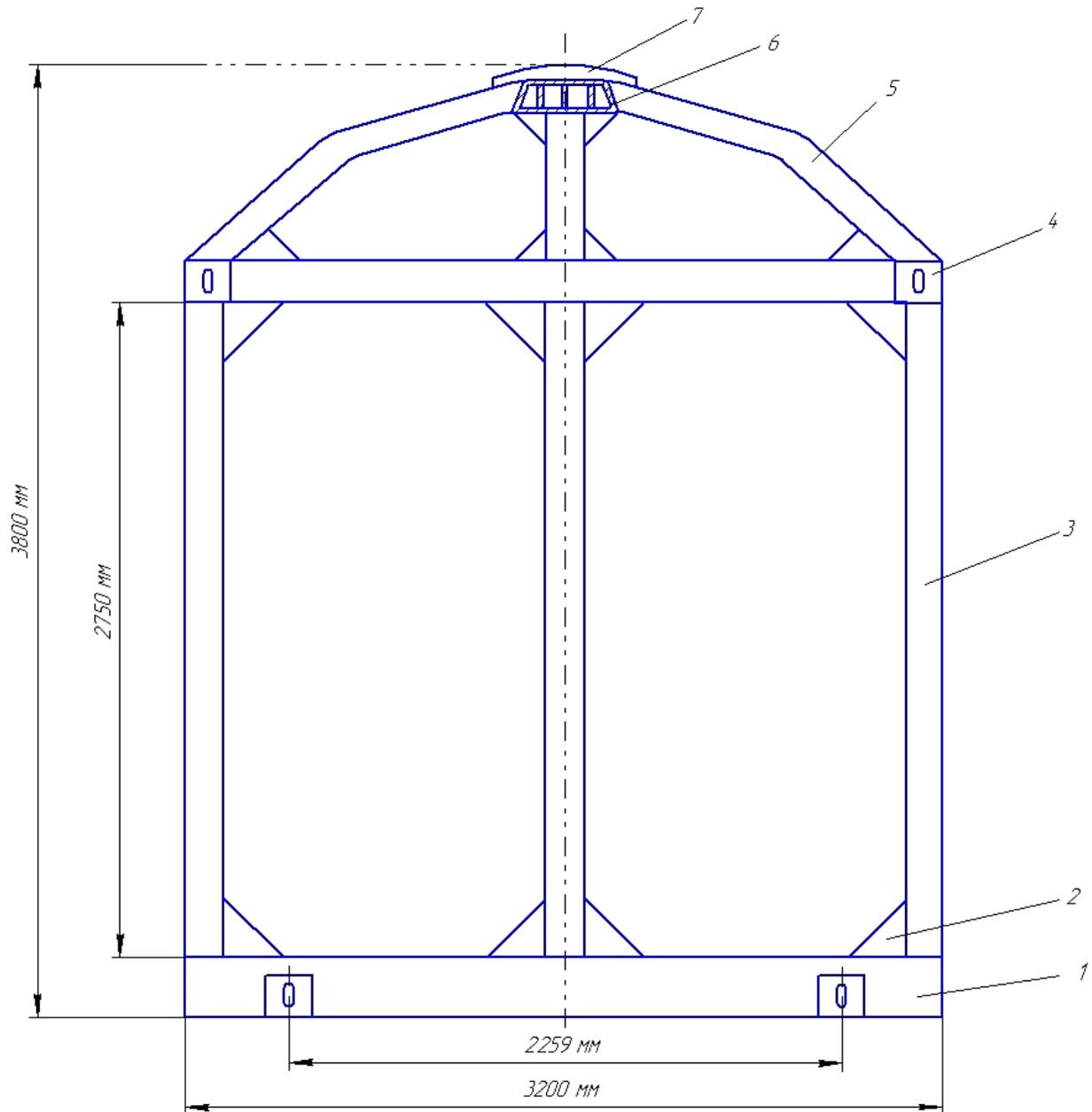


Рис. 3. Торцевая стена съемного кузова:

1 – продольные балочки; 2 – ребра жесткости; 3 – вертикальные балки; 4 – фитинги;  
5 – дугообразные балки; 6 – пролётная балка; 7 – козырек

К нижней части балки приварены специальные такелажные проушины 5 для крепления грузов талрепами и стяжными ремнями.

Нижние направляющие рельсы 3 роликовых опор 7 (рис. 4, б) свариваются швом 2 на двух продольных балках 1 под углом 45°. Раздвижная композиционная дверь 5 прижимается с нижних краев двери стальными зажимами 4 и крепится

металлическими заклепками 6 маркой М10. Такелажный напольный оградитель 8 служит для крепления груза и предохраняет композиционный настил пола от повреждения при погрузках или выгрузках грузов с помощью автокаров или другими иными способами.

Кузов снабжен четырьмя автономными композиционными раздвижными дверями, имею-

щими независимое движение друг от друга и четыре блокировочных механизма для запираания дверей на замок, которые установлены с четырех сторон на вертикальной балке 3 торцевой стены кузова (рис. 3).

Схема запираания раздвижной двери на замок приведена на рис. 5. Для запираания композиционной двери 1 предусмотрены блокировочное устройство замка и его детали замка 7, 8, 10,

который сцепляется с ригелем 6, прикрепленным с помощью зажимного ободка 4 с четырьмя стальными заклепками 2 с полукруглой головкой М10. Для герметизации стыкования двери с вертикальной балкой 5 внутри запорного профиля 3 установлены резиновые уплотнители 9. Кроме того, запорный профиль 3 служит как центрирующее устройство при закрывании и предохраняет от колебания и поперечных перемеще-

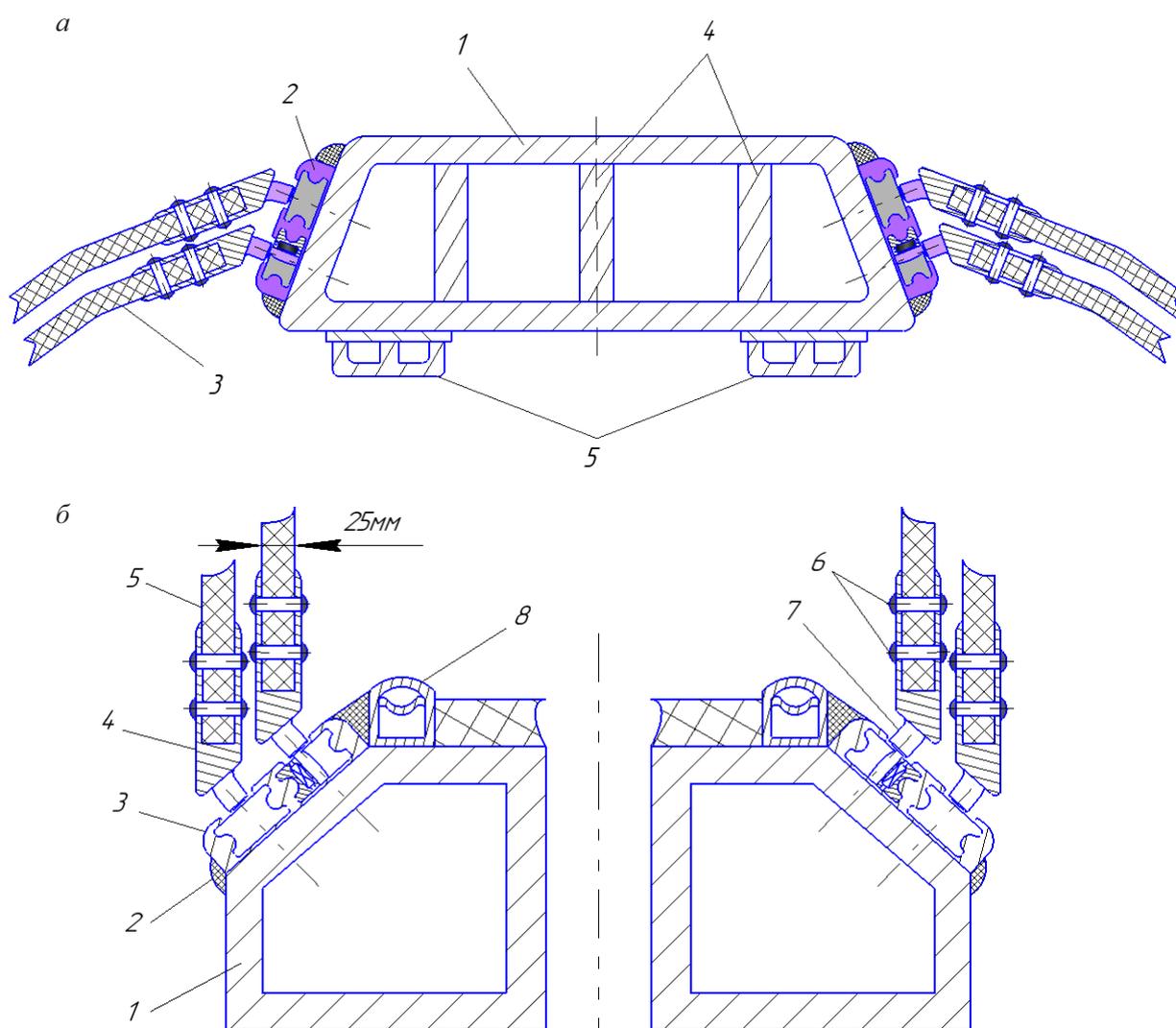


Рис. 4. Схема крепления роликовых узлов раздвижных дверей на кузове:

*a* – верхние роликовые подвески, установленные на пролётной балке: 1 – пролётная балка, 2 – верхние направляющие рельсы, 3 – композиционная дверь, 4 – ребра жесткости, 5 – такелажные проушины; *б* – нижние роликовые опоры, установленные на двух продольных балках основания кузова: 1 – продольная балка, 2 – сварной шов, 3 – нижние направляющие рельсы, 4 – стальные зажимы, 5 – композиционная дверь, 6 – металлические заклепки, 7 – роликовые опоры с осью, 8 – напольный такелажный ограничитель

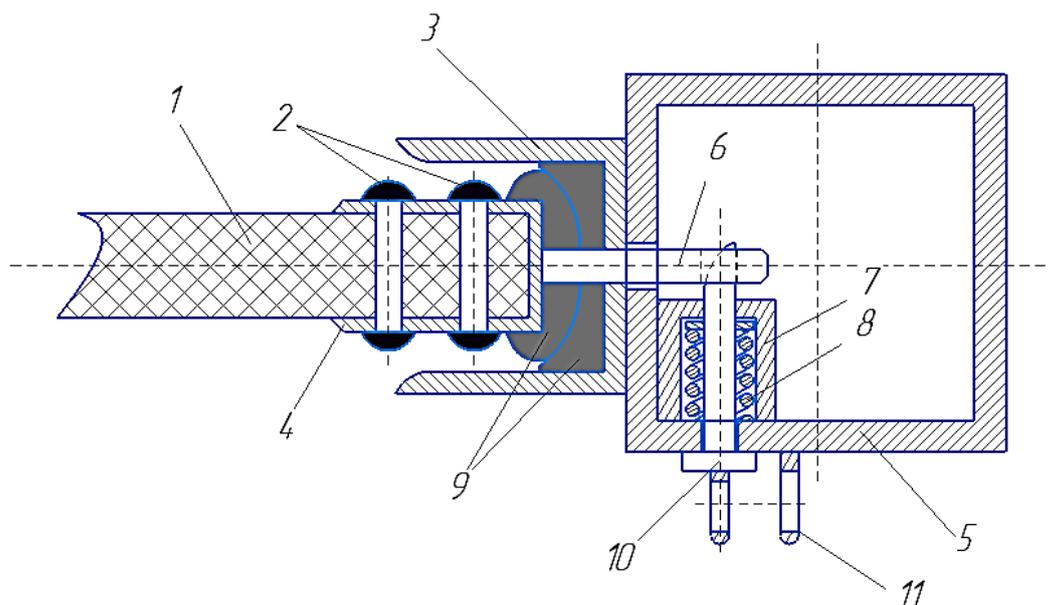


Рис. 5. Схема запирания раздвижной двери на замок:

1 – композиционная дверь; 2 – стальные заклепки; 3 – запорный профиль; 4 – зажимной ободок; 5 – вертикальная балка торцевой стены кузова; 6 – ригель; 7 – корпус замка; 8 – пружина; 9 – резиновые уплотнители; 10 – защелка замка с вытяжным кольцом; 11 – проушина для замка

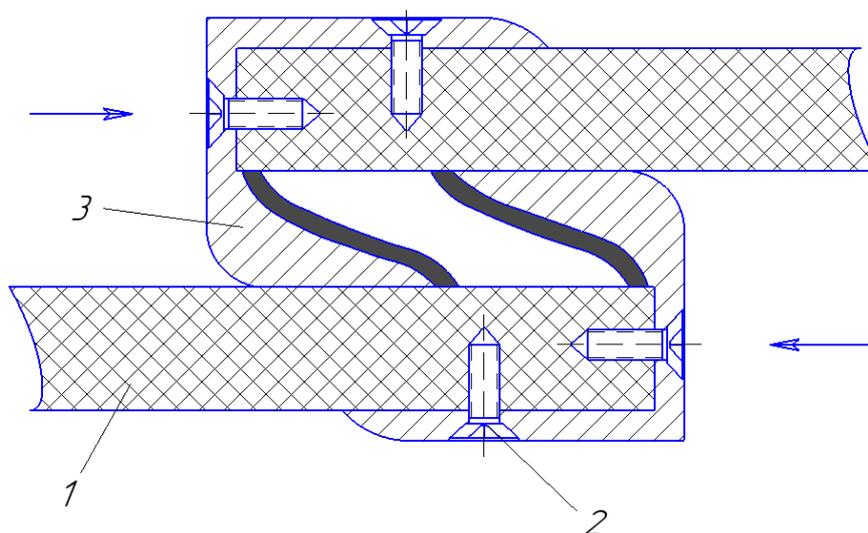


Рис. 6. Схема шипового сцепления конечных частей раздвижных дверей:

1 – раздвижная дверь; 2 – резинометаллический шип; 3 – винт с потайной головкой

ний двери, что делает стыкование более надежным. После запирания двери в целях избегания неблагоприятных ситуаций открывания дверей 1 предусмотрена дополнительная проушина 11, закрепленная к вертикальной балке 5 кузова для подвешивания замка на ключ.

На рис. 6 представлена схема шипового сцепления конечных частей раздвижных дверей, расположенных с двух сторон кузова. Шиповое сцепление предназначено для законцовки конечных частей двери и герметизации дверных щелей.

Конструкция шипового сцепления конечных частей двери состоит из самой раздвижной двери 1 и закрепленного к нему с помощью винта 2 с потайной головкой марки М8 резинометаллический шип 3.

Эффективность конструкции сцепления заключается в ее простоте для его строительства и ремонта, а также надежности при запирании дверей, которая предотвращает колебания конечных частей и придает жесткость для средних примыкающих частей двух дверей.

Важно отметить, что допускаемый способ подъема краном при транспортировке данного съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей рекомендуется, согласно ГОСТ Р ИСО 3874–2008 [4], только спредером за верхние фитинги.

## Заключение

В работе представлены конструкция съемного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей, чертежи основных несущих элементов и их деталей. Предложены технические параметры съемного кузова. Сконструирована схема блокировочного механизма для запирания раздвижных дверей на замок. Основными отличиями конструкции проектируемого съемного кузова от других являются его раздвигающиеся боковые стены и крыша, передвигающиеся с помощью роликовых опор.

Проектирование и внедрение подобных съемных кузовов крытого типа с раздвигающимися боковыми стенами и крышей позволит сократить простои и обеспечить максимальную эксплуатацию съемного кузова на протяжении всего цикла использования без спада спроса при сезонных колебаниях отправки грузов.

## Библиографический список

1. Бороненко Ю. П. Перспективы внедрения вагонов со съемными кузовами увеличенной грузоподъемности / Ю. П. Бороненко, А. С. Даукша // Современные технологии – транспорт : материалы Междунар.

науч.-технич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 437–451.

2. Даукша А. С. Совершенствование вагонов на основе использования съемных кузовов / А. С. Даукша, Ю. П. Бороненко // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : сб. трудов X Междунар. науч.-технич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2015. – С. 45–53.

3. Соколов А. М. Разработка сочлененного вагона-платформы со съемными кузовами для повышения эффективности перевозок / А. М. Соколов, К. В. Кякк, А. С. Кононенко // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : сб. трудов XII Междунар. науч.-технич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 80–83.

4. ГОСТ Р ИСО 3874–2008. Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление. – Утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии № 132 1 июля 2008 г. – М. : Стандартинформ, 2008. – 58 с.

5. ГОСТ Р 53350–2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – Утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии № 181-ст. 27 мая 2009 г. Изменение внесено № 1 26 октября 2017 г. – М. : Стандартинформ, 2018. – 15 с.

6. ГОСТ 9238–2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. – Утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии № 1608-ст. 22 ноября 2013 г. – М. : Стандартинформ, 2014. – 170 с.

7. ГОСТ 8639–82. Трубы стальные квадратные. – Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам № 1529 14 апреля 1982 г. – М. : Стандартинформ, 2006. – 7 с.

8. ГОСТ 19425–74. Балки двутавровые и швеллеры стальные специальные. – Утв. Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР № 194. – М. : Стандартинформ, 1974. – 12 с.

9. ГОСТ 8645–68. Трубы стальные прямоугольные. – Утв. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации № 35. – М. : Стандартинформ, 2009. – 14 с.

10. ГОСТ 8240–97. Швеллеры стальные горячекатаные. – Утв. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации № 11. – М. : Стандартинформ, 1997. – 10 с.

Дата поступления: 18.02.2021  
Решение о публикации: 04.02.2021

**Контактная информация:**  
ЗАЙНИТДИНОВ Олмос Ирикович – аспирант;  
zaynitdinovo@mail.ru

## Designing a detachable body with sliding side walls and a roof

**O. I. Zaynitdinov**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Zaynitdinov O. I. Designing a detachable body with sliding side walls and a roof. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 62–71. (In Russian)  
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-62-71

### Summary

**Objective:** Selection of technical solutions for designing a covered detachable body fence with sliding side walls and a roof. **Methods:** A detachable body with sliding side walls and a roof was designed in accordance with several technical and regulatory documents using the KOMPAS-3D design software. **Results:** The covered detachable body with sliding side walls and a roof designed for the carriage of goods that require protection from atmospheric precipitation has been proposed. A scheme of a lock for side sliding doors and a linkage scheme of the doors' middle part have been developed. Drawings of the main load-bearing elements of the car body are presented, including the underframe with three longitudinal and several transverse and auxiliary beams. The diagram of fastening the sliding door roller assemblies on the car body to the lower longitudinal beams and to the upper beam is given. **Practical importance:** The covered detachable body with sliding side walls and a roof allows reducing the time and human effort of loading and unloading the car, provides simultaneous loading and unloading of goods both from the side and from the top of the body using various hoisting devices.

**Keywords:** Detachable body, structure, underframe, front and rear walls, sliding side walls, roller suspensions, fastening, transportation.

### References

1. Boronenko Yu. P. & Dauksha A. S. Perspektivy vnedreniya vagonov so s'yemnymi kuzovami uvelichennoy gruzopod'yemnosti [Prospects of the introduction of detachable body cars with increased carrying capacity]. *Sovremennyye tekhnologii – transport*. Material Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konferentsii [Modern technologies – transport. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, pp. 437–451. (In Russian)

2. Dauksha A. S. & Boronenko Yu. P. Sovershenstvovaniye vagonov na osnove ispol'zovaniya s'yemnykh

kuzovov [Evolution of cars based on the use of detachable bodies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty*. Sb. trudov X Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konferentsii [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Proceedings of the X International Scientific and Technical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2015, pp. 45–53. (In Russian)

3. Sokolov A. M., Kyakk K. V. & Kononenko A. S. Razrabotka sochlenennogo vagona-platformy so s'yemnymi kuzovami dlya povysheniya effektivnosti perevozok [Development of an articulated platform car with detachable bodies to improve the efficiency of freight traffic]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty*. Sb. tru-

dov X Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konferentsii [*Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference*]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, pp. 80–83. (In Russian)

4. *GOST R ISO 3874–2008. Konteynery gruzovyye serii 1. Peregruzka i krepleniye* [*Series 1 freight containers. Handing and securing*]. Approved by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, no. 132-st as of July 01, 2008. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 58 p. (In Russian)

5. *GOST R 53350–2009. Konteynery gruzovyye serii 1. Klassifikatsiya, razmery i massa* [*Series 1 freight containers. Classification, dimensions and ratings*]. Approved by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, no. 181-st as of May 27, 2009, Amendment no. 1 as of October 26, 2017. Moscow, Standartinform Publ., 2018, 15 p. (In Russian)

6. *GOST 9238–2013. Gabarity zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i priblizheniya stroyeniya* [*Construction and rolling stock clearance diagrams*]. Approved by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, no. 1608-st as of November 22, 2013. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 170 p. (In Russian)

7. *GOST 8639–82. Truby stal'nyye kvadratnyye* [*Square steel tubes*]. Approved by Decree of the USSR State Committee of Standards no. 1529 as of April 14, 1982. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 7 p. (In Russian)

8. *GOST 19425–74. Balki dvutavrovyye i shvellery stal'nyye spetsial'nyye* [*Special-purpose steel I-beams and channels*]. Approved by Decree of the State Committee of Standards of the USSR Council of Ministers no. 194. Moscow, Standartinform Publ., 1974, 12 p. (In Russian)

9. *GOST 8645–68. Truby stal'nyye pryamougol'nyye* [*Rectangular steel tubes*]. Approved by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, no. 35. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 14 p. (In Russian)

10. *GOST 8240–97. Shvellery stal'nyye goryachekatanyye* [*Hot-rolled steel channels*]. Approved by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, no. 11. Moscow, Standartinform Publ., 1997, 10 p. (In Russian)

Received: February 18, 2021

Accepted: February 04, 2021

**Author's information:**

Olmos I. ZAYNITDINOV – Postgraduate Student;  
zaynitdinovo@mail.ru

УДК 656.2

## К вопросу об обледенении железнодорожного подвижного состава в условиях эксплуатации северного широтного хода

Е. Я. Полякова<sup>1</sup>, Б. О. Поляков<sup>1</sup>, С. И. Дубинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», Российская Федерация, 129626, Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10

**Для цитирования:** Полякова Е. Я., Поляков Б. О., Дубинский С. И. К вопросу об обледенении железнодорожного подвижного состава в условиях эксплуатации северного широтного хода // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 72–79. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-72-79

### Аннотация

**Цель:** Изучение механизма образования отложений уплотненных снеговых масс на поверхностях подвагонного пространства и ходовой части подвижного состава, исследование формирования микроклиматических условий в нишах ходовых устройств при взаимодействии воздушных масс набегающего потока с конвективными потоками, возникающими при работе тормозного оборудования.

**Методы:** Проводятся разработка твердотельных моделей в программном комплексе SolidWorks, реализация cfd-анализа методом конечных объемов в модуле FlowSimulation на базе численного решения системы уравнений Навье–Стокса. **Результаты:** Благодаря численному моделированию, установлено наличие центробежно-поперечной зоны текучей среды за поверхностью обода колеса, вследствие которой происходит вынос капель в радиальном направлении, налипающих на металлические части подвагонного пространства, создавая белый тип ледяных образований, способных увеличиваться в размерах из-за процесса торможения. Для перенаправления потока, содержащего снеговые включения, предложено устройство дефлектора. Получены эпюры температурных полей в плоскости тормозных дисков тележки при использовании дефлектора и без него, проведен сравнительный анализ, сделан вывод о необходимости применения устройства.

**Практическая значимость:** Численное моделирование позволило наглядно продемонстрировать основные зоны формирования ледяного нароста на ходовых частях движущегося подвижного состава и выявить вариант контроля габаритов этих областей с помощью предложенного устройства механического дефлектора.

**Ключевые слова:** Подвагонное пространство, структура возмущенной среды воздушных масс, обледенение, численный эксперимент, микроклиматические условия, аэродинамика, CFD-анализ.

### Введение

Эксплуатация подвижного состава в климатических условиях Заполярья сопряжена с определенными природными рисками, включающими экстремально низкие температуры в сочетании с последствиями снегопадов [1]. В таких условиях эксплуатации рельсового транспорта важнейшей

задачей становится борьба с явлениями снежного заноса полостей и карманов конструкции устройств подвагонного пространства, обледенения ходовой части (рис. 1).

Степень обледенения характеризуется интенсивностью отложения льда или скоростью нарастания льда на поверхности тела: слабое – меньше 0,5 мм/мин, умеренное – 0,5–1 мм/мин, сильное –



Рис. 1. Ледяные образования на тележке высокоскоростного подвижного состава

превышающая 1 мм/мин [2, 3]. В зависимости от атмосферных условий (температуры, влажности воздуха, размера капель) на омываемой поверхности объекта формируются различные типы ледообразований: прозрачный, белый и их комбинация – матовый.

Наибольшую опасность представляет прозрачный лёд, возникающий при температуре от 0 до  $-10$  °С в среде, содержащей крупные капли воды. Подобный лед весьма прочен и может серьезно ограничивать взаимное перемещение элементов механизмов вплоть до полной блокировки движения [2–4].

Целями исследования являются выявление природы образования снеговых и ледяных отложений на поверхностях элементов ходовых частей при движении грузового и высокоскоростного подвижного состава в сложных климатических условиях высокоширотного хода Заполярья, а также способы компенсации подобных явлений, задачей – изучение механизма формирования структуры возмущенной среды воздушных масс в подвагонном пространстве подвижного состава, определение факторов, оказывающих влияние на кинетику и термодинамику витающих снеговых включений.

### Разработка численной модели

Анализ аэродинамических процессов, формирующих структуру снежных наносов на поверхностях высокоскоростного подвижного состава, выполнен в среде SolidWorks FlowSimulation методом моделирования RANS [5].

Процесс обтекания воздушными массами конструктивных элементов подвагонного пространства подвижного состава сопровождается их активным вихреобразованием по причине наличия многочисленных острых кромок выступающих частей, полостей карманов, образующих конфузур – диффузорные участки течения воздушного потока (рис. 2). В непосредственной близости от обтекаемой поверхности конструкции частица (капля воды) подвергается действию сочетания силовых факторов: силы инерции, удерживающей частицу на прямолинейной траектории, и аэродинамической подъемной силы сопротивления воздушной среды, удерживающей частицу в потоке газа. Интенсивность обледенения поверхности конструкций зависит от величины соотношения данных сил, скорости перемещения частиц в потоке, формы и температуры омываемой поверхности.

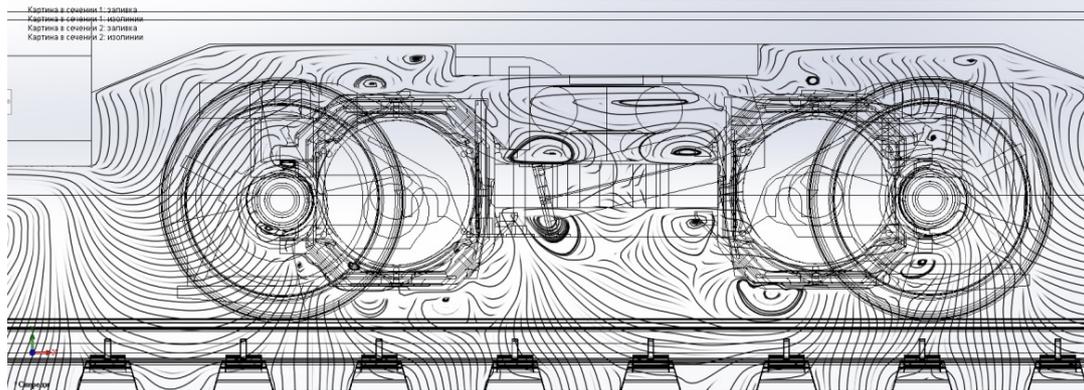


Рис. 2. Линии тока воздушных масс в подвагонном пространстве

Адгезия осажденных частиц на поверхности происходит под действием сил тяжести при условии либо ламинарного движения потока, либо сил в условиях вихревого движения потока.

В условиях ламинарного движения витание частицы происходит при условии равенства подъемной аэродинамической силы воздушного потока и силы тяжести, действующей на частицу неправильной формы [6, 7]:

$$c_0 k_{\phi} \rho_{\Gamma} v_0^2 d^2 / 8 = \rho_m g \pi d^3 / 6,$$

где  $c_0$  – коэффициент аэродинамического сопротивления шаровидной частицы;  $\rho_{\Gamma}$  – объемный вес газа, кг/м<sup>3</sup>;  $d$  – приведенный размер частицы, м;  $v_0^2$  – скорость обтекания частицы газом, м/с;  $k_{\phi}$  – коэффициент формы для продолговатых тел;  $\rho_m$  – объемный вес материала частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, для движения объекта со скоростью 25 м/с при температуре в диапазоне от –50 до –200 °С ожидаемый диаметр осаждаемых на поверхность частиц ориентировочно составляет для ламинарного движения потока воздушных масс – снеговые включения 3–15 мм, для турбулентного – водяные капли 1–3 мм.

Основное условие формирования комбинированных отложений уплотненного снега на поверхностях металлических частей – это отсутствие разности температур между металлоконструкцией и окружающим воздухом. Интенсив-

ность процесса повышается при температуре около 0,5–0,7 °С, достаточной относительной влажности и скорости ветра более 5 м/с [8].

Схожие условия образуются при взаимодействии холодного фронта набегающего потока воздушных масс, содержащего снежные включения, с периодически возникающим местным теплофронтным образованием, источником которого является значительная тепловая энергия, выделяющаяся в процессе трения тормозных колодок о поверхность катания обода колеса или тормозного диска. Из-за нагрева сопряженных элементов тележки ледяные образования на поверхности металлоконструкций оплавляются и, остывая, формируют новые слои прочного прозрачного льда. Конвективный перенос тепла воздушными массами преобразует снежные включения набегающего холодного потока в мелкодисперсную взвесь мелких капель (ледяной дождь), которая налипает и вмерзает в замерзающую водяную пленку на поверхности металлоконструкции.

Ввиду смешивания набегающего потока холодных воздушных масс, содержащих снеговые включения, с разогретыми воздушными массами, исходящими от устройств тормозного оборудования (рис. 3), наблюдается формирование специфических микроклиматических условий высокой влажности при положительных значениях температуры текучей среды (до 30 °С). В этой области происходят интенсивное плавление снеговых включений и превращение их

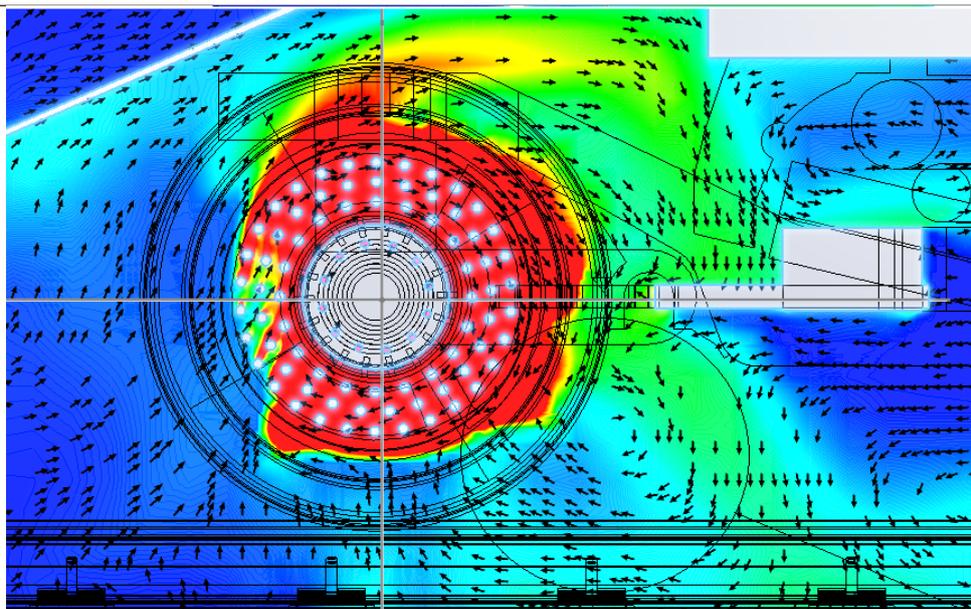


Рис. 3. Формирование микроклиматических условий

в мелкодисперсные капельные образования. За пределами зоны нагрева частицы также интенсивно остывают, превращаясь в переохлажденные капельные образования.

В результате воздействия сил сформированного вихря происходит вынос капель в диаметральной направленности. При взаимодействии с металлическими элементами конструкции капли растекаются и быстро замерзают, взвесь мелких снеговых включений налипает на замерзающую водяную пленку, создавая белый тип ледяных образований [8]. Данный процесс, циклически повторяясь, способствует эволюции ледяных образований до критических размеров.

Когда работа тормозного оборудования завершается, наступает резкое охлаждение металлических конструкций, что превращает пористую послойную структуру налипшей снеговой массы в прочный прозрачный лёд с высокими адгезионными свойствами [2, 3, 10].

В настоящее время для эксплуатации высокоскоростных составов в жестких климатических условиях применяется антиобледенительная обработка, успешно зарекомендовавшая себя на воздушном транспорте [11]. Антиобледенительные жидкости изготавливаются на базе пропиленгликоля, представляющего собой раствор

гликоля в воде с загустителями и присадками поверхностно активных веществ (ПАВ).

Результаты исследования практики применения антиобледенительных жидкостей [12] показывают опасную тенденцию химического воздействия на экологическую обстановку в районах их использования. Для хрупкой экосистемы Севера применение таких средств может оказаться фатальным.

### Разработка способов защиты

Решение проблемы простое – закрыть подвагонное пространство [13].

Но так как полное перекрытие ходовой части невозможно (во избежание неправильного функционирования тормозной системы, отсутствия визуального осмотра сотрудниками технических станций и т. д.), предлагается частичное перекрытие ходовых частей, заключающееся в исключении или перенаправлении смешивания фронта конвективного разогрева воздушных масс с холодным фронтом набегающего потока воздуха, содержащего снеговые включения. Для решения вопроса можно использовать устройство дефлекторов (рис. 4), механически

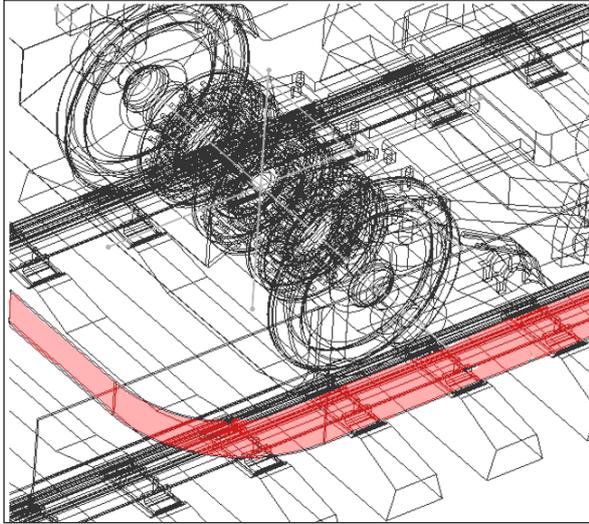


Рис. 4. Конструктивное исполнение дефлектора кольцевой формы для высокоскоростного подвижного состава

корректирующих траектории движения воздушных масс в подвагонном пространстве.

Дефлектор кольцевой формы, установленный на тележку грузового вагона, эффективно отклоняет поток воздушных масс подвагонного пространства, направляя его в обход габаритов узла, тем самым исключая взаимодействие температурных фронтов (рис. 5) и занос снеговых масс.

Результаты исследований движения воздушных масс в нишах ходовых частей, оборудованных дефлектором (рис. 6), показывают положительную динамику снижения интенсивности обледенения, поскольку устранено поступление во внутреннее пространство дефлектора холодных масс воздуха, насыщенных снеговыми и мелкодисперсными водяными включениями.

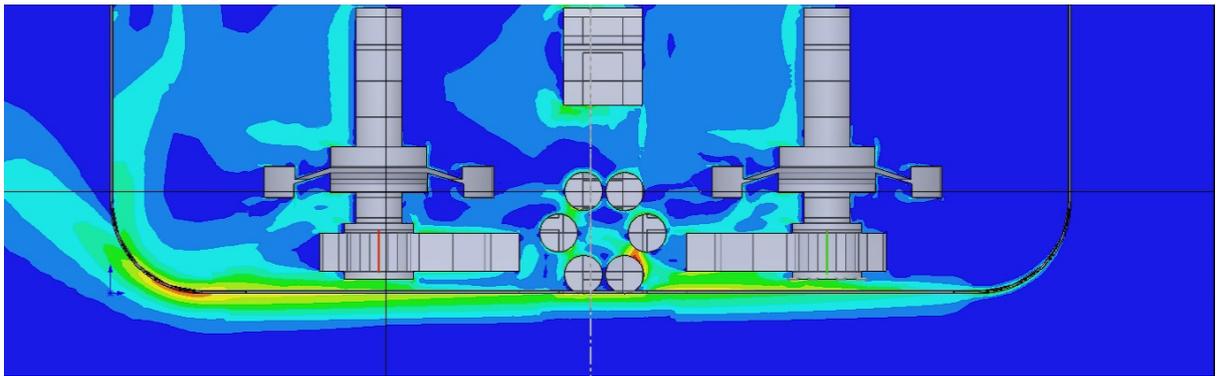


Рис. 5. Эпюра скорости воздушных потоков в районе ходовой части грузового вагона, защищенной дефлектором

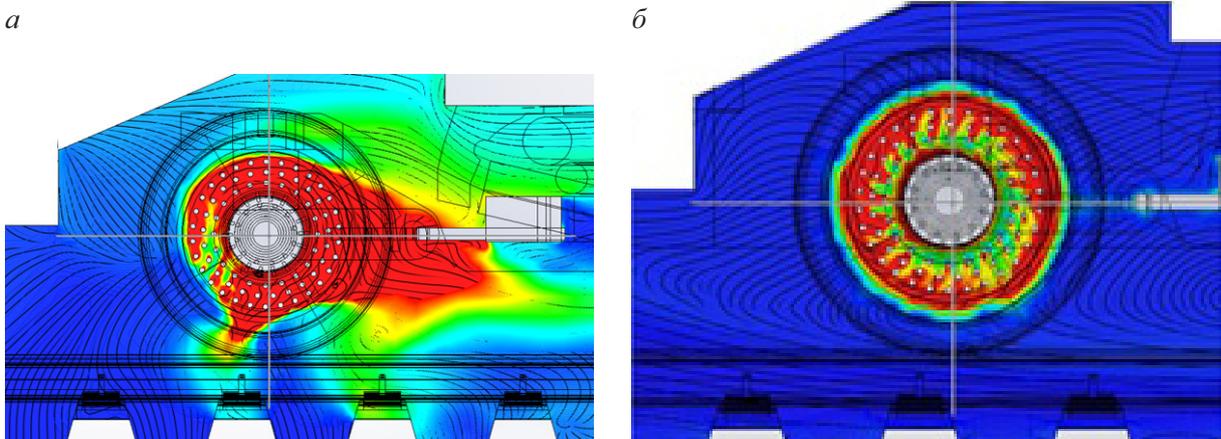


Рис. 6. Эпюра температурных полей в плоскости тормозного диска тележки, не оборудованной дефлектором (а) и оборудованной им (б)

Область конвективного разогрева воздушных масс находится в непосредственной близости от пар трения устройства торможения, компактна и не подвержена сносу в направлении металлоконструкции тележки под воздействием набегающего холодного потока.

Прогрев металлоконструкций тележки вследствие работы тормозного оборудования с установленным дефлектором и без него существенного различия не имеет, однако разница состоит в условиях охлаждения после прекращения процесса торможения: низкоинерционные (в термическом плане) металлические элементы под воздействием холодного фронта набегающего потока охлаждаются интенсивнее, чем во внутреннем пространстве дефлектора. При отсутствии дефлектора создаются условия для обледенения, когда переохлажденные мелкодисперсные капельные образования сталкиваются с поверхностью конструкции, имеющей отрицательную температуру.

## Заключение

Таким образом, построенная пространственная аэродинамическая модель структуры движущихся воздушных масс в подвагонном пространстве грузовых и высокоскоростных составов позволяет установить особенности формирования снеговых и ледяных отложений на критически значимых для безопасности движения элементах конструкции ходовой части, принять меры по контролю за эволюцией их развития.

Статья подготовлена в рамках программы приграничного сотрудничества Kolarctic CBC Programme 2014–2020 (проект KO2011: инфраструктура арктических железных дорог в регионе Kolarctic).

## Библиографический список

1. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, А. Т. Бурков и др. ; под ред. И. П. Ки-

селева. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2018. – 428 с.

2. Вейнберг Б. П. Снег, иней, град, лед и ледники / Б. П. Вейнберг. – Одесса : Изд-во М. Шпенцерна, 1909. – 127 с.

3. Вейнберг Б. П. Снег, иней, град, лед и ледники. – 2-е изд., отр. и доб. / Б. П. Вейнберг. – Л. : ОНТИ, 1936. – 232 с.

4. Кравец В. В. Аэродинамика частично перекрытого межвагонного пространства скоростного поезда / В. В. Кравец, Е. В. Кравец // Наука и прогресс транспорта. Вестн. Днепропетровск. ун-та ж.-д. транспорта. – 2005. – Вып. 8. – С. 61–69.

5. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.

6. Гусев Ю. И. Конструирование и расчет машин химических производств : учебник для машиностроительных вузов по специальности «Химическое машиностроение и аппаратостроение» / Ю. И. Гусев, И. Н. Карасев, Э. Э. Кольман-Иванов и др. – М. : Машиностроение, 1985. – 408 с.

7. Алексеенко С. В. Численное моделирование обледенения цилиндра и профиля. Обзор моделей и результаты расчетов / С. В. Алексеенко, А. А. Приходько // Учен. зап. ЦАГИ. – 2013. – Т. XLIV. – № 6. – С. 25–27.

8. Messinger V. L. Equilibrium temperature on an unheated icing surface as a function of airspeed // Journal of Aeronautical Sciences. – 1953. – Vol. 20. – N 1. – P. 29–42.

9. Зыонг Де Тай. Обтекание планера гражданского самолета в условиях начальной стадии обледенения : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук, специальность : 01.02.05 / Зыонг Де Тай. – Жуковский : Центр. аэрогидродинам. ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского, 2018. – 27 с.

10. Борьба со снегом и гололédом на транспорте: материалы II Междунар. симпозиума. – М. : Транспорт, 1986. – 216 с.

11. Солтанов С. Х. Экологические последствия применения противообледенительных жидкостей «octaflo eg» и «maxflight 04» при обработке воздушных судов гражданской авиации в осенне-зимний период / С. Х. Солтанов // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2016. – Вып. 6. – С. 1–4.

12. ГОСТ Р 54264–2010. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Методы и процедуры противообледенительной обработки самолетов. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2010.

13. Чурков Н. А. Аэродинамика железнодорожного поезда / Н. А. Чурков. – М. : Желдориздат, 2007. – 332 с.

Дата поступления: 08.02.2021

Решение о публикации: 18.02.2021

**Контактная информация:**

ПОЛЯКОВА Екатерина Яновна – аспирант;  
iglkotik@gmail.com

ПОЛЯКОВ Борис Олегович – аспирант;  
poliakov.bo@gmail.com

ДУБИНСКИЙ Сергей Иванович – техн. эксперт,  
канд. техн. наук; Dubinsky.sergey@vniizht.ru

## On icing of railway rolling stock under operating conditions of Northern Latitudinal Railway

E. Ya. Polyakova<sup>1</sup>, B. O. Polyakov<sup>1</sup>, S. I. Dubinskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup> АО “Research Institute Railway Transport”, 10, 3-ya Mutizhenskaya ul., Moscow, 129626, Russian Federation

**For citation:** Polyakova E. Ya., Polyakov B. O., Dubinskiy S. I. On icing of railway rolling stock under operating conditions of Northern Latitudinal Railway. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 72–79. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-72-79

### Summary

**Objective:** Study of the mechanism of forming compacted snow masses deposits on the surfaces of the undercar space and undercarriage of the rolling stock, study of forming microclimatic conditions in the niches of the undercarriage due to the interaction of air masses of the incoming flow with convective flows formed during the operation of the brake equipment. **Methods:** Solid models in the SolidWorks software package are developed, CFD analysis is implemented by the finite volume method in the FlowSimulation module based on the numerical solution of the Navier–Stokes equations. **Results:** By means of numerical modeling, the presence of a centrifugal-transverse zone of the fluid behind the surface of the wheel rim was established, as a result of which drops are carried out in the radial direction, adhering to the metal parts of the undercar space, creating a white type of ice formations that can increase in size due to the braking process. To redirect the flow containing snow inclusions, a deflector device is proposed. Diagrams of temperature fields in the plane of the bogie brake discs were obtained with and without a deflector, a comparative analysis was carried out, and a conclusion was made about the necessity of using the device. **Practical importance:** The performed numerical modeling made it possible to visually demonstrate the main zones of the ice build-up formation on the undercarriage of a moving rolling stock and to identify a variant of controlling the dimensions of these areas using the proposed device of a mechanical deflector.

**Keywords:** Undercarriage space, structure of the disturbed medium of air masses, icing, numerical experiment, microclimatic conditions, aerodynamics, CFD analysis.

## References

1. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Burkov A. T. et al. *Vysokoskorostnoy zheleznodorozhnyy transport. Uchebnoye posobiye [High-speed railway transport. Textbook]*. Moscow, Training Center for Education on the Railway Transport Publ., 2018, 428 p. (In Russian)
2. Veynberg B. P. *Sneg, iney, grad, led i ledniki [Snow, frost, hail, ice and glaciers]*. Odessa, M. Spencern Publishing House, 1909, 127 p. (In Russian)
3. Veynberg B. P. *Sneg, iney, grad, led i ledniki [Snow, frost, hail, ice and glaciers]*. 2nd revised and expanded ed. Leningrad, Joint Scientific and Technological Institute Publ., 1936, 232 p. (In Russian)
4. Kravets V. V. & Kravets E. V. Aerodinamika chastichno perekrytogo mezhvagonnogo prostranstva skorostnogo poyezda [Aerodynamics of partially covered intercar space of a high-speed train]. *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta [Science and progress of transport. Bulletin of Dnepropetrovsk University of Railway transport]*, 2005, iss. 8, pp. 61–69. (In Russian)
5. Alyamovsky A. A. *SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskiye zadachi [SolidWorks Simulation. How to solve practical problems]*. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2012, 448 p. (In Russian)
6. Gusev Yu. I., Karasev I. N., Kol'man-Ivanov E. E. et al. *Konstruirovaniye i raschet mashin khimicheskikh proizvodstv. Uchebnik dlya mashinostroitel'nykh vuzov po spetsial'nosti "Khimicheskoye mashinostroyeniye i apparatostroyeniye" [Design and calculation of machines for chemical production. Textbook for mechanical engineering universities, speciality "Chemical engineering and apparatus engineering"]*. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1985, 408 p. (In Russian)
7. Alekseenko S. V. & Prikhodko A. A. Chislennoye modelirovaniye obledeneniya tsindra i profilya. Obzor modeley i rezul'taty raschetov [Numerical simulation of cylinder and profile icing. Review of models and results of calculations]. *Uchenyye zapiski TSAGI [Central Aerohydrodynamic Institute scientific notes]*, 2013, vol. XLIV, no. 6, pp. 25–27. (In Russian)
8. Messinger B. L. Equilibrium temperature on an unheated icing surface as a function of airspeed. *Journal of Aeronautical Sciences*, 1953, vol. 20, no. 1, pp. 29–42.
9. Zyong De Tay. *Obtekaniye planera grazhdanskogo samoleta v usloviyakh nachal'noy stadii obledeneniya. Avtoreferat dis. ... kand. fiz.-mat. nauk, spetsial'nost: 01.02.05 [Flow of the airframe of a civil aircraft in the conditions of the initial stage of icing. Abstract of PhD thesis, speciality: 01.02.05]*. Zhukovskiy, Prof. N. E. Zhukovskiy Central Aerohydrodynamical Institute Publ., 2018, 27 p. (In Russian)
10. Bor'ba so snegom i gololodom na transporte. Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma [Fighting snow and ice in transport. Materials of the II International symposium]. Moscow, Transport Publ., 1986, 216 p. (In Russian)
11. Soltanov S. Kh. Ekologicheskiye posledstviya primeneniya protivobledenitel'nykh zhidkostey "octaflo eg" i "maxflight 04" pri obrabotke vozдушnykh sudov grazhdanskoy aviatsii v osenne-zimniy period [Environmental consequences of the use of anti-icing liquids "octaflo eg" and "maxflight 04" in the treatment of civil aviation aircraft in the autumn-winter period]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]*, 2016, iss. 6, pp. 1–4. (In Russian)
12. GOST R 54264–2010. *Vozdushnyy transport. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta aviatsionnoy tekhniki. Metody i protsedury protivobledenitel'noy obrabotki samoletov. Obshchiye trebovaniya [Air transport. Aircraft maintenance and repair system. Aircraft de-icing methods and procedures. General requirements]*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. (In Russian)
13. Churkov N. A. *Aerodinamika zheleznodorozhnogo poyezda [Aerodynamics of a railway train]*. Moscow, Zheldorizdat Publ., 2007, 332 p. (In Russian)

Received: February 08, 2021

Accepted: February 18, 2021

### Authors' information:

Ekaterina Ya. POLYAKOVA – Postgraduate Student; iglkotik@gmail.com

Boris O. POLYAKOV – Postgraduate Student; poliakov.bo@gmail.com

Sergey I. DUBINSKIY – Technical Expert, PhD of Engineering; Dubinsky.sergey@vniizht.ru

УДК 621.333-19(045)

## Оценка ресурса и характеристик изоляции тяговых двигателей локомотивов методом ускоренного теплового старения

Д. И. Прохор, Н. В. Грачев

АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Российская Федерация, 140402, Московская обл., Коломна, ул. Октябрьской революции, 410

**Для цитирования:** Прохор Д. И., Грачев Н. В. Оценка ресурсов и характеристик изоляции тяговых двигателей локомотивов методом ускоренного теплового старения // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 80–94.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-80-94

### Аннотация

**Цель:** Описание эквивалентного режима ускоренного теплового старения системы изоляции электрических машин для подтверждения ресурса, соответствующего заданным сроку и условиям эксплуатации. **Методы:** Эквивалентный режим ускоренного теплового старения был определен исходя из правила Монтзингера и опробован при выполнении научно-исследовательской опытно-конструкторской работы (НИОКР) по разработке, изготовлению и проведению комплекса стендовых и эксплуатационных испытаний системы изоляции повышенного класса нагревостойкости теплового тягового двигателя. **Результаты:** Выявлена актуальность выполнения НИОКР, вследствие выполнения которой и потребовалась реализация идеи, основанной на утверждении о сокращении ресурса изоляции электрических машин при превышении допустимых нагревов на 8–12 °С к различным видам изоляционных материалов. Представлены преимущества излагаемого метода по отношению к традиционным решениям такой задачи, а также охарактеризованы улучшенные потребительские свойства тягового электродвигателя тепловоза с замененной системой изоляции повышенного класса нагревостойкости. Как правило, экспериментальные испытания и данные опытной эксплуатации являются приемлемой основой для термической оценки электроизоляционных материалов. Однако при этом важно помнить о соблюдении критерия научности и не использовать в анализе результаты испытаний разных типов. На основе мирового опыта диагностики дополнительных параметров изоляции для контроля состояния параметров изоляции определена и практически подтверждена возможность внедрения приборов контроля изоляции серии «Доктор». В совокупности с результатами последующих эксплуатационных испытаний, контроль изоляции при которых проводился также при помощи данных мобильных приборов, утверждается, что после соответствующих исследовательских работ, благодаря мобильным устройствам серии «Доктор», возможно осуществлять предиктивную аналитику выхода из строя тяговых электродвигателей (ТЭД) в любых условиях эксплуатации. Определено и применено на практике функциональное значение ТЭД. Разработанная специалистами АО «ВНИКТИ» система изоляции класса «Н» выполнена в основном на базе изоляционных материалов производства АО «Холдинговая компания “Элинар”», в качестве пропиточного материала применяется компаунд «Элпласт 180 ИД» (АО «Электроизолит») или его аналог «Элком-180» (АО «Холдинговая компания “Элинар”»), для якорных катушек и уравнителей – обмотанный провод ППИПК-2 в полиимидно-фторопластовой изоляции (ГК «Москабельмет»). **Практическая значимость:** Констатируется, что все стадии изготовления и испытаний, определенные на начальной стадии НИОКР, подтвердили результаты этапов разработки (капитальный ремонт (изготовление) опытных образцов ТЭД с использованием новой системы изоляции по конструкторской документации АО «ВНИКТИ»), а стендовые испытания – типовые характеристики, заданный ресурс и характеристики изоляции при эквивалентном ускоренном тепловом старении, соответствующем сроку работы электродвигателя 20 лет в рядовой эксплуатации на тепловозе, остаточный ресурс элементов системы изоляции натурально вырезанных сегментов якоря, катушек главных и добавочных полюсов. В специализированной лаборатории АО «Холдинговая компания “Элинар”» изготовлен опытный тепловозокомплект ТЭД с исследуемой системой изоляции и осуществлена его

установка на две секции магистрального тепловоза 2ТЭ116. Эксплуатационные испытания опытного тепловозокомплекта ТЭД в условиях эксплуатации прошли успешно.

**Ключевые слова:** Тяговый электродвигатель, изоляция, тепловое старение, остаточный ресурс, дополнительные параметры изоляции, применение приборов серии «Доктор-060М» для контроля изоляции.

## Введение

Улучшению потребительских характеристик локомотивов и увеличению периода межремонтного обслуживания их сборочных частей в ОАО «РЖД» придается первостепенное значение. И хотя почти повсеместно производители новых тепловозов переходят на двигатели – аналоги ЭД133 с классом нагревостойкости «Н», количество таких двигателей не всегда удовлетворяет техническим потребностям ОАО «РЖД». Использование двигателей типа ЭД118 (классов нагревостойкости «F» и «F/Н») в ремонтном цикле остается пока еще актуальным.

Оздоровление локомотивного парка через заводские ремонты и модернизацию энергопотребляющих систем – стратегическая задача. Энергопотребляющими системами локомотивов в первую очередь являются тяговые силовые цепи. Анализ технического состояния локомотивного парка ОАО «РЖД», проводимый ежегодно Департаментом локомотивного хозяйства, показывает, что из узлов силовых цепей локомотивов недостаточно надежны электрическая аппаратура и тяговые электродвигатели (ТЭД). Их критическое состояние чаще проявляется в межремонтные периоды эксплуатации локомотивов, чем во время выполнения планово-предупредительных ремонтов, и в конечном счете поступающие на заводские виды ремонта локомотивы имеют не более 30% ТЭД, установленные при постройке или на предыдущих «тяжелых» видах ремонта.

Анализ неисправностей ТЭД локомотивов показывает, что более 53% неисправностей приходится на низкое качество изоляции, из них 43% составляют межвитковые замыкания и пробой изоляции, из-за чего не обеспечивается их требуемый ресурс до смены изоляции на

среднем или капитальном ремонте. При этом в большинстве случаев причиной недостаточности ресурса систем изоляции являются температурные воздействия на изоляцию обмоток ТЭД при поездной работе.

Снижение температурного воздействия за счет повышения мощности охлаждающих систем ТЭД локомотива приведет к ухудшению его энергоэффективности, уменьшению КПД и полезного использования мощности на тягу, а на существующих локомотивах это технически невозможно без критичных изменений конструкции ряда систем ТЭД.

Данная проблема имеет принципиальное решение, благодаря которому фактическое состояние системы изоляции ТЭД не только станет достаточным для реализации требований периодичности ремонтов по замене изоляции при различных условиях эксплуатации, но и будет иметь ресурсный запас для возрастающих критериев использования и загрузки локомотивов. Это решение заключается в использовании системы изоляции нагревостойкости двумя классами выше, чем минимально допустимый класс по ГОСТ 8865–93 [1], определенный исходя из средневзвешенной эксплуатационной температуры нагрева изоляции ТЭД.

В настоящее время на отечественных предприятиях разработаны и освоены в производстве изоляционные материалы, рассчитанные на применение в системах изоляции электрических машин класса «Н» (180 °С) и выше. И все вновь создаваемые и модернизируемые системы изоляции требуют опробования этих материалов и комплексных испытаний.

Многие электроизоляционные материалы, относящиеся к одному основному типу, поставляются в модификациях с разной нагревостойкостью. Следовательно, общая химиче-

ская природа электроизоляционного материала не характеризует их термические возможности. При использовании изоляции в электротехнических изделиях характеристики нагревостойкости отдельных материалов могут меняться в зависимости от их комбинации. Кроме того, нагревостойкость изоляции в электротехнических изделиях также сильно зависит от конкретных функций, возложенных на них.

Испытание материалов, предназначенных для применения в электротехнических изделиях, включает в себя оценку материала, предназначенного для использования в системе изоляции в качестве компонента, а также материала, используемого отдельно или в качестве составляющей простой комбинации в системе изоляции.

Как правило, экспериментальные исследования и данные опытной эксплуатации являются приемлемой основой для термической оценки электроизоляционных материалов. Однако при этом важно помнить о соблюдении критерия научности и не использовать в анализе результаты испытаний разных типов.

Данное решение было успешно реализовано специалистами АО «ВНИКТИ» в НИОКР «Разработка системы изоляции повышенного класса нагревостойкости для тепловозных тяговых электродвигателей типа ЭД118, обеспечивающей повышение надежности и ресурса», результаты которого были приняты и высоко оценены заказчиком (АО «Желдорремаш»), а разработанный в ходе НИОКР комплект конструкторской документации передан на хранение в ПКБ ЦТ – филиал ОАО «РЖД».

По результатам законченных НИОКР в АО «ВНИКТИ» разрабатываются и внедряются узлы и агрегаты для вновь создаваемых и находящихся в эксплуатации локомотивов, грузовых вагонов и путевых машин. Продукция института сопровождается в процессе эксплуатации не только в гарантийный период, но и в течение последующего срока службы.

Созданные в институте экспериментальная база и школа научно-конструкторских кадров позволяют проводить научные исследования, разработку, изготовление и всесторонние

испытания тягового подвижного состава, вагонов и путевых машин и их отдельных узлов и систем. Имеется свыше 40 стендов для различных видов испытаний, включая климатические и вибрационные, специализированные вагоны-лаборатории для проведения динамико-прочностных, тягово-теплотехнических, электротехнических, тормозных, виброакустических испытаний локомотивов, вагонов и путевых машин.

### **Условия возникновения задачи поиска метода ускоренного теплового старения**

Разработанная специалистами АО «ВНИКТИ») система изоляции класса «Н» выполнена в основном на базе изоляционных материалов производства АО «Холдинговая компания “Элинар”», в качестве пропиточного материала применяется компаунд «Элпласт 180 ИД» (АО «Электроизолит») или его аналог «Элком-180» (АО «Холдинговая компания “Элинар”»), для якорных катушек и уравнивателей – обмотанный провод ППИПК-2 в полиимидно-фторопластовой изоляции (ГК «Москабельмет»).

Применение на электродвигателях типа ЭД118 современных изоляционных материалов класса «Н» совместно с пропиточным компаундом при той же производительности вентиляторов охлаждающих устройств тяговых двигателей позволяет:

- снизить перегревы обмоток относительно нормируемых для данного класса изоляции примерно на 20–30 °С при прежних токовых нагрузках двигателя и повышенной теплопроводности системы изоляции класса «Н», что обеспечит срок службы изоляции не менее 20 лет для штатной эксплуатации на тепловозах;

- повысить длительную силу тяги теплового вагона примерно на 10% при увеличении тока продолжительного режима и момента, а в режимах ограниченной продолжительности эти показатели могут быть еще выше.

Основные параметры ТЭД ЭД118 класса «F» и полученные в результате разработки системы класса «H» указаны в табл. 1.

Для подтверждения заявленных характеристик и технологической пригодности на заводских видах ремонта потребовался комплекс мероприятий, испытаний и проверок опытной системы изоляции на начальных этапах:

- капитальный ремонт (изготовление) опытных образцов ТЭД с использованием новой системы изоляции по конструкторской документации АО «ВНИКТИ»;

- стендовые испытания подтверждения типовых характеристик по ГОСТ 2582–2013 [2];

- подтверждение заданных ресурса и характеристик изоляции при эквивалентном ускоренном тепловом старении, выполненное на натуральных образцах ТЭД, соответствующем сроку их работы в течение 20 лет в рядовой эксплуатации на тепловозе, что является нетипичным и стало причиной поиска соответствующего решения данной задачи;

- подтверждение остаточного ресурса элементов системы изоляции натурально вырезанных сегментов якоря, катушек главных и добавочных полюсов в специализированной лаборатории АО «Холдинговая компания “Элинар”».

Для подтверждения эксплуатационной пригодности опытной системы изоляции был изготовлен тепловозокомплект опытных ТЭД с исследуемой системой изоляции. Опытные ТЭД были установлены на двух секциях магистрального тепловоза 2 ТЭ116, эксплуатируе-

мого в депо Дно и депо Выборг Октябрьской железной дороги.

Капитальный ремонт двух электродвигателей ЭД118 А (заводские номера 52072 и 52076) с установкой изоляции класса «H» проведен в условиях Ярославского электровозоремонтного завода (ЯЭРЗ) в соответствии с действующими правилами ремонта электрических машин тепловозов и принятыми технологическими процессами, а также с учетом дополнительных требований конструкторской документации на систему изоляции класса «H» с проведением заводских приемосдаточных испытаний, что подтвердило технологическую пригодность опытной системы изоляции (рис. 1).

После ремонта двигатели были доставлены в АО «ВНИКТИ» для проведения типовых и уникальных испытаний на подтверждение заданного ресурса и характеристик изоляции при эквивалентном ускоренном тепловом старении, соответствующем сроку работы ТЭД. Результаты успешного проведения типовых испытаний приведены в табл. 1.

В условиях выполнения НИОКР было определено, что для ТЭД с новой системой изоляции должен быть подтвержден ресурс, соответствующий штатной эксплуатации тепловоза в течение 20 лет.

Применение шаблонных секций при испытаниях ресурса, согласно ГОСТ 14950–75 [3], является более сложным и затратным, чем описываемый эквивалентный метод, а сами шаблонные секции не могут в точности повторить укладку,

ТАБЛИЦА 1. Основные параметры работы ТЭД типа ЭД118

| Параметр  | Продолжительный режим |           | Часовой режим |
|---|-----------------------|-----------|---------------|
|   | Класс «F»             | Класс «H» |               |
| Подведенная мощность, кВт                                 | 333                   | 390       |               |
| Расход охлаждающего воздуха, м <sup>3</sup> /с            | 1,3                   |           |               |
| Ток якоря, А  | 720                   | 780       | 850           |
| Вращающий момент, Н·м                                     | 4984                  | 5494      | 6112          |
| Допустимая расчетная сила тяги шестiosного тепловоза, кгс | 24 500                | 27 000    | 30 000        |
| Увеличение расчетной силы тяги, %                         | –                     | 10,2      | 22,6          |



Рис. 1. Приемосдаточные испытания ТЭД типа ЭД118А с изоляцией класса «Н» после ремонта на ЯЭРЗ

посадки и зазоры уложенной изоляции и проводов в реальном двигателе, в связи с чем и было выбрано решение по выполнению ресурсных испытаний на натурном образце ТЭД с его самонагревом под нагрузкой. Допустимость проверки ресурса на натуральных образцах электрических машин была подтверждена Л. М. Бернштейн [4].

По сравнению с испытаниями систем изоляции на макетах по ГОСТ 10518–88 [5] и ГОСТ 14950–75 [3] испытания, осуществленные специалистами АО «ВНИКТИ», менее удобны и ограничивают выборку образцов, но позволяют получить более точные сведения о ресурсе именно системы изоляции при проведении цикла ускоренного теплового старения, достигаемого повышенными нагрузками, током возбуждения и ограничением количества охлаждающего воздуха, с последующим выдерживанием двигателя в камере влажности при температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности 100 % (конденсация влаги) в течение 48 ч.

Уникальность требуемых испытаний заключалась в следующем:

- тепловое старение изоляции выполнялось на двигателе в сборе, что является абсолютным и прямым измерением и натурно характеризует совокупность примененных изоляционных материалов как законченную, финализированную систему, с которой ТЭД будут использоваться в реальной эксплуатации;
- испытаниями подтверждался тепловой ресурс заданного значения всей совокупности системы изоляции, соответствующий 20 годам штатной эксплуатации ТЭД в составе магистрального грузового тепловоза, а не фатальное значение конечного ресурса элементов системы изоляции;
- благодаря применению эквивалентного ускоренного режима теплового старения эксплуатационный цикл штатной общесетевой работы на локомотиве продолжительностью в 20 лет испытываемому двигателю удалось «прожить» за 14 дней в круглосуточном режиме.

### Решение задачи поиска метода ускоренного теплового старения. Выбор режима

Штатные электродвигатели типа ЭД118 (А, Б) широко применяются на магистральных и маневровых тепловозах с классом изоляции «F» (155 °С). Срок службы изоляции этого класса в электродвигателях до замены на капитальном ремонте исчисляется продолжительностью в 12 лет.

Для штатных электродвигателей такого типа номинальный ток продолжительного режима составляет 720 А. В результате расчетных исследований электродвигателей с разработанной системой изоляции класса «Н» по допустимому нагреву возможна реализация тока продолжительного режима на уровне 780 А и тока часового режима на уровне 850 А.

Допустимое увеличение тока двигателей типа ЭД118 с системой изоляции класса «Н» в продолжительном режиме и режимах ограниченной продолжительности позволяет обеспечить повышенные тяговые свойства тепловозов, в частности тепловозов 2 ТЭ116 с системой поосного регулирования силы тяги.

По данным на период разработки рассматриваемой системы изоляции по сети ОАО «РЖД» средний пробег грузового магистрального тепловоза за год составил 150 тыс. км, средняя техническая скорость тепловоза – 42,5 км/ч. Таким образом, наработка ТЭД за год будет равна:  $150\,000/42,5 = 3529,41$  ч. За 20 лет эксплуатации ТЭД будет иметь наработку:  $3529,41 \cdot 20 = 70\,588,24$  ч [6].

Продолжительность различных токовых нагрузок для двигателя ЭД118 и влияние изменения температуры воздуха окружающей среды в рядовой эксплуатации ТЭД в течение года определены в соответствии с [7].

В качестве базовых приняты данные эксплуатации ТЭД ЭД118 Б грузовых магистральных тепловозов во многих климатических зонах работы локомотива при штатном охлаждении [7], которые были получены на основе экспериментальных поездок тепловозов с поездами

со средним весом 4240 т, что остается достаточно актуальным и в настоящее время. При этом учитывалась длительность как применения различных значений тока, так и действие разных температур окружающей среды. Согласно расчетам [7], ресурс изоляции ТЭД именно по фактору теплового старения изоляции для разных климатических зон средневзвешенно составляет 56–57 лет. Штатные ТЭД имели нагревостойкость изоляции класса «F».

Исходя из этих данных, найдем эквивалентную температуру изоляции двигателя в эксплуатации, соответствующую ресурсу 56 лет для изоляции класса «F». Для этого определим наработку в часах за 56 лет с использованием полученной ранее годовой наработки. Она составит 197 646,96 ч.

Согласно правилу Монтзингера [7],

$$D_{\theta_1} = D_{\theta} \cdot 2^{\frac{\theta - \theta_1}{\Delta\theta}}. \quad (1)$$

В (1)  $D_{\theta_1}$  – срок службы изоляции при работе с температурой  $\theta_1$ , при которой требуется оценка ресурса изоляции;  $D_{\theta}$  – эмпирический срок службы изоляции при действующей температуре  $\theta$ ;  $\Delta\theta$  – увеличение температуры, при котором срок службы изоляции данного класса сокращается в 2 раза (от 8 до 12 °С).

Применяем правило Монтзингера для определения эквивалентной температуры нагрева изоляции ТЭД относительно  $\theta_1$ :

$$\theta_1 = \theta_n - \Delta\theta \cdot \log_2(D_{\theta_1}/D_{\theta}). \quad (2)$$

В (2)  $\theta_1$  – температура нагрева изоляции, при которой она сможет работать в течение требуемого срока;  $D_{\theta_1}$  – требуемый срок службы изоляции (56 календарных лет в часах работы);  $D_{\theta}$  – базовый ресурс ТЭД при температуре  $\theta_n = 155$  °С [5].

При подстановке в выражение (2) исходных данных для изоляции класса «F» ( $D_{\theta} = 20\,000$  ч;  $D_{\theta_1} = 197\,600$  ч;  $\theta_n = 155$  °С;  $\Delta\theta = 10$  °С) получим, что  $\theta_1 = 121,95$  °С.

Зависимость срока службы изоляции от ее температуры приведена на рис. 2.

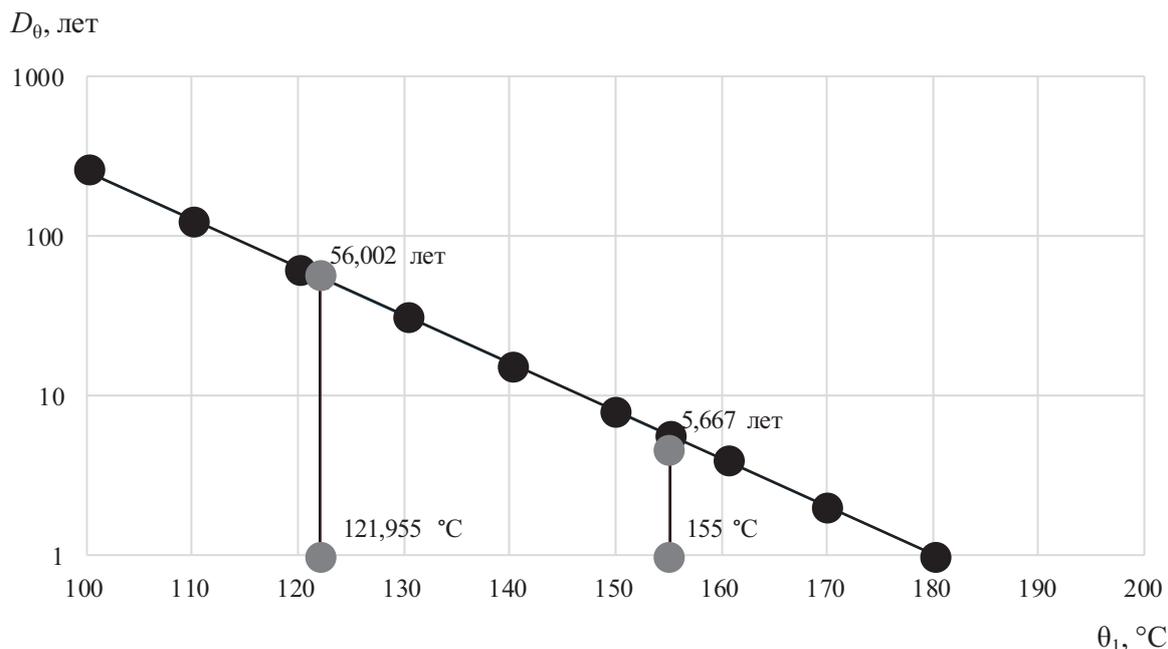


Рис. 2. Зависимость срока службы изоляции от ее температуры при работе ТЭД 3529,41 ч/год

В соответствии с поставленной задачей установим для гарантированного подтверждения ту часть ресурса изоляции, которая соответствует 20 годам эксплуатации ТЭД при полученной эквивалентной температуре штатной эксплуатации на тепловозах. Определим эквивалентное значение температуры изоляции класса «Н», при котором изоляция может быть состарена за приемлемый срок стендовых испытаний – 14 дней (336 ч) аналогично тепловому старению за 20 лет эксплуатационной работы ТЭД на тепловозе. Согласно представленным выше расчетам, наработка в часах за этот срок составляет 70 588,24 ч, эквивалентная эксплуатационная температура изоляции – 121,95 °C. Температура эквивалентного режима ускоренного старения изоляции класса «Н» устанавливалась исходя из продолжительности стендовых испытаний 336 ч, для чего было применено правило Монцингера, справедливость которого для изоляции класса «Н» была подтверждена на основе исследований кремний-органических смол, при этом  $\Delta\theta = 10$  °C [7]:

$$\theta_1 = \theta_n - \Delta\theta \cdot \log_2(D_{01}/D_0) =$$

$$= 121,95 - 10 \cdot \log_2(336/70588,24) = 199,09 \approx 200 \text{ °C}. \quad (3)$$

Таким образом, температура эквивалентного теплового старения изоляции для заданных условий эксплуатации в течение 20 лет составила 200 °C. При испытании системы изоляции на натуральных образцах ТЭД в сборе проводили с непосредственным нагружением на реостат.

### Практическая реализация решения на стенде

При испытаниях температура якоря, главных и добавочных полюсов контролируется термомпарами типа ХК, индикаторами максимальной температуры «Интем» и бесконтактным прибором марки ТМ-908, измеряющим температуру по инфракрасному излучению нагретых поверхностей электродвигателя. Термомпары закрепляются (приклеиваются) на поверхности главных и добавочных полюсов – в четырех точках на разных полюсах. Индикаторы максимальной температуры «Интем» устанавливаются на по-

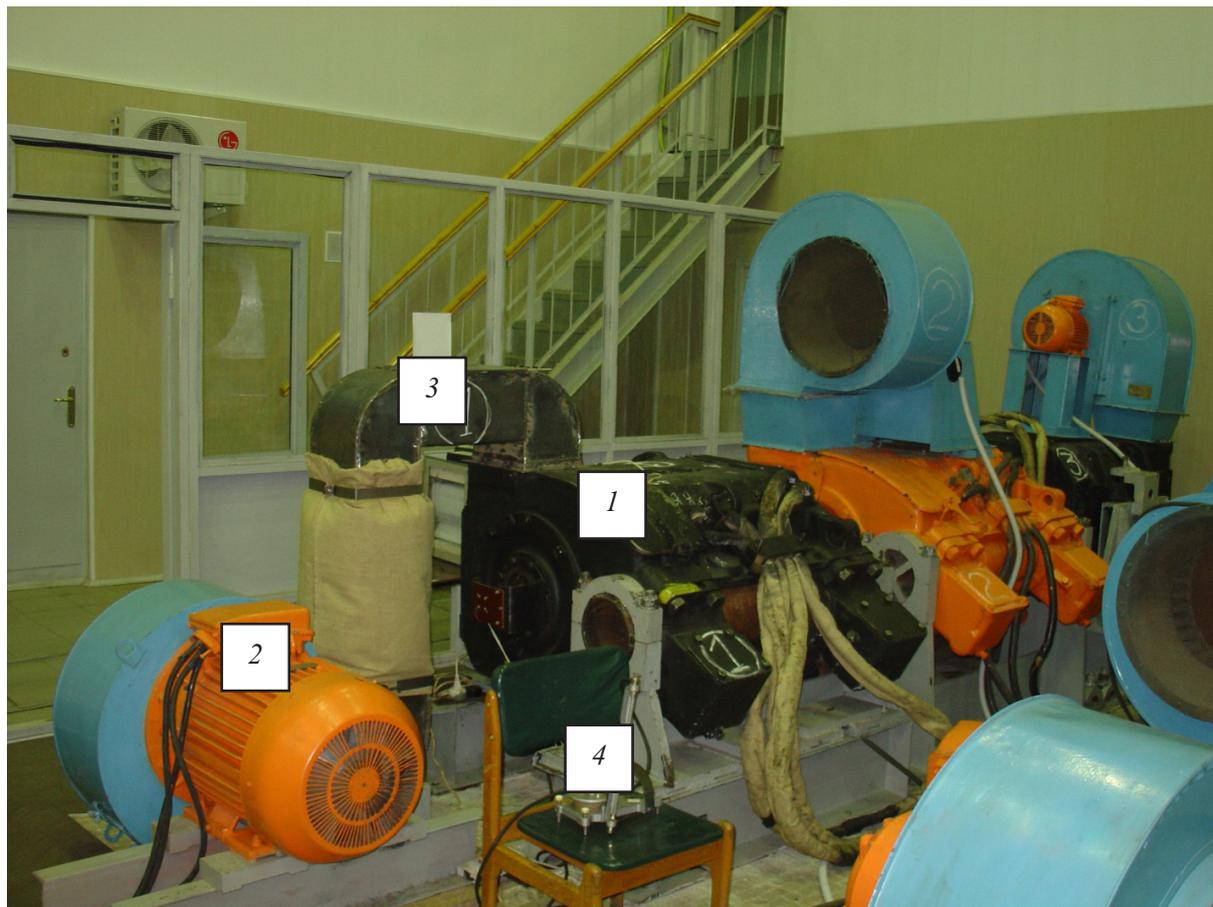


Рис. 3. Стенд испытания системы изоляции на натуральных образцах в сборе:  
1 – опытный ТЭД типа ЭД118А; 2 – регулируемая вентиляторная установка;  
3 – дополнительная регулирующая заслонка распределения охлаждающего потока;  
4 – микроманометр

люсах, зубцах и бандажах якоря. После остановки двигателя с помощью переносного прибора ТМ-908 фиксируется нагрев коллектора, бандажа якоря и полюсов (дополнительно к показаниям термомпар и индикаторов).

Цикл ускоренного теплового старения проводится методом непосредственного нагружения испытуемого двигателя ЭД118 с системой изоляции класса «Н». В качестве нагрузки применен второй электродвигатель ЭД118 с системой изоляции класса «Н», работающий в режиме генератора. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 4.

Испытываемый двигатель включался в работу при уменьшенном количестве охлаждающего воздуха. Количество требуемого охлаждающе-

го воздуха и величина нагрузки определяются опытным путем.

Во время проведения цикла теплового старения температура наиболее нагретых частей машины (главные полюса) поддерживалась на уровне  $200 \pm 5$  °С.

В процессе регулирования тока нагружаемого двигателя и расхода охлаждающего его воздуха максимальный наблюдаемый режим по току работы стенда при поддержании температуры наиболее нагретых частей двигателя ТЭД1 около  $200$  °С ( $200 \pm 5$  °С) не превышал значений, представленных в табл. 2.

Выборный режим самонагрева испытываемого ТЭД определялся опытным путем и был наиболее энергосберегающим, позволяющим как

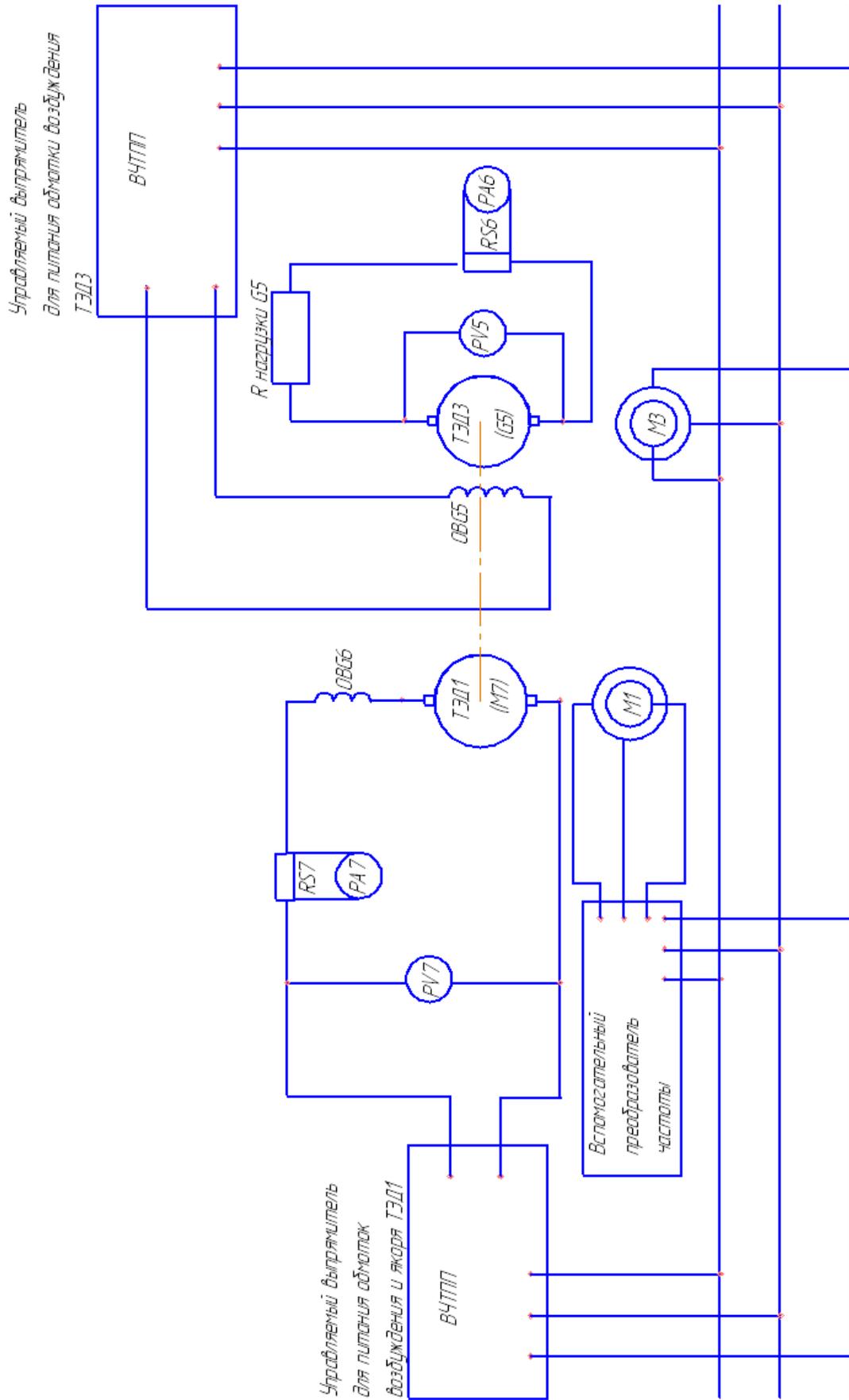


Рис. 4. Принципиальная схема стенда при проведении цикла термического старения ТЭД типа ЭД118 класса «Н»

ТАБЛИЦА 2. Основные параметры ТЭД типа ЭД118 класса нагревостойкости «Н» при тепловом старении изоляции

| ТЭД 1 (испытуемый) |           | ТЭД 3 (нагрузка) |                |                | $n_{дв}$ , об/мин |
|--------------------|-----------|------------------|----------------|----------------|-------------------|
| $U_1$ , В          | $I_1$ , А | $I_{возб.3}$ , А | $I_{як.3}$ , А | $U_{як.3}$ , В |                   |
| 177                | 350       | 300              | 277            | 188            | 240               |

поддерживать заданную температуру, так сохранять его составные части (коллектор, моторно-якорные подшипники) в исправном состоянии.

Цикл выдерживания электродвигателя в камере влажности проводится только после завершения цикла теплового старения изоляции ТЭД. Перед установкой в камеру влажности двигатель нужно выдержать не менее суток в нормальных климатических условиях:

- температура воздуха плюс  $25 \pm 10$  °С;
- относительная влажность воздуха 40–80%;
- атмосферное давление 630–800 мм рт. ст.

Это требуется для выравнивания температуры двигателя с температурой окружающей среды.

Электродвигатель был помещен в камеру влажности с температурой  $20 \pm 5$  °С и относительной влажностью 100% (конденсация влаги) на 48 ч. По завершении цикла выдерживания электродвигателя в камере влажности не более чем через 15 мин после высыхания конденсата на открытых токоведущих частях ТЭД был включен в работу в режиме холостого хода при напряжении 50 В, после чего в течение 1 ч продемонстрировал полную работоспособность.

По завершению ресурсных испытаний испытуемый образец был разобран для визуального осмотра, в ходе которого дефектов изоляции, вспучиваний и деформации обмоток выявлено не было.

Проверка остаточного ресурса в физико-химической лаборатории АО «Холдинговая компания “Элинар”» [8] показала, что при проведении циклических испытаний образцов в течение 960 ч при 230 °С и 80 ч при испытательном напряжении 1,5 кВ (50 Гц) не было зафиксировано ни одного случая пробоя изоляции образцов, что свидетельствует о ресурсе системы изоляции, превышающем 20 тыс. ч при базовом воз-

действии температуры 180 °С (Н) и рабочем напряжении 1 кВ.

### Контроль изменения состояния изоляции при эквивалентном тепловом старении

При проведении испытаний производился контроль сопротивления изоляции, а также измерения других параметров изоляции при помощи мобильных приборов «Доктор-060 М» и «Доктор-060Z» [9]:

- коэффициента абсорбции;
- возвратного напряжения;
- емкости и тангенса диэлектрических потерь.

Охарактеризуем приведенные параметры.

*Коэффициент абсорбции.* При приложении к изоляционной конструкции постоянного напряжения возникает кратковременный импульс тока заряда геометрической емкости, медленно затухающий ток заряда абсорбционной емкости и постоянный ток, определяемый проводимостью, что показывает степень увлажнения и неоднородность изоляции. Коэффициент абсорбции – это величина, равная отношению сопротивления изоляции по результатам измерения на 15-й и 60-й секундах после подачи напряжения на объект ( $K_a = R_{60}/R_{15}$ ). Высокие значения ( $R_{60} > R_{15}$ ;  $K_a > 1$ ) свидетельствуют о том, что изоляция не содержит влаги, она сухая и не имеет явно выраженных дефектов. По мере старения изоляции коэффициент абсорбции снижается.

*Возвратное напряжение.* О степени старения изоляции можно судить по характеру процессов поляризации диэлектрика, которые определяются возвратным напряжением. Изоляция в течение минуты заряжается постоянным напряжением, чтобы в ней накопился заряд абсорб-

ции. Затем изоляция отключается от источника и замыкается накоротко на очень малый промежуток времени, за который емкость полностью разряжается, а заряд абсорбции, накопленный внутри изоляции, остается. За счет этого заряда на изоляции медленно возрастает напряжение, которое называют возвратным. По величине возвратного напряжения можно судить о состоянии изоляции. У изоляции высокого качества значение возвратного напряжения высокое, с уменьшением качества изоляции значение возвратного напряжения уменьшается.

*Емкость изоляции электрическая.* Емкость изоляции также позволяет оценивать ее качество: степень увлажнения изоляции, загрязнение, местное разрушение. Увеличение емкости у сухой изоляции говорит о развитии в изоляции перечисленных дефектов.

*Тангенс диэлектрических потерь.* Тангенс диэлектрических потерь характеризует удельные диэлектрические потери на единицу физической емкости диэлектрика при данных величинах приложенного переменного напряжения и его частоты. Увеличение значения тангенса говорит о росте потерь (в изоляции появились новые дефекты или получили развитие старые).

Результаты замеров дополнительных параметров изоляции испытуемых двигателей до и после испытаний приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что параметры изоляции ТЭД 1, находящегося в режиме эквивалентного ускоренного теплового старения 14 дней, ухудшились, что и следует предполагать для двигателя, эксплуатируемого в течение 20 лет.

Это подтверждает адекватность и правильность выбора средств контроля состояния изоляции испытываемых объектов, а также возможность применения приборов «Доктор-060 М» и «Доктор-060Z» для контроля дополнительных параметров изоляции ТЭД в дальнейшем.

В совокупности с результатами последующих эксплуатационных испытаний, контроль изоляции при которых осуществлялся также данными мобильными приборами, считаем, что после проведения соответствующих исследовательских работ с помощью указанных устройств можно осуществлять предиктивную аналитику выхода из строя ТЭД в любых условиях эксплуатации, что возможно выполнить при системном контроле на плановых видах ремонта в условиях сервисного депо.

### Заключение

Определен и опробован метод теплового старения системы изоляции электрических машин

ТАБЛИЦА 3. Результаты замеров дополнительных параметров изоляции

| Объект и время замера |                      | Сопротивление изоляции $R_{из}$ , МОм | Коэффициент абсорбции $K_a$ , Ед | Возвратное напряжение $U_{воз}$ , В | При частоте 1000 Гц |                               |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
|                       |                      |                                       |                                  |                                     | Емкость $C$ , нФ    | Тангенс угла потерь $D$ , мЕд |
| До испытаний          | ТЭД 1 (испытываемый) | 59,21                                 | 0,993                            | 36                                  | 38,83               | 1,9690                        |
|                       | ТЭД 3 (генератор)    | 25,20                                 | 0,998                            | 52                                  | 40,44               | 1,5570                        |
| После испытаний       | ТЭД 1 (испытываемый) | 23,50                                 | 0,800                            | 4                                   | 12,83               | 2,8370                        |
|                       | ТЭД 3 (генератор)    | 170,00                                | 1,400                            | 36                                  | 39,55               | 0,8694                        |

для подтверждения ресурса на натуральных образцах, соответствующего заданным сроку и условиям эксплуатации.

Рассматриваемый метод является более натурализованным и менее сложным, чем метод применения шаблонных секций, а также способен дать качественную оценку укладке, посадкам и зазорам уложенной изоляции и проводов в реальном двигателе.

Метод успешно опробован в выбранном режиме ускоренного теплового старения изоляции класса «Н» электродвигателя ЭД118 для ресурса, соответствующего сроку работы электродвигателя 20 лет в рядовой эксплуатации на тепловозе.

Применение описанного метода позволяет получить результаты реального физического состояния системы изоляции в ТЭД для условий контролируемого ресурса.

Подтверждена возможность контроля состояния изоляции при ресурсных испытаниях натуральных образцов по дополнительным параметрам изоляции – коэффициенту абсорбции, возвратному напряжению, емкости изоляции и значению тангенса диэлектрических потерь, которые в настоящее время не нормированы. Для выполнения предиктивной аналитики состояния изоляции ТЭД по ее дополнительным параметрам в эксплуатации требуются дополнительные исследовательские работы в условиях сервисного депо.

Для выполнения последующих эксплуатационных испытаний [10] на Октябрьской железной дороге, на Воронежском тепловозоремонтном заводе был изготовлен опытный тепловозоконкомплект ТЭД, который был установлен на две секции тепловоза 2 ТЭ116У-1431 при выполнении капитального ремонта.

Рассмотрение результатов эксплуатационных испытаний данной системы изоляции повышенного класса нагревостойкости для тепловозных ТЭД типа ЭД118, обеспечивающей повышение надежности и ресурса, а также ее промышленное применение будет являться темой отдельной статьи.

## Библиографический список

1. ГОСТ 8865–93 (МЭК 85–84). Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.
2. ГОСТ 2582–2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия (с Поправкой, с Изменением № 1). – М. : Стандартинформ, 2014. – 54 с.
3. ГОСТ 14950–75. Конструкция изоляции электрических машин с предварительно изолированными шаблонными секциями обмотки. Метод определения нагревостойкости (с Изменениями № 1, 2). – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
4. Бернштейн Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного назначения / Л. М. Бернштейн. – М. : Энергия, 1971. – 368 с.
5. ГОСТ 10518–88. Системы электрической изоляции и другие полимерные системы. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость (с Изменением № 1). – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 33 с.
6. Отчет о НИР № 27-88–05. – Коломна : АО «ВНИКТИ», 1988. – 243 с.
7. Хвостов В. С. Электрические машины. Машины постоянного тока / В. С. Хвостов ; под ред. И. П. Копылова. – М. : Высшая школа, 1988. – 336 с.
8. Протокол № ЛИ-06–07 «Оценка остаточного ресурса системы изоляции класса нагревостойкости Н модернизированного двигателя ЭД-118». – Наро-Фоминск : ОАО «Холдинговая компания “Элинар”», Служба технического развития ЭИМ, Лаборатория испытаний систем изоляции, 2007. – 7 с.
9. 11 ДК 401163.001 РЭ. Руководство по эксплуатации серии мобильных приборов контроля и диагностики «Доктор-060 М». – Омск : ООО «Омский завод транспортной электроники», 2007. – 60 с.
10. Программа эксплуатационных испытаний опытного комплекта тяговых электродвигателей типа ЭД-118 с изоляцией класса нагревостойкости «Н» в составе тепловоза 2 ТЭ116–1431. – М. : Департамент локомотивного хозяйства ОАО «РЖД», 2008. – 8 с.

Дата поступления: 15.01.2021

Решение о публикации: 19.01.2021

**Контактная информация:**

ПРОХОР Денис Иванович – аспирант, зав. отделом газового оборудования и газовых локомотивов конструкторского отделения по подвижному составу; Prohor\_Denis@mail.ru

ГРАЧЕВ Николай Валерьевич – аспирант, зав. лабораторией систем управления газовых локомотивов отдела тяговых и вспомогательных статических преобразователей научно-исследовательского конструкторского бюро по электрооборудованию и микропроцессорным системам управления; N\_V\_grachev@mail.ru

## Evaluation of the resource and characteristics of the insulation of traction motors of locomotives by means of accelerated heat aging method

**D. I. Prokhor, N. V. Grachev**

JSC “Research and Development Institute of Rolling Stock” (JSC “VNIKTI”), 410, October Revolution ul., Moscow region, Kolomna, 140402, Russian Federation

**For citation:** Prokhor D. I., Grachev N. V. Evaluation of the resource and characteristics of the insulation of traction motors of locomotives by means of accelerated heat aging method. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 80–94. (In Russian)  
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-80-94

### Summary

**Objective:** An equivalent mode of accelerated thermal aging of the insulation system of electrical machines is described to confirm the resource corresponding to a given period and operating conditions. **Methods:** The equivalent mode of accelerated heat aging was determined based on the Montzinger rule and tested in the course of research and development work (R&D) on the development, manufacture and implementation of a set of bench and operational tests of the insulation system of an increased heat resistance class of a diesel locomotive traction motor. **Results:** The relevance of R&D has been revealed, as a result of which the implementation of the idea was required, based on the statement about the reduction of the insulation resource of electrical machines when the permissible heating is exceeded by 8–12 °C to various types of insulating materials. The advantages of the method presented in the article in relation to traditional solutions of this problem are demonstrated, and also improved consumer properties of the traction electric motor of a diesel locomotive with a replaced insulation system of an increased class of heat resistance are presented. Generally, experimental tests and preliminary operational data are an acceptable basis for thermal evaluation of electrical insulating materials. However, it is important to remember that the scientific criterion is met and not to use the results of different types of tests in the analysis. Based on the world experience in diagnostics of additional insulation parameters for monitoring the state of insulation parameters, the possibility of using the “Doctor” series insulation monitoring devices has been determined and practically confirmed. Together with the results of subsequent operational tests, during which the insulation was also monitored using these mobile devices, it is argued that after carrying out the relevant research work, thanks to the mobile devices of the “Doctor” series, it is possible to carry out predictive analytics of the failure of traction motors (TED) in any operating conditions. The functional value is determined and applied in practice. The “H” class insulation system developed by the specialists of JSC “VNIKTI” is mainly based on insulating materials produced by JSC “Holding Company „Elinar“”; the compound “Elplast 180ID” (JSC “Electroizolit”) or its analogue “Elkom-180” JSC “Holding company „Elinar“”), for anchor coils and equalizers, a wound PPIPК-2 wire in polyimide-fluoroplastic insulation (GC “Moskabelmet”) is used. **Practical importance:** It is stated that all stages of manufacturing and testing, determined at the initial stage of R&D, confirmed the results of the deve-

lopment stages (overhaul (manufacture) of prototypes of TED using a new isolation system according to the design documentation of JSC “VNIKTI”). Bench tests have confirmed typical characteristics, specified resource and insulation characteristics with equivalent accelerated thermal aging corresponding to an electric motor’s service life of 20 years in ordinary operation on a diesel locomotive, residual life of elements of the insulation system of naturally cut armature segments, main and auxiliary poles coils. In the specialized laboratory of JSC “Holding Company „Elinar“”, an experimental TED diesel locomotive set with the investigated insulation system was manufactured and installed on two sections of the main-line diesel locomotive 2TE116. Operational tests of an experimental TED diesel locomotive set under operating conditions were successful.

**Keywords:** Traction motor, insulation, heat aging, residual life, additional insulation parameters, use of “Doktor-060M” series devices for insulation monitoring.

## References

1. GOST 8865–93 (MEK 85–84). *Sistemy elektricheskoy izolyatsii. Otsenka nagrevostoykosti i klassifikatsiya* [GOST 8865–93 (IEC 85–84). *Electrical insulation systems. Heat resistance assessment and classification*]. Moscow, Izdatel’stvo standartov [Publishing house of standards] Publ., 2003, 6 p. (In Russian)
2. GOST 2582–2013. *Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskoye usloviya (s Popravkoy, s Izmeneniyem no. 1)* [GOST 2582–2013. *Electric rotating traction machines. General specifications (Amendmended, with amendment no. 1)*]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 54 p. (In Russian)
3. GOST 14950–75. *Konstruktsiya izolyatsii elektricheskikh mashin s predvaritel’no izolirovannymi shablonnyimi sektiymi obmotki. Metod opredeleniya nagrevostoykosti (s Izmeneniyami no. 1, 2)* [GOST 14950–75. *Insulation design for electrical machines with pre-insulated template winding sections. Method for determination of heat resistance (with amendments no. 1, 2)*]. Moscow, Izdatel’stvo standartov [Publishing house of standards] Publ., 1982, 18 p. (In Russian)
4. Bernshteyn L. M. *Izolyatsiya elektricheskikh mashin obshchepromyshlennogo naznacheniya* [Isolation of electrical machines for general industrial purposes]. Moscow, Energiya Publ., 1971, 368 p. (In Russian)
5. GOST 10518–88. *Sistemy elektricheskoy izolyatsii i drugiye polimernyye sistemy. Obshchiye trebovaniya k metodam uskorenykh ispytaniy na nagrevostoykost’ (s Izmeneniyem no. 1)* [GOST 10518–88. *Electrical insulation systems and other polymer systems. General requirements for accelerated heat resistance test methods (with amendment no. 1)*]. Moscow, Izdatel’stvo standartov [Publishing house of standards] Publ., 1988, 33 p. (In Russian)
6. *Otchet o NIR no. 27-88-05* [Research report N 27-88-05]. Kolomna, JSC “VNIKTI” Publ., 1988, 243 p. (In Russian)
7. Khvostov V. S. *Elektricheskoye mashiny. Mashiny postoyannogo toka* [Electric machines. DC machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988, 336 p. (In Russian)
8. *Protokol no. LI-06-07 “Otsenka ostatochnogo resursa sistemy izolyatsii klassa nagrevostoykosti N modernizirovannogo dvigatelya ED-118”* [Protocol N LI-06-07 “Assessment of the residual life of the insulation system of heat resistance class H of the modernized ED-118 engine”]. Naro-Fominsk, JSC “Holding Company „Elinar“”, Sluzhba tekhnicheskogo razvitiya EIM [Technical Development Service of EIM], Laboratoriya ispytaniy sistem izolyatsii [Laboratory for testing insulation systems] Publ., 2007, 7 p. (In Russian)
9. *II DK 401163.001 RE. Rukovodstvo po ekspluatatsii seriya mobil’nykh priborov kontrolya i diagnostiki “Doktor-060M”* [II DK 401163.001 RE. *Operation manual for a series of mobile monitoring and diagnostic devices “Doctor-060M”*]. Omsk, OOO “Omskiy zavod transportnoy elektroniki” [LLC “Omsk plant of transport electronics”] Publ., 2007, 60 p. (In Russian)
10. *Programma ekspluatatsionnykh ispytaniy opyt-nogo komplekta tyagovykh elektrodvigateley tipa ED-118 s izolyatsiyey klassa nagrevostoykosti “H” v sostave teplovoza 2TE116-1431* [Program of operational tests of an experimental set of traction electric motors of ED-118 type with class “H” insulation of heat resistance as part of a diesel locomotive 2TE116-1431]. Moscow, Departament lokomotivnogo khozyaystva OAO “RZHD” [De-

partment of Locomotive Facilities, Russian Railways] Publ., 2008, 8 p. (In Russian)

Received: January 15, 2021

Accepted: January 19, 2021

**Authors' information:**

Denis I. PROKHOR – Postgraduate Student, Head of the Department of gas equipment and gas loco-

motives of the rolling stock design department; Prohor\_Denis@mail.ru

Nikolay V. GRACHEV – Postgraduate Student, Head of the Laboratory of control systems for gas locomotives of the Department of traction and auxiliary static converters of the Research and development bureau for electrical equipment and microprocessor control systems; N\_V\_grachev@mail.ru



УДК 656.073:658.8

## Анализ технических решений вагона-паллетовоза

Ю. П. Бороненко<sup>1</sup>, О. Д. Покровская<sup>1</sup>, Т. С. Титова<sup>1</sup>,  
Л. В. Цыганская<sup>1</sup>, Д. Г. Бейн<sup>2</sup>, С. В. Кондратенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> АО «НВЦ «Вагоны», Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 2

<sup>3</sup> ЗАО «Евросиб СПб-Транспортные системы», Российская Федерация, 197046, Санкт-Петербург, ул. Мичуринская, 4

**Для цитирования:** Бороненко Ю. П., Покровская О. Д., Титова Т. С., Цыганская Л. В., Бейн Д. Г., Кондратенко С. В. Анализ технических решений вагона-паллетовоза // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 95–120.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-95-120

### Аннотация

**Цель:** По итогам проведенного маркетингового исследования составить портрет потенциального потребителя перевозок сборных грузов в вагоне-паллетовозе и матрицу рыночных потребительских ожиданий с оценкой клиентоориентированности и платежеспособного спроса; дать перечень технических требований к вагону, потенциальных маршрутов, дополнительных опций и услуг по перевозке сборных грузов в вагоне-паллетовозе, на основании чего оценить возможные варианты технических решений. **Методы:** Применяются сравнительный анализ, оценка полученных аналитических зависимостей и обосновывается необходимость опций на основе статистической обработки ответов респондентов. **Результаты:** Рекомендованы технические решения в нескольких версиях, предложена в качестве генеральной при выходе вагона-паллетовоза на рынок концепция крытого вагона с кузовом большого объема и увеличенной длиной погрузочно-разгрузочного фронта, с поглощающим аппаратом, в одноэтажном исполнении. Выполнена интегральная оценка мнений респондентов, с помощью статистического анализа и визуализации полученных результатов охарактеризован типичный потребитель. **Практическая значимость:** Данные маркетингового исследования могут применяться при выходе на рынок в части установления опциональных линеек технического исполнения подвижного состава и его стоимости.

**Ключевые слова:** Сборные перевозки железнодорожным транспортом, вагон-паллетовоз, маркетинговое исследование, клиентоориентированность, технические опции, инновационные технические решения.

### Общая характеристика исследования

Известно, что железнодорожный транспорт является вторым по популярности после авто-

мобильного транспорта и доставка им сборных грузов обладает следующими конкурентными преимуществами:

- безопасностью движения;

- сохранностью груза;
- экологичностью перевозки;
- относительно низкой стоимостью, поскольку клиент не арендует целый вагон/контейнер;
- высокой вместимостью и грузоподъемностью подвижного состава по сравнению с автомобильным;
- независимостью от погодных условий;
- точным соблюдением сроков по установленным ниткам графика и по расписанию [1–4].

Перевозки сборных грузов железнодорожным транспортом становятся все более популярными, поскольку они позволяют осуществить доставку небольшой партии товара за короткое время с минимальными затратами. Так, например, АО «РЖД Логистика» активизировало тестовое движение «грузовых шаттлов» на базе сервиса «Грузовой экспресс» и только за первое полугодие 2020 г. организовало перевозку 115 вагонов с грузами широкой номенклатуры [5]. Очевидно, что дальнейшее развитие технологии перевозки сборных грузов объективно требует не только эволюции технических решений в вагоностроении, соизмеримой как с темпами роста грузовой базы сборных грузов, так и с рыночными ожиданиями клиентов, но и повышения клиентоориентированности дополнительных технических опций и инноваций в организации внутреннего пространства подвижного состава в целом.

Исходя из наблюдаемой положительной динамики объема перевозок сборных грузов железнодорожным транспортом за 2020 г., специалисты Петербургского государственного университета путей сообщения совместно с Научно-внедренческим центром АО «НВЦ «Вагоны» по заказу ЗАО «Евросиб СПб-Транспортные системы» выполнили маркетинговое исследование, целями которого было: 1) охарактеризовать потенциального потребителя перевозок сборных грузов в вагоне-паллетовозе; 2) составить матрицу рыночных потребительских ожиданий с оценкой клиентоориентированности и платежеспособного спроса; 3) привести перечень технических требований к вагону, потенциальных маршрутов, дополнительных опций и услуг по

перевозке сборных грузов в вагоне-паллетовозе, на основании чего дать оценку возможных вариантов технических решений.

Задачи, на решение которых было направлено исследование:

- 1) составить портрет типичного потребителя, а также релевантно сгруппировать респондентов;
- 2) сформулировать рекомендации по возможным вариантам конструкции подвижного состава для сборных грузов.

Постановка цели и задач обусловлена сложившейся на транспортно-логистическом рынке ситуацией, негативной тенденцией которой стал отток грузов, в том числе паллетизированных, и уменьшение клиентской базы железнодорожного транспорта по сравнению с автомобильным. Как указывается в Концепции создания сети терминально-логистических центров на территории РФ на период до 2025 года, грузовая база, потенциально тяготеющая к перевозкам грузов железнодорожным транспортом, в том числе сборных, составляет порядка 100–120 млн т, которые могут быть привлечены на терминалы Холдинга «РЖД» [6, 7]. С учетом того, что сборные грузы в основном являются паллетизированными и перевозятся в многооборотной таре, ОАО «РЖД» рассматриваются варианты организации перевозок этих грузов в инновационном подвижном составе, с учетом некоторых результатов, полученных в работах [8–10].

Проектом «Паллетный экспресс», организованном ОАО «РЖД», предполагается переключение не менее 15% потенциального паллетизированного грузопотока на железные дороги. Рынок магистральных автомобильных перевозок сборных грузов в настоящее время оценивается в 740 млрд руб./год, что потенциально может быть переведено на железную дорогу для диверсификации грузовой базы и привлечения маржинальных грузов на интенсивных маршрутах средней и большой дальности [5].

Предпосылкой к проведению исследования послужил также определенный спад объемов перевозок, связанный с пандемией коронавируса. По данным Пресс-центра ОАО «РЖД»,

в 2019 г. наблюдается спад объема погрузки на 0,9% (<https://glavportal.com>).

На современном рынке железнодорожный транспорт активно использует все антикризисные инструменты для обеспечения устойчивой конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности. Одним из них является клиентоориентированность технических и технологических решений, предлагаемых железнодорожным перевозчиком для грузовладельцев и логистических посредников, работающих со сборными грузами. От рыночной востребованности и сбалансированности опций инновационного подвижного состава и реализуемых с его применением транспортных продуктов напрямую зависят позиции ОАО «РЖД» по привлечению потенциальной клиентской базы, пользующейся услугами наземного транспорта, и, как следствие, рост доходности перевозок и возможность освоения новых перспективных рынков сбыта комплексных транспортных услуг. Перечисленное свидетельствует о насущной необходимости для отрасли инновационных и клиентоориентированных технических решений в вагоностроении и определяет необходимость изучения мнения клиентов, заказчиков и иных участников рынка о технических опциях и технологических особенностях реализации перевозок сборных грузов в железнодорожном подвижном составе.

*Предмет* исследования – анализ востребованности и необходимых опций подвижного состава для перевозки сборных грузов на паллетах.

*Паллетный вагон, или вагон-паллетовоз*, – это крытый вагон особой конструкции для перевозки грузов в многооборотной таре (МОТ), пакетах на паллетах, с увеличенным объемом кузова и раздвижными стенками. Применение вагона-паллетовоза наиболее выгодно при доставке небольших партий сборного груза мелким разбросанным потребителям.

*Паллета* – это МОТ, которая имеет жесткую площадку и место, достаточное для создания укрупненной грузовой единицы; унифицированный поддон для хранения и перемещения

грузов, приспособленный для захвата его вилочным погрузчиком.

## Описание методики исследования

Использованы методы анкетирования, экспертных оценок, аналитический, системный подход, статистики, маркетингового анализа, ранжирования, оценки клиентоориентированности, оценки альтернатив.

Респонденты для проведения адекватной и сбалансированной оценки были сгруппированы по следующим категориям: 1) грузовладельцы (4 анкеты), 2) операторы и собственники подвижного состава (4 анкеты), 3) перевозчик железнодорожным транспортом и транспортные компании (6 анкет), 4) логистические компании (2 анкеты), 5) эксперты «теоретики» и «практики» (14 анкет).

По пяти сегментам респондентов получены 30 анкет, которые приняты к анализу в данном отчете. Следует отметить, что респонденты игнорировали некоторые вопросы при заполнении анкет, что привело к плавающим размерам сегментов аудитории по ряду вопросов. Оценка проводилась по усредненным значениям, сумме баллов, лояльности (числу положительных ответов), важности характеристик (отмеченных респондентами) и группировке одинаковых ответов, полученных от аудитории.

Исследование выполнялось в три этапа.

### • *Этап 1 – подготовительный*

1. Подготовка материалов анкет, предварительный список рассылки, предварительная группировка респондентов.

2. Уточнение целевой группы анкетирования: респонденты-потребители, подготовка и согласование с заказчиком вопросов анкет и перечня анкетизируемых.

### • *Этап 2 – маркетинговый*

3. Анкетирование респондентов по целевым группам, рассылка материалов анкет и приложений к ним, разъяснение особенностей паллетного вагона.

4. Сбор и ранжирование полученных ответов, систематизация предварительных результатов в виде сравнительных таблиц.

5. Промежуточный анализ и визуализация полученных результатов.

- *Этап 3 – аналитический*

6. Ранжирование предпочтений потребителей.

7. Оценка клиентоориентированности предлагаемых технических решений.

8. Составление портрета потребителя.

### Концепт вагона-паллетовоза

Сравнительный анализ вагонов для перспективной перевозки сборных грузов показал, что наибольшая вместимость достигается у пассажирского/багажного варианта вагона – 168 ящиков МОТ (ограничена грузоподъемность до 35 т), наименьшая – у модернизированной лесной платформы – 110 ящиков МОТ (рис. 1).

Полученные результаты были учтены при разработке концепта вагона-паллетовоза.

Специалисты АО «НВЦ «Вагоны» разработали концепт инновационного вагона-паллетовоза, общий вид которого показан на рис. 2.

Сравним на рис. 3 и 4 концепт вагона-паллетовоза АО «НВЦ «Вагоны» с серийным транспортом и проектом «Паллетный экспресс» в исполнении на грузовых и пассажирских тележках соответственно (паллеты 800 × 1200 мм).

Концепт внутреннего оборудования вагона-паллетовоза представлен на рис. 5. Базовое внутреннее оборудование включает передвижные перегородки со складными телескопическими полками.

Видно, что преимуществами предлагаемого концепта являются возможность разделения внутреннего пространства на секции различных размеров и обеспечение продольного поджатия грузов в них.

Один из возможных вариантов компоновки внутреннего пространства вагона-паллетовоза иллюстрирует рис. 6, на котором показано, что груз длиной 5 м размещен вдоль вагона, одна из внутренних перегородок сдвинута, полки сложены.

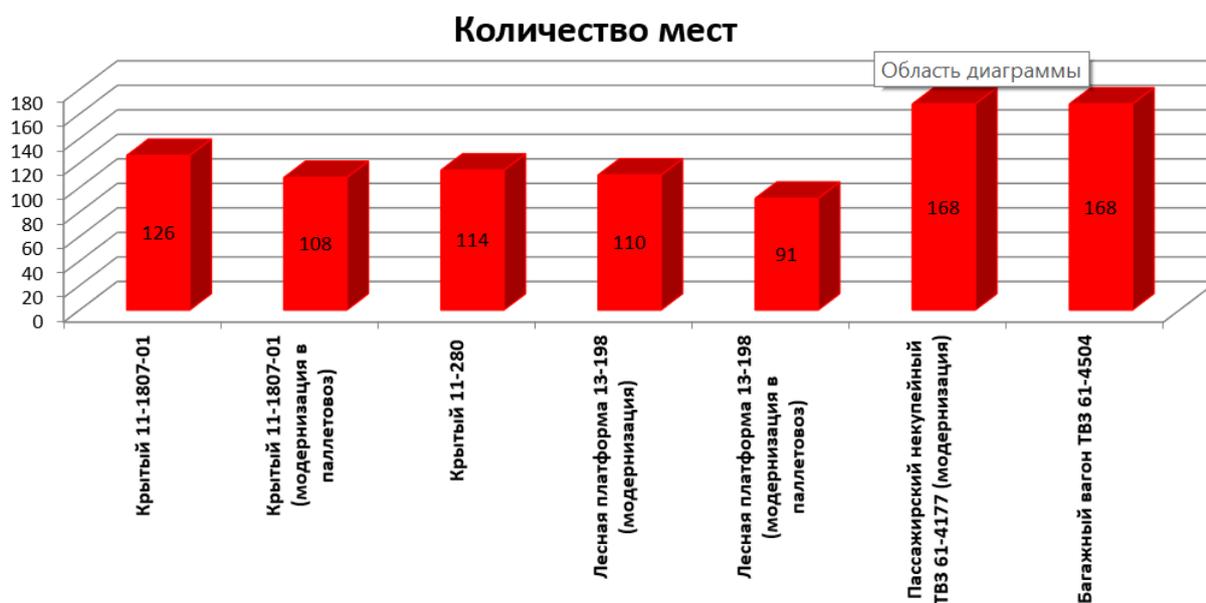


Рис. 1. Сравнительный анализ вместимости вагонов для перспективной перевозки сборных грузов по железной дороге (в ящиках МОТ)

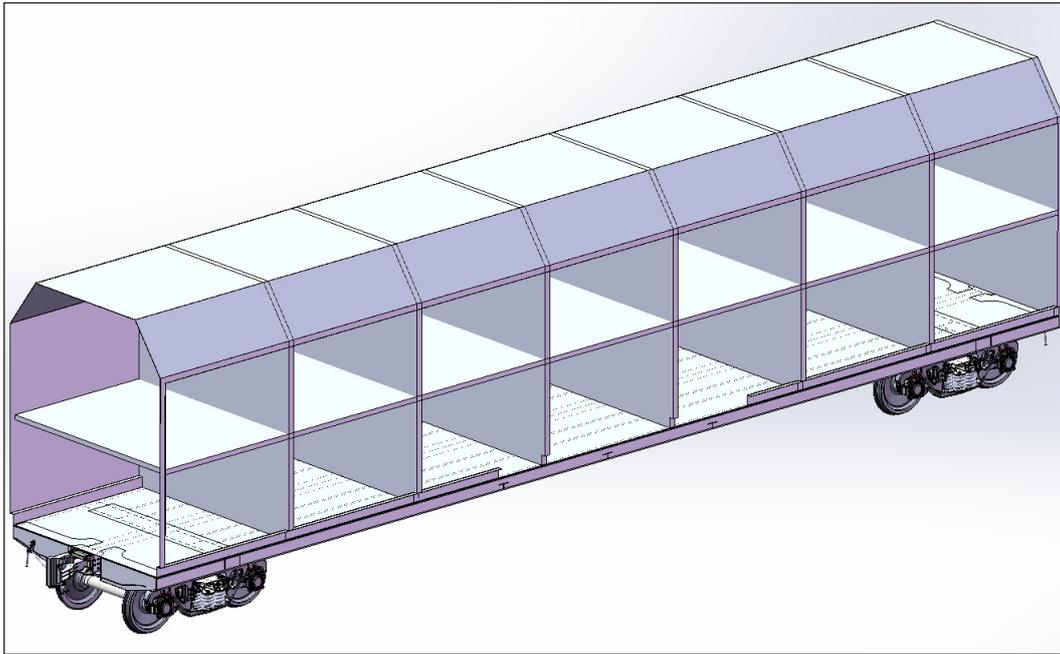


Рис. 2. Предварительный концепт вагона-паллетовоза на грузовых тележках (по проекту АО «НВЦ «Вагоны»)



Рис. 3. Сравнение концепта вагона-паллетовоза на грузовых тележках с аналогами: *а* – с серийным транспортом; *б* – с проектом «Паллетный экспресс»



Рис. 4. Сравнение концепта вагона-паллетовоза на пассажирских тележках с аналогами:  
*а* – с серийным транспортом; *б* – с проектом «Паллетный экспресс»

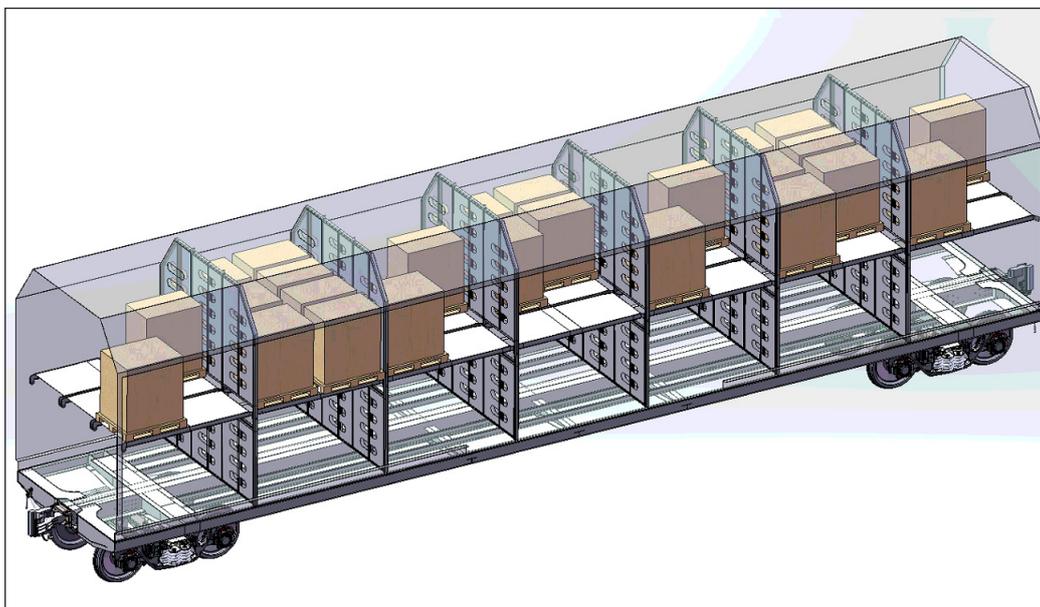


Рис. 5. Концепт внутреннего оборудования вагона-паллетовоза

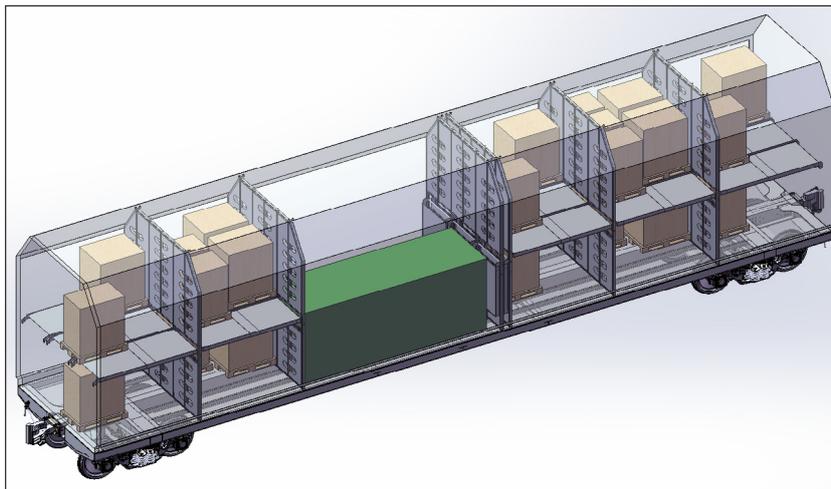


Рис. 6. Организация внутреннего пространства вагона-паллетовоза

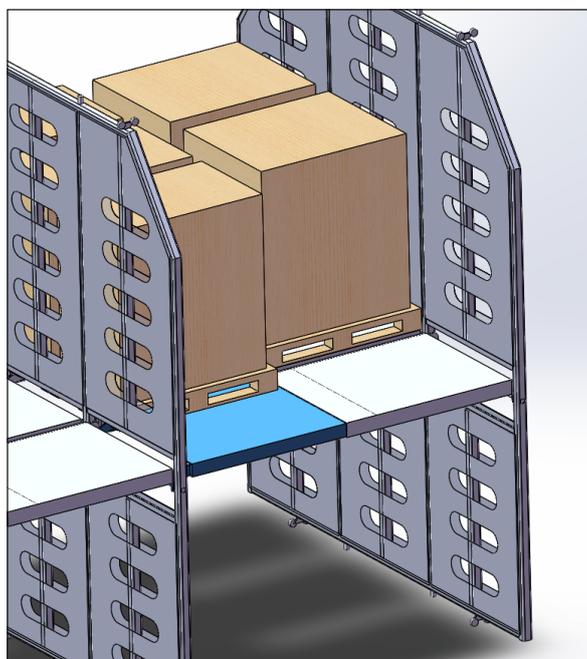


Рис. 7. Концепт полок телескопической конструкции

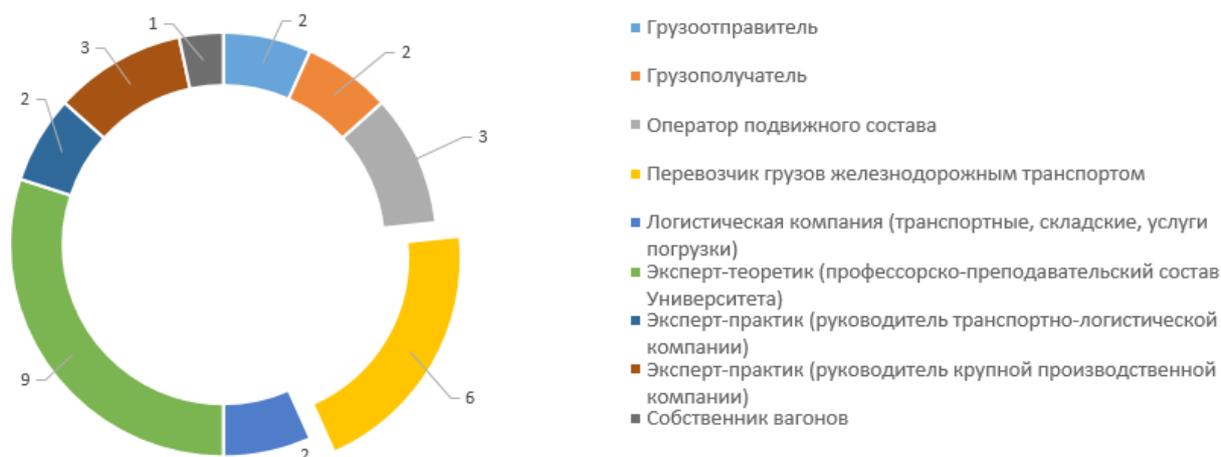
Применение при компоновке внутреннего пространства полок телескопической конструкции совместно с использованием сдвижных перегородок позволит корректировать длину секции под конкретные размеры груза.

На рис. 7 показан вариант организации внутреннего пространства с полками, которые шарнирно закреплены на одной перегородке. Имеется возможность снятия их с другой перегородки и откидывания к одной стороне. Это являет-

ся преимуществом такого варианта, поскольку дает возможность высвободить пространство по длине и высоте секции вагона-паллетовоза.

### Обсуждение результатов исследования

Портрет респондента, согласно полученным при анкетировании данным, выглядит следующим образом:



Можно заключить, что ориентиром и целевой группой, которая может потенциально быть потребителями вагона-паллетовоза, выступают грузоотправители, грузополучатели и операторы подвижного состава, имеющие собственный вагонный парк.

В данном исследовании оценка ответов респондентов выполнялась именно с позиций клиентов-грузоотправителей и грузополучателей. Перевозчик рассматривается как профессиональный и крупный участник рынка, определяющий основные критерии принятия решений, а мнения экспертов – как «скептиков» и сторонних наблюдателей.

Респондентам был предложен вопрос: «Какие направления международной доставки грузов, на Ваш взгляд, будут востребованы для парка паллетных вагонов?»

Допускалось несколько вариантов ответа (рис. 8).

Свой вариант один респондент указал как «РФ–Евросоюз» и два респондента – как «Внутри РФ».

Можно полагать, что наиболее перспективным международным направлением доставки грузов в паллетных вагонах может стать доставка грузов из стран Азии транзитом через Россию в страны Европы (по мнению более 58% опрошенных), на втором месте по популярности

ответ «Азия–РФ» как прямой вариант доставки грузов, на третьем – вариант ответа «Азия–Евросоюз».

Также следует обратить внимание на комментарий «Внутри РФ», который, с одной стороны, не относится к международным направлениям доставки, с другой, свидетельствует о необходимости организации движения паллетных поездов внутри РФ как страны-транзитера в цепи доставки грузов из Азии в Европу и обратно, что логично в продолжение к ответу 58% опрошенных («Азия–РФ–ЕС»). При этом представители логистических компаний указывают одновременное сочетание и «Азия–РФ», и «Азия–ЕС» как перспективные. *Рекомендация:* потенциально востребованным направлением следует считать, исходя из географического положения России, доставку грузов в паллетных вагонах из Азии транзитом по РФ в страны Европы.

Генеральным направлением, на котором могут быть востребованы паллетные вагоны, респонденты называют три наиболее часто встречающихся варианта ответа:

– Северо-Западный регион (порты Балтийского моря) – Центральный регион (Москва) – Дальний Восток;

– Северо-Западный регион (порты Балтийского моря) – Центральный регион (Москва) –

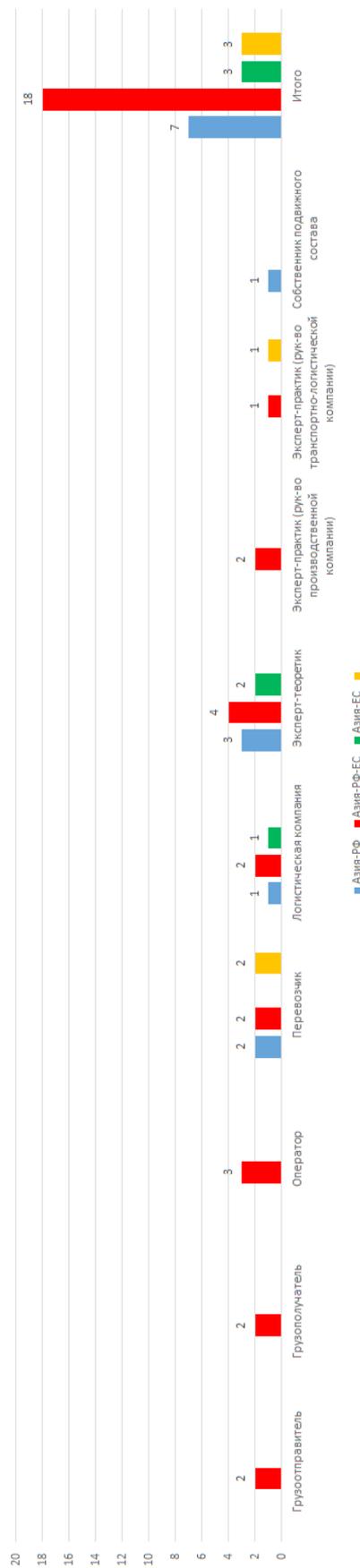


Рис. 8. Востребованные направления доставки грузов паллетными вагонами (количество полученных ответов, ед.)

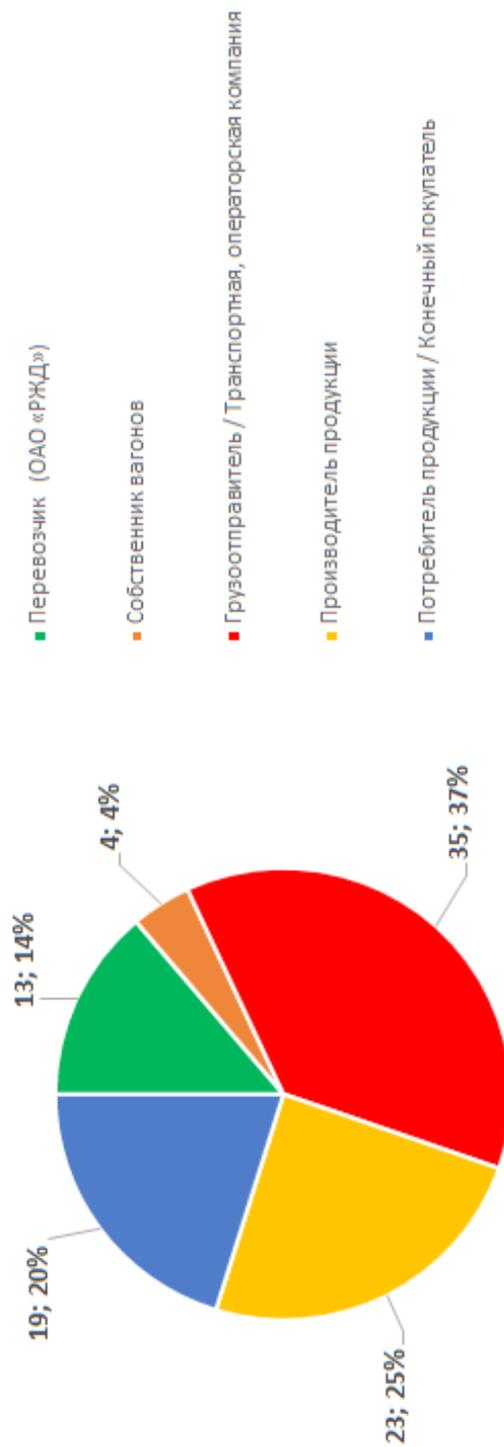


Рис. 9. Конечные бенефициары применения вагона-паллетовоза

Южный регион (порты Черного и Каспийского морей);

– Северо-Западный регион (порты Балтийского моря) – Сибирский регион.

Очевидно, необходимо сконцентрироваться на генеральном направлении «Северо-Западный регион (порты Балтийского моря) – Центральный регион (Москва) – Дальний Восток» (данный ответ представлен респондентами во всех группах). Нужно также рассмотреть возможность освоения перевозок по маршруту, указанному грузоотправителями (40%) – отдают предпочтение маршруту «Северо-Западный регион (порты Балтийского моря) – Центральный регион (Москва) – Южный регион (порты Черного и Каспийского морей)».

По маршрутам внутри страны следует предусмотреть предложения транспортных продуктов для малого и среднего бизнеса, а также логистические решения для ОАО «РЖД» по применению паллетных вагонов для оптимизации движения по малодеятельным участкам.

По мнению опрошенных респондентов, конечными бенефициарами от курсирования вагонов-паллетовозов являются оконечные элементы логистической цепи – отправители грузов, производители и потребители соответственно, а также выступающие в их функциональном статусе транспортные и иные компании-отправители грузов, пригодных для перевозки в паллетном вагоне (рис. 9).

Наилучшим направлением интеграции нового подвижного состава в логистические цепи может стать «подключение» к мультимодальным перевозкам в рамках транспортных коридоров,

например «Восток–Запад» (наиболее протяженный российский участок – Транссибирская магистраль), с выходом на сеть панъевропейских коридоров на западе и коридоров Азиатско-Тихоокеанского региона на востоке.

Большинство опрошенных имеют собственный автопарк. Это объяснимо желанием тотального контроля всей логистической цепи, выстраиваемой респондентами.

Превалирование ответа «Да» свидетельствует также о существующей нише для аренды и/или приобретения вагона-паллетовоза для перевозок сборных грузов по железной дороге как инновационного транспортного продукта для участников рынка и потенциала (при конкурентоспособной цене вагона-паллетовоза для конечного покупателя) применения в бизнесе преимущественно железнодорожной, а не более дорогой автомобильной доставки.

Анкетированная аудитория (72%) практически едино во мнении, что вагон-паллетовоз должен иметь различные версии его технической и функциональной комплектации (рис. 10).

Как показал анализ результатов, для 62% аудитории, давших положительный ответ («важно» и «скорее важно, чем нет»), необходимо оснащение паллетного вагона электропневматическим тормозом (ЭПТ, рис. 10). *Рекомендация:* с учетом важности для респондентов можно рекомендовать обязательное оснащение базового варианта технического исполнения вагона-паллетовоза ЭПТ.

В ответ на вопрос о ключевом качестве вагона-паллетовоза респонденты дали следующие ответы, показанные на диаграмме:





Рис. 10. Обязательность оснащения вагона-паллевоза ЭПТ (количество полученных ответов, ед.)

Как видно из них, первое-второе места в равных долях (по 26%) делят высокая скорость доставки и значительная сохранность груза, третье место (21%) – возможность отправки груза «день в день». Самый не популярный ответ –

возможность доставки автотранспортом «от двери до двери».

По вопросу способа отправления поезда, составленного из вагонов-паллевозов, мнение аудитории разделилось следующим образом:



Возможно применение договорной нитки с определенным клиентом, с дополнительными условиями и услугами, в индивидуальном порядке. Такой вариант работы в полной мере

отражает клиентоориентированность бизнеса и может рассматриваться как рекомендуемый базовый вариант организации движения паллетных поездов и взаимодействия с клиентами.

С учетом мнения 38% респондентов можно рекомендовать данный вариант ответа как способ расширения рыночной ниши по числу лояльных клиентов путем предоставления персонализированного сервиса при перевозке сборных грузов в паллетном вагоне.

Подавляющее большинство анкетированных (75%) основным вариантом технического исполнения вагона-паллетовоза видят двухэтажное исполнение.

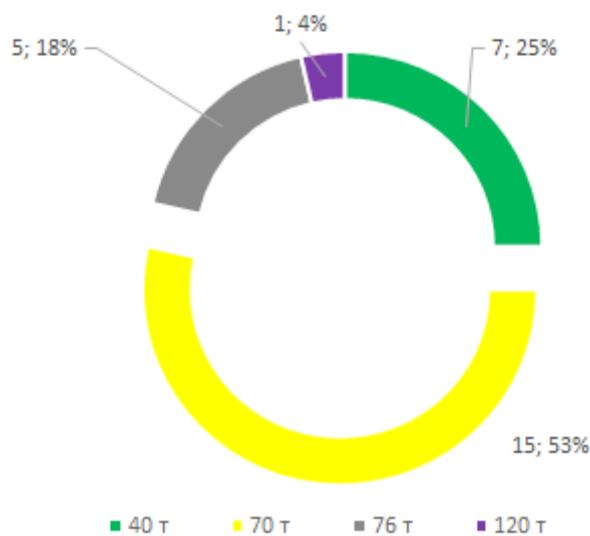
Анкетированная аудитория практически единогласно во мнении, что: 1) в вагоне-паллетовозе внутренние перегородки должны быть подвижными (96%); 2) вагон-паллетовоз должен иметь разделение секций внутренними перегородками (87%); 3) двери в вагоне-паллетовозе должны находиться с двух его сторон (97%); 4) в вагоне-паллетовозе необходимо **ОБЯЗАТЕЛЬ-**

НОЕ наличие стеллажного оборудования и дополнительных креплений груза (76%). Аудитория предпочитает внутренний полезный объем кузова вагона его габаритам: подавляющие 83% против 17%.

Можно заключить, что, по мнению 46% респондентов, возможность погрузки-выгрузки грузов по всей длине вагона является приоритетным в техническом оснащении.

На втором месте по популярности ответ «двух-трехэтажное расположение паллет», наименее популярен ответ «возможность установки паллет на паллет».

Как показал анализ, половина опрошенных (53%) с существенным отрывом предпочитают вариант грузоподъемности паллетного вагона в 70 т, которую можно принять в качестве основной базовой грузоподъемности:



Как показала интегрированная оценка, 47% респондентов – почти половина опрошенных – выбрали вариант длиннобазного исполнения вагона-паллетовоза – 25 м (по осям автосцепок), 30% предпочитают вариант среднебазного исполнения – 19 м, наименее популярный ответ – сочлененное длиннобазное исполнение (только лишь 3% аудитории, один голос оператора подвижного состава).

В качестве основного варианта исполнения рекомендуется избрать длиннобазное и/или среднебазное исполнение (с возможностью конфигурирования) (рис. 11).

Респондентам был задан следующий вопрос: «Расставьте, пожалуйста, качественные параметры вагона в порядке убывания приоритета для Вас (от 1 – наиболее важного к 4 – наименее важному)».



Рис. 11. Предпочитаемый вариант исполнения вагона

Как показал первичный анализ результатов, оказались по значимости:

- для грузоотправителя и грузополучателя – сохранность груза (1-е место);
- для всех остальных респондентов – скорость доставки и сохранность груза (1-е и 2-е места).

Наименее значимым является параметр, по которому ни один респондент не выста-

вил приоритет «1», – это онлайн-мониторинг дислокации и состояния груза и вагона.

Далее было проведено усреднение полученных данных, установление веса каждого параметра и подведены сначала промежуточный, а затем и финальный итог.

Места распределились следующим образом (количество полученных ответов, ед.):



Таким образом, наибольшей значимостью для респондентов в усредненных значениях обладает сохранность груза, а наименьшей – онлайн-мониторинг.

На основе анализа полученных ответов были предложены два варианта опций вагона-паллетовоза для последующей технической проработки и выхода на рынок.

*Базовая версия технического исполнения:* наличие нескольких грузовых отсеков + сдвижные двери-стены + дополнительный крепеж для предотвращения навала груза на двери вагона + поглощающие аппараты, снижающие нагрузки при соударениях вагонов.

Респондентам был задан вопрос: «Какая величина удорожания цены двухэтажного паллетного вагона по сравнению со стандартной версией крытого вагона приемлема для Вас?»

Первые три места по популярности разделены между первыми тремя вариантами ответа с минимальным отрывом, что говорит о достаточно сконцентрированном мнении аудитории по ценовому вопросу (рис. 12).

Наименее популярен ответ «на 11–14 %». Вариант ответа «более 15 %» не получил ни одного голоса.

Интегрированная оценка результатов следующая: по 31 % набрали варианты ответа «на 6–8 %» и «на 2–3 %». Наиболее соответствует рыночной ситуации вариант 6–8 %. Но в связи с примерно равным распределением ответов и для уточнения ценовой политики следует провести дополнительное маркетинговое исследование.

Рассмотрим визуализацию полученных ответов на вопрос о перечне услуг при перевозке сборных грузов по группам респондентов.

Как видно на круговой диаграмме, пакет наиболее важных для грузоотправителя услуг при перевозке сборных грузов (рис. 13) следующий: 25 % – погрузочно-разгрузочные услуги; по 13 % – ответственное хранение грузов, услуга автомобильной доставки «первая/последняя миля» и перетарка/переупаковка грузов.

Транспортный продукт по перевозке сборных грузов в вагоне-паллетовозе глазами гру-

зоотправителя можно представить в двух версиях – базовой и расширенной:

*базовая версия пакета сервиса:* погрузочно-разгрузочные услуги; ответственное хранение грузов, услуга автомобильной доставки «первая/последняя миля» и перетарка/переупаковка грузов;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + паллетирование/стретчевание + сортировка + оформление перевозочной документации.

Как видно на круговой диаграмме (рис. 15), пакет наиболее важных для грузополучателя услуг при перевозке сборных грузов следующий: 34 % – оформление перевозочной документации; по 33 % – страхование и логистический консалтинг.

Это наиболее лаконичная версия пакета сервиса, в которой сложно выделить базовый и расширенный варианты.

Как видно на круговой диаграмме (рис. 15), для оператора важными являются услуги по оформлению документации (17%), а также – в равных долях – практически все услуги. Это наиболее емкая версия пакета сервиса.

Можно сформулировать две версии пакета сервиса глазами оператора:

*базовая версия пакета сервиса:* оформление перевозочной документации + погрузочно-разгрузочные услуги;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + страхование груза + таможенное оформление + сортировка грузов + пломбирование (ЗПУ).

На рис. 16 представлен достаточно сконцентрированный вариант пакета сервиса, практически равно распределенный. Можно сформулировать следующие версии пакета сервиса глазами логистической компании:

*базовая версия пакета сервиса:* оформление перевозочной документации + погрузочно-разгрузочные услуги;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + обрешетка + адресная доставка автотранспортом («первая/последняя миля») + логистический консалтинг.

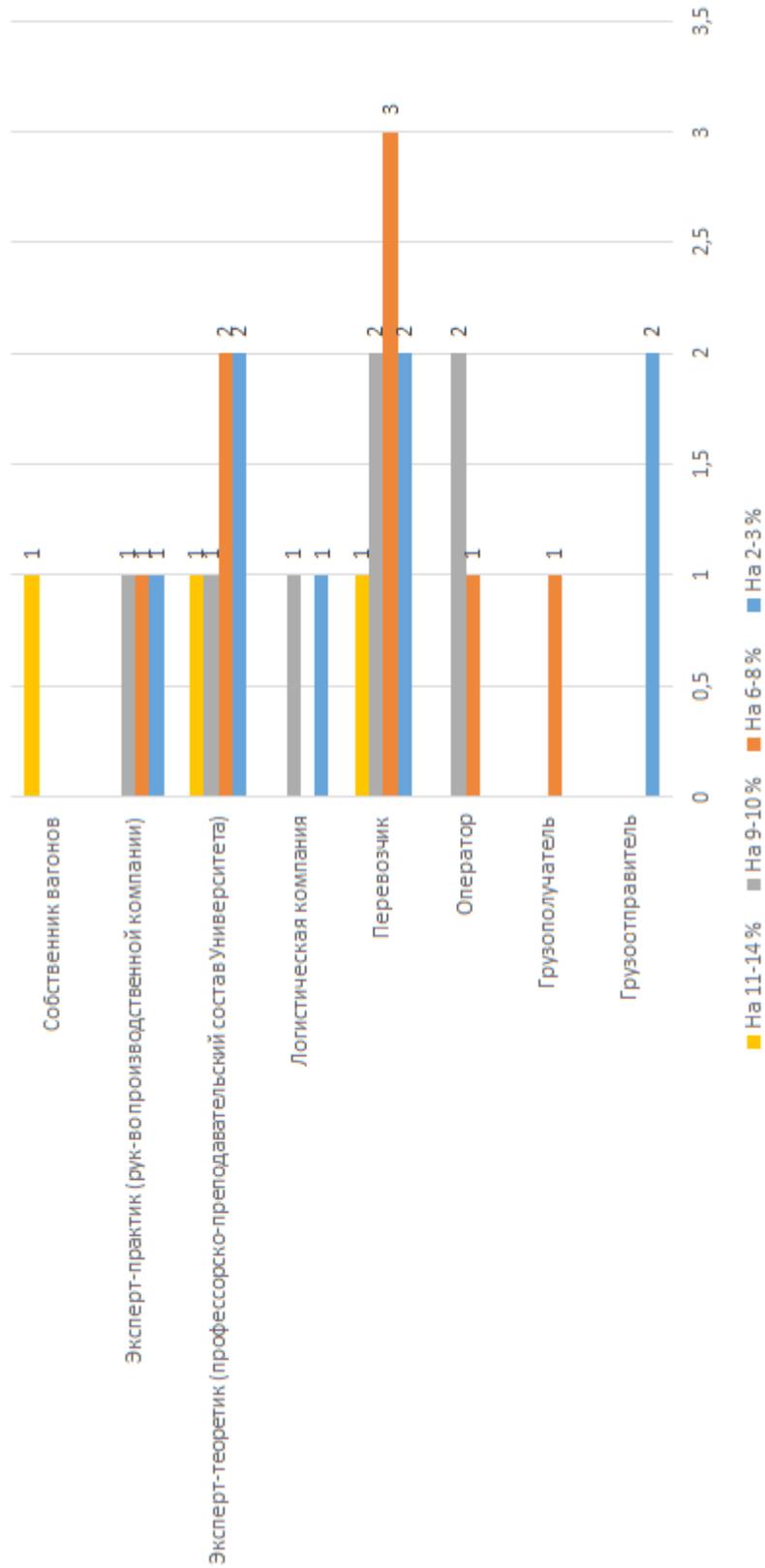


Рис. 12. Анализ платежеспособного спроса



Рис. 13. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению грузоотправителя

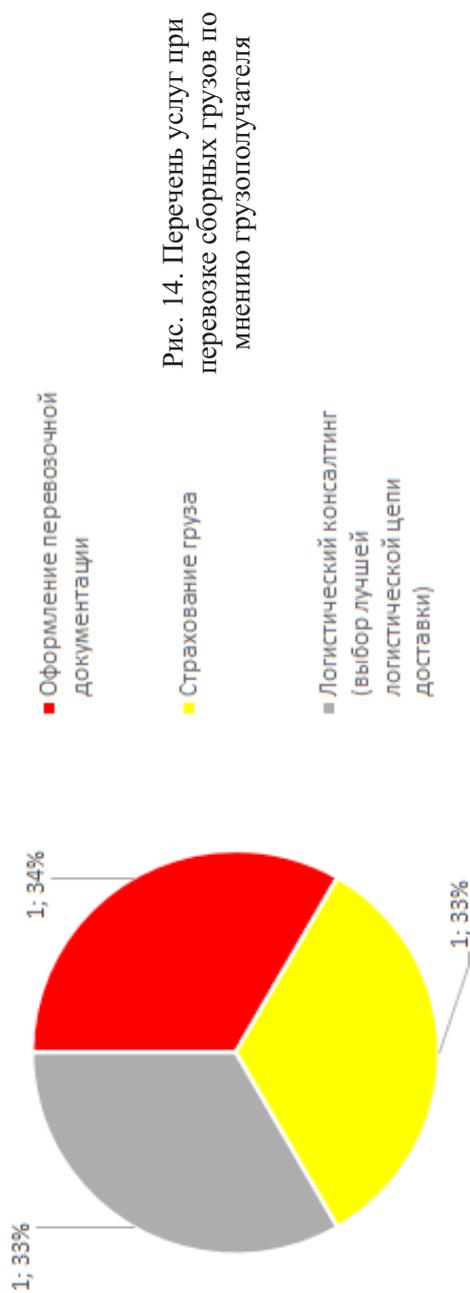


Рис. 14. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению грузоотправителя

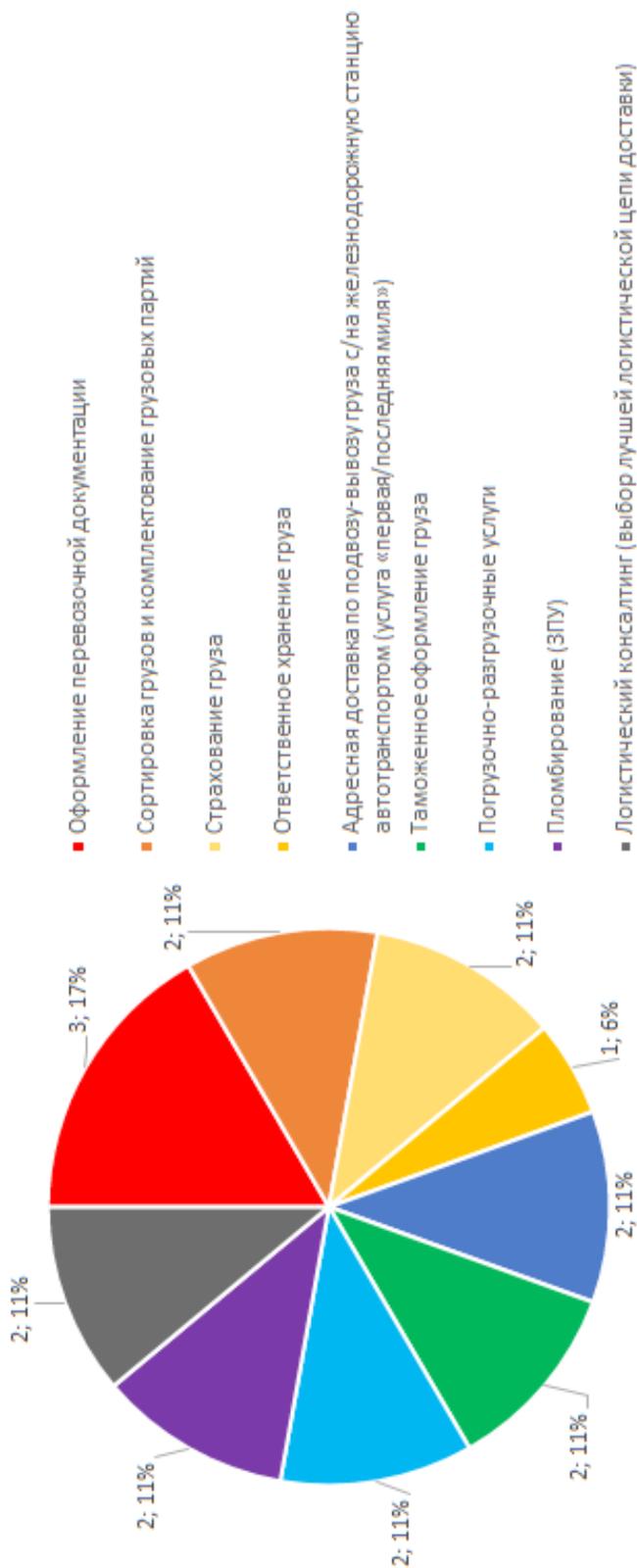


Рис. 15. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению оператора



Рис. 16. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению логистической компании

На рис. 17 сформулированы следующие версии пакета сервиса по мнению эксперта-теоретика:

*базовая версия пакета сервиса:* оформление перевозочной документации + адресная доставка автотранспортом («первая/последняя миля») + погрузочно-разгрузочные услуги;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + паллетирование/стретчевание.

На рис. 18, а сформулированы версии пакета сервиса по мнению руководства производственной компании:

*базовая версия пакета сервиса:* погрузочно-разгрузочные услуги;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + оформление перевозочной документации + пломбирование (ЗПУ) + логистический консалтинг + таможенное оформление + ответственное хранение.

На рис. 18, б приведен достаточно сконцентрированный вариант пакета сервиса, практически равно распределенный. Можно сформулировать следующие версии пакета сервиса:

*базовая версия пакета сервиса:* оформление перевозочной документации;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + сортировка + адресная доставка

автотранспортом («первая/последняя миля») + погрузочно-разгрузочные услуги.

Как видно на круговой диаграмме (рис. 19), пакет наиболее важных для перевозчика услуг при перевозке сборных грузов следующий: 14% – таможенное оформление; по 11% – погрузочно-разгрузочные услуги и ответственное хранение грузов. Наименьшее число голосов получил ответ «обрешетка деревянная» (3%).

Таким образом, транспортный продукт по перевозке сборных грузов в вагоне-паллетовозе по мнению перевозчика грузов железнодорожным транспортом можно представить в двух версиях – базовой и расширенной:

*базовая версия пакета сервиса:* таможенное оформление + погрузочно-разгрузочные услуги + ответственное хранение грузов;

*расширенная версия пакета сервиса:* базовая версия + пломбирование ЗПУ + логистический консалтинг + паллетирование/стретчевание + страхование груза.

## Заключение

Результатами, полученными по итогам исследования, стали:

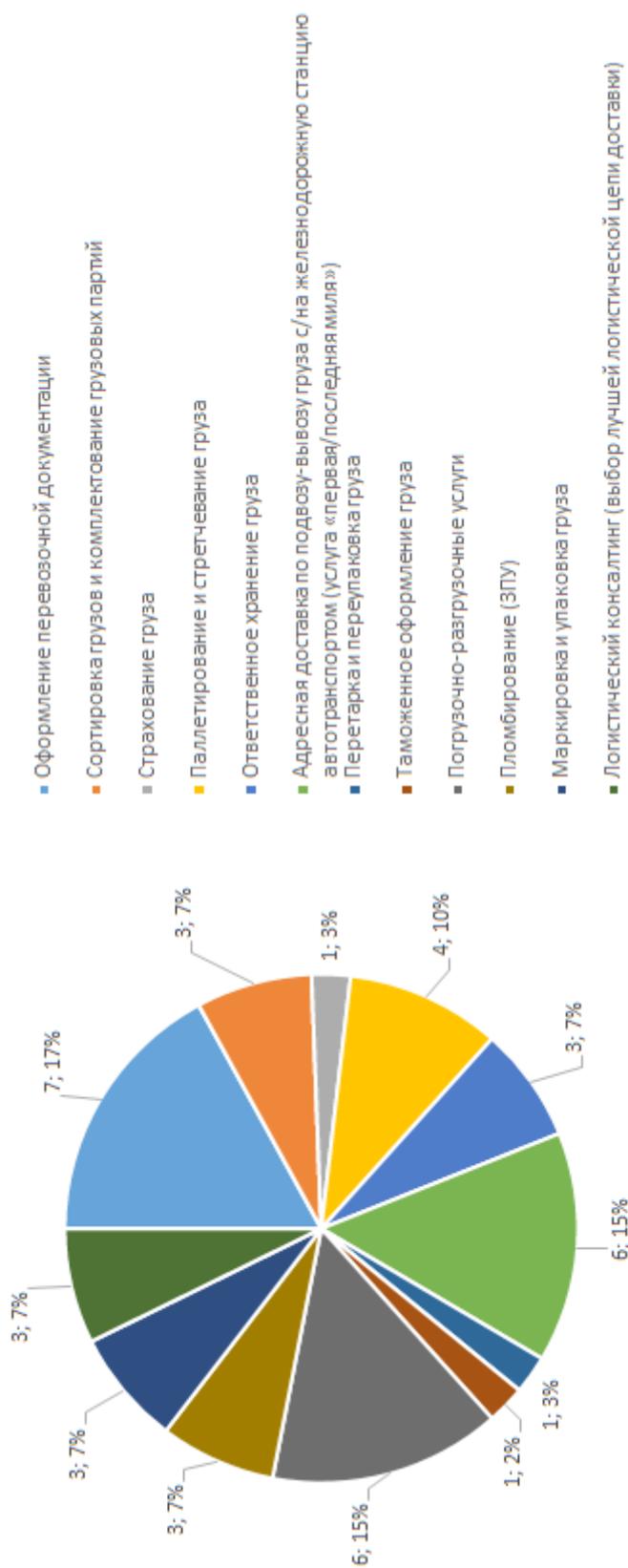


Рис. 17. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению эксперта-теоретика

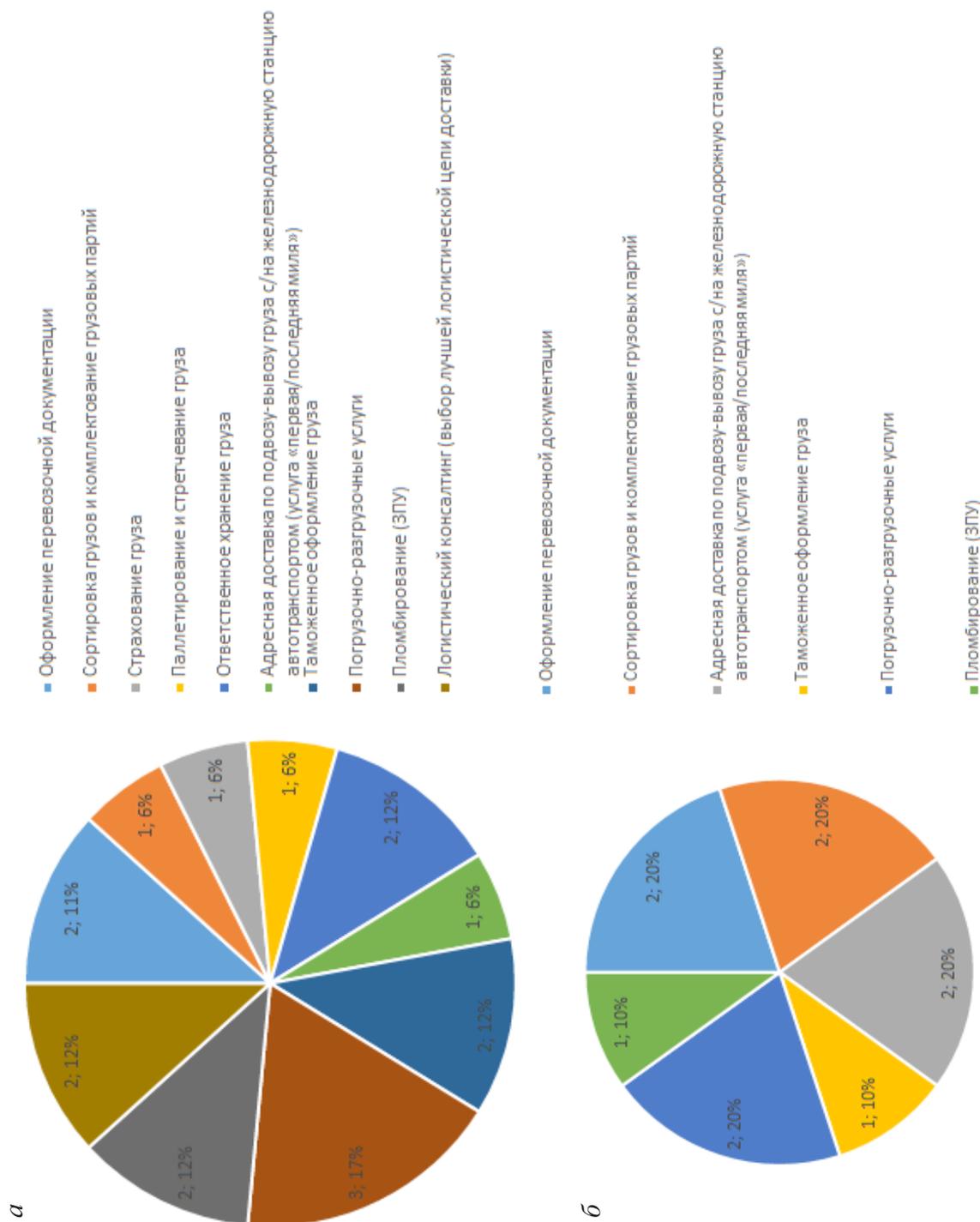


Рис. 18. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению эксперта-практика: а – руководство производственной компании; б – руководство транспортно-логистической компании

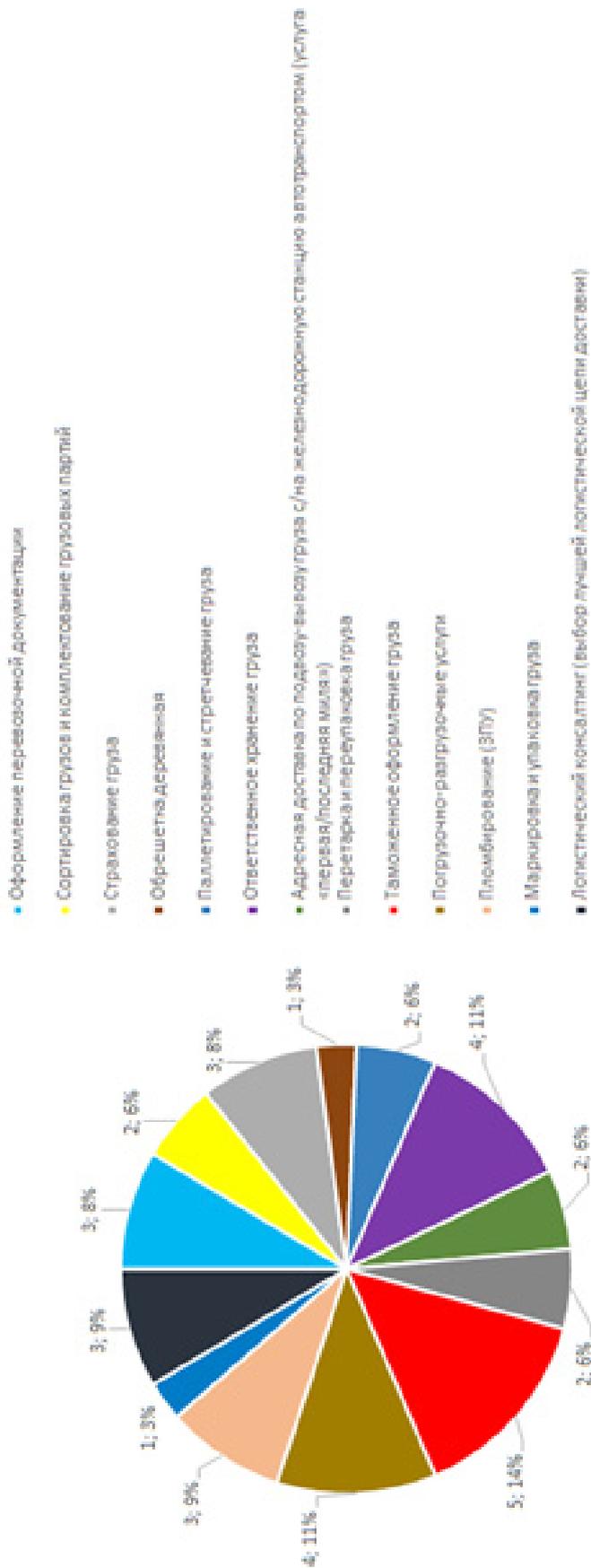


Рис. 19. Перечень услуг при перевозке сборных грузов по мнению перевозчика

1) уточнение целевого сегмента в каждой группе («портрет типичного потребителя»);

2) идентификация клиентских технических требований;

3) формулирование обобщенных (по данным анкетирования) рекомендаций к техническим и технологическим решениям анализируемого подвижного состава.

На основании результатов маркетингового исследования был составлен следующий портрет типичного потребителя.

Оператор подвижного состава, логистическая компания, грузополучатель (в 61 % дают стабильно высокие оценки, активно отвечают на «свободные» вопросы (открытого типа); лояльны в 3/3 контрольных вопросах).

Масштабы бизнеса – Россия–страны СНГ.

Приоритеты – скорость доставки и сохранность груза.

Розничная стоимость паллетного вагона – 3,5 млн руб.

Максимальная стоимость паллетного вагона с системой бортовой телеметрии – 5,4 млн руб.

*Важные параметры* паллетного вагона – удобство погрузки–выгрузки, наличие сдвижных боковых стен.

*Важные параметры* транспортного продукта – возможность обратной загрузки подвижного состава, возможность отгрузки «день в день».

*Предпочитаемая версия опций* – версия «глазами логистической компании»:

*базовая версия пакета сервиса*: оформление перевозочной документации + погрузочно-разгрузочные услуги;

*расширенная версия пакета сервиса*: базовая версия + обрешетка + адресная доставка автотранспортом («первая/последняя миля») + логистический консалтинг.

**Рекомендуемые технические решения:**

*базовая версия технического исполнения*: наличие нескольких грузовых отсеков + сдвижные двери–стены + дополнительный крепеж для предотвращения навала груза на двери вагона +

поглощающие аппараты, снижающие нагрузки при соударениях вагонов;

*расширенная версия технического исполнения*: базовая версия + наличие нескольких грузовых отсеков + наличие нескольких этажей + сдвижные двери–стены + сдвижные внутренние перегородки и возможность их фиксации.

По итогам проведенного исследования рекомендовано следующее.

**Генеральная концепция**: крытый вагон с кузовом большого объема и увеличенной длиной погрузочно-разгрузочного фронта, с поглощающим аппаратом, в одноэтажном исполнении (только для сборных грузов, без МОТ) *в двух версиях*:

**Вариант 1 (базовый)** – с подъемными боковыми стенками (для обеспечения единовременного доступа ко всему пространству кузова вагона и удобства выполнения грузовых операций) и сдвижными внутренними перегородками (для обеспечения сохранности и фиксации грузов).

*Технические параметры вагона-паллетовоза по варианту 1*: вагон на грузовых тележках с осевой нагрузкой 23,5 т, внутренняя ширина кузова вагона 3,2 м (габарит  $T_{np}$ ), наружная ширина кузова вагона 3,4 м, скорость 90 км/ч.

**Вариант 2 (опциональный расширенный)** – то же, что и вариант 1 + съемные легковесные телескопические полки для регулирования внутреннего пространства кузова вагона (мобильное опционное оборудование по желанию клиента-заказчика перевозки) и увеличенной скоростью движения на путях ОАО «РЖД».

*Технические параметры вагона-паллетовоза по варианту 2*: вагон на грузовых тележках с осевой нагрузкой 20 т, внутренняя ширина кузова вагона 3,2 м (габарит  $T_{np}$ ), наружная ширина кузова вагона 3,4 м, скорость 140 км/ч.

Технология организации перевозок сборных грузов (в составе тех или иных поездов, по тем или иным логистическим схемам, с применением съемных/сменных кузовов) должна быть дополнительно и комплексно проработана в качестве подробной концепции.

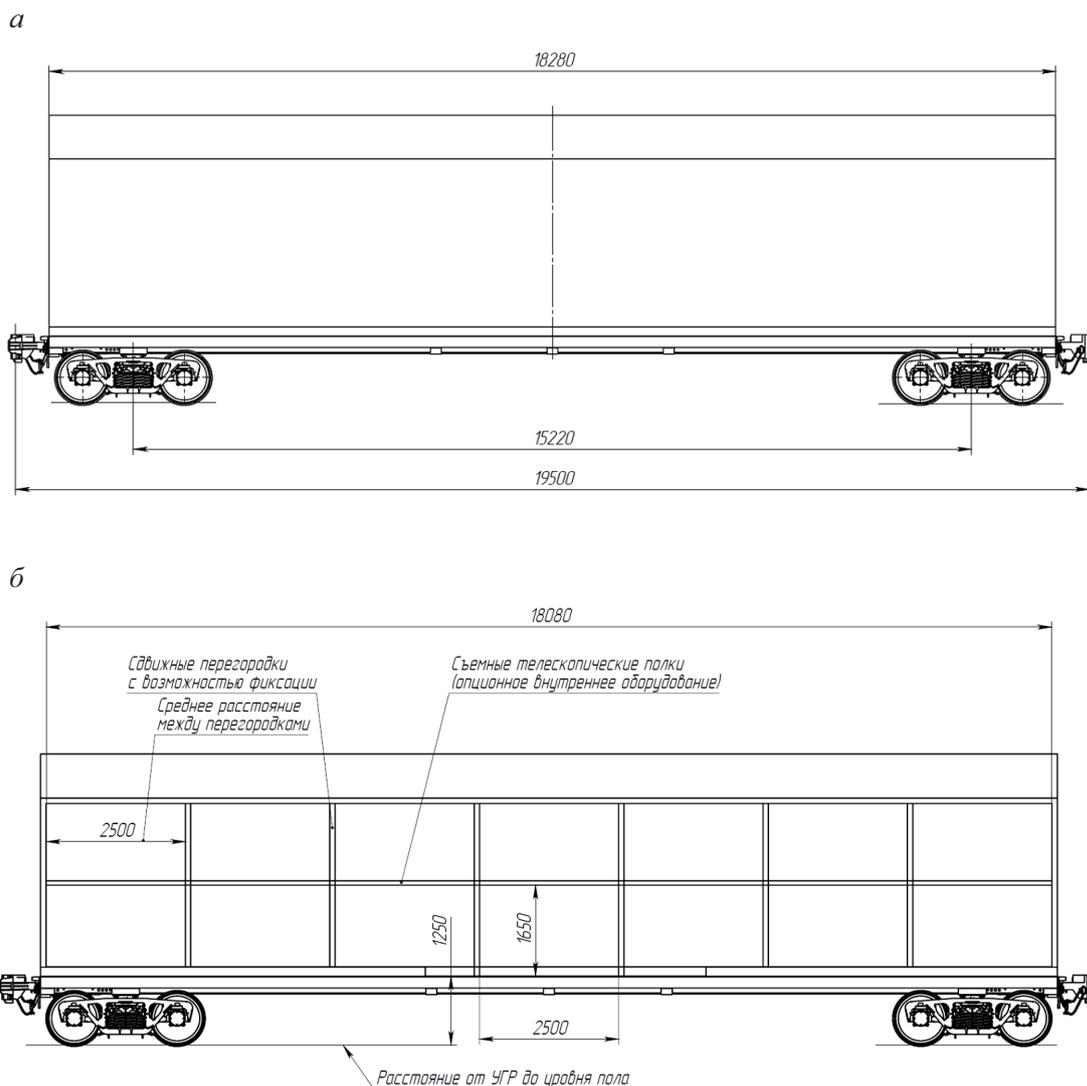


Рис. 19. Предварительные размеры (в мм) вагона на грузовых тележках с осевой нагрузкой 23,5 т/м, полезный объем 210 м<sup>3</sup>:  
 а – наружные размеры; б – внутренние размеры

Предварительные чертежи и технические характеристики подвижного состава по базовому варианту технического исполнения приведены на рис. 19, а и б.

Результаты проведенного исследования могут применяться при выходе на рынок в части установления опциональных линеек исполнения подвижного состава и его стоимости.

Исследование выполнено АО «НВЦ «Вагоны» по заказу ЗАО «Евросиб СПб-Транспортные системы» в 2020 г.

### Библиографический список

1. Бороненко Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии перевозок высокодоходных грузов железнодорожным транспортом / Ю. П. Бороненко // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : материалы XII Междунар. науч.-технич. конференции, Санкт-Петербург, 5–9 июля 2017 г. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 3–7.

2. Бороненко Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения /

Ю. П. Бороненко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 5. – С. 68–74.

3. Даукша А. С. Совершенствование вагонов на основе использования съемных кузовов / А. С. Даукша // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : сб. трудов X Междунар. науч.-технич. конференций. – СПб. : ПГУПС, 2015. – С. 45–53.

4. Даукша А. С. Перспективы внедрения вагонов со съемными кузовами увеличенной грузоподъемности / А. С. Даукша, Ю. П. Бороненко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2017. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 437–451.

5. О создании специального крытого вагона-паллетовоза. – URL : <https://wagon-cargo.ru/news/o-sozdanii-spetsialnogo-krytogo-vagona-paletovoz/> (дата доступа : 20.02.2021 г.).

6. Pokrovskaya O. Terminalistics as the methodology of integrated assessment of transportation and warehousing systems / O. D. Pokrovskaya // MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”, PTS 2018. – P. 02014.

7. Покровская О. Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем железнодорожного транспорта : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.08 / О. Д. Покровская. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 377 с.

8. Бороненко Ю. П. Выбор конструктивных решений устройств крепления контейнеров и съемных кузовов на железнодорожных платформах / Ю. П. Боро-

ненко, А. С. Даукша // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3 (70). – С. 29–32.

9. Титова Т. С. Экономическая эффективность увеличения грузоподъемности вагонов / Т. С. Титова, Ю. П. Бороненко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 5. – С. 55–61.

10. Шестиосный вагон-платформа сочлененного типа со съемными кузовами для перевозки широкой номенклатуры грузов // Время ОВК. – 2017. – № 2. – С. 29.

Дата поступления: 27.01.2021

Решение о публикации: 16.02.2021

#### Контактная информация:

БОРОНЕНКО Юрий Павлович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой; [bogon49@yandex.ru](mailto:bogon49@yandex.ru)

ПОКРОВСКАЯ Оксана Дмитриевна – д-р техн. наук, доц.; [insight1986@inbox.ru](mailto:insight1986@inbox.ru)

ТИТОВА Тамила Семеновна – д-р техн. наук, проф., первый проректор – проректор по научной работе; [titova@pgups.ru](mailto:titova@pgups.ru)

ЦЫГАНСКАЯ Людмила Валерьевна – канд. техн. наук, доц.; [bubnova1@yandex.ru](mailto:bubnova1@yandex.ru)

БЕЙН Дмитрий Григорьевич – канд. техн. наук, зам. начальника научно-исследовательского бюро; [dgbain@mail.ru](mailto:dgbain@mail.ru)

КОНДРАТЕНКО Сергей Владимирович – зам. генерального директора по проектной деятельности; [kondratenkosv@eurosib.biz](mailto:kondratenkosv@eurosib.biz)

## Analysis of technical solutions for a pallet car

Yu. P. Boronenko<sup>1</sup>, O. D. Pokrovskaya<sup>1</sup>, T. S. Titova<sup>1</sup>, L. V. Tsyganskaya<sup>1</sup>,  
D. G. Beyn<sup>2</sup>, S. V. Kondratenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC “NVC „Wagons“”, 2, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>3</sup> CJSC “Eurosib SPb-Transport Systems”, 4, Michurinskaya ul., Saint Petersburg, 197046, Russian Federation

**Для цитирования:** Boronenko Yu. P., Pokrovskaya O. D., Titova T. S., Tsyganskaya L. V., Beyn D. G., Kondratenko S. V. Analysis of technical solutions for a pallet car. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 95–100.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-95-120

## Summary

**Objective:** Drawing on the results of the conducted marketing research, to work out a portrait of a potential consumer of groupage cargo transportation in a pallet wagon and a matrix of market consumer expectations with an assessment of customer focus and effective demand; provide a list of technical requirements for the car, potential routes, additional options and services for the transportation of groupage cargo in a pallet car, on the basis of which to evaluate possible options for technical solutions. **Methods:** Comparative analysis and assessment of the obtained analytical dependencies are applied; the need for options based on statistical processing of respondents' answers is justified. **Results:** Technical solutions in several versions are recommended, the concept of a covered wagon with a large-volume body and an increased length of the loading and unloading front, with a draft gear, in a single-storey design, was proposed as a general one when a pallet car enters the market. An integral assessment of the opinions of respondents was carried out, by means of statistical analysis and visualization of the results obtained, a typical consumer was characterized. **Practical importance:** Marketing research data can be used when entering the market in terms of establishing optional lines of technical performance of rolling stock and its cost.

**Keywords:** Groupage transportation by rail, pallet cars, marketing research, customer focus, technical options, innovative technical solutions.

## References

1. Boronenko Yu. P. Strategicheskiye zadachi vagonostroiteley v razvitiy perevozok vysokodokhodnykh gruzov zheleznodorozhnym transportom [Strategic tasks of car builders in the development of high paying freight transportation by rail]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty. Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 5–9 iyulya 2017 g.* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Materials of the XII International scientific and technical conference, Saint Petersburg, July 5–9, 2017]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, pp. 3–7. (In Russian)
2. Boronenko Yu. P. Strategicheskiye zadachi vagonostroiteley v razvitiy tyazhelovesnogo dvizheniya [Strategic tasks of car builders in the development of heavy-weight traffic]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2013, no. 5, pp. 68–74. (In Russian)
3. Dauksha A. S. Sovershenstvovaniye vagonov na osnove ispol'zovaniya s"yemnykh kuzovov [Improvement of cars based on the use of detachable bodies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty. Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Materials of the XII International scientific and technical conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2015, pp. 45–53. (In Russian)
4. Dauksha A. S. & Boronenko Yu. P. Perspektivy vnedreniya vagonov so s"yemnymi kuzovami uvelichennoy gruzopod"yemnosti [Prospects for the introduction of detachable-body cars with increased carrying capacity]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2017, vol. 14, iss. 3, pp. 437–451. (In Russian)
5. O sozdanii spetsial'nogo krytogo vagona-palletevoza [On the creation of a special covered pallet car]. Available at: <https://wagon-cargo.ru/news/o-sozdanii-spetsialnogo-krytogo-vagona-palletevoza/> (accessed: February 20, 2021). (In Russian)
6. Pokrovskaya O. Terminalistics as the methodology of integrated assessment of transportation and warehousing systems. *MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference "Polytransport Systems"*, PTS 2018, p. 02014.
7. Pokrovskaya O. D. *Kompleksnaya otsenka transportno-skladskikh sistem zheleznodorozhnogo transporta*. Dis. ... d-ra tekhn. nauk, spetsial'nost': 05.22.08 [Comprehensive assessment of transport and storage systems of railway transport]. Dis. D. Sci. in Engineering, speciality: 05.22.08]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 377 p. (In Russian)
8. Boronenko Yu. P. & Dauksha A. S. Vybór konstruktivnykh resheniy ustroystv krepleniya konteynerov i s"yemnykh kuzovov na zheleznodorozhnykh platformakh [Choice of design solutions for fastening containers and

detachable bodies on railway platforms]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2017, no. 3 (70), pp. 29–32. (In Russian)

9. Titova T. S. & Boronenko Yu. P. Ekonomicheskaya effektivnost' uvelicheniya gruzopod'yemnosti vagonov [Economic efficiency of increasing the carrying capacity of cars]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], 2018, no. 5, pp. 55–61. (In Russian)

10. Shestiosnyy vagon-platforma sochlenonnogo tipa so s'yomnymi kuzovami dlya perevozki shirokoy nomenklatury gruzov [Six-axle articulated flat car with demountable bodies for transportation of a wide range of cargo]. *Vremya OVK* [United Wagon Company Time], 2017, no. 2, p. 29. (In Russian)

Received: January 27, 2021

Accepted: February 16, 2021

**Authors' information:**

Yuriy P. BORONENKO – D. Sci., Associate Professor, Head of cars and carriage facilities department; boron49@yandex.ru

Oksana D. POKROVSKAYA – D. Sci., Associate Professor; insight1986@inbox.ru

Tamila S. TITOVA – D. Sci., Professor, First Vice-Rector – Vice-Rector for Research; titova@pgups.ru

Lyudmila V. TSYGANSKAYA – PhD in Engineering, Associate Professor; bubnova1@yandex.ru

Dmitriy G. BEYN – PhD in Engineering, Deputy Head of the research bureau; dgbain@mail.ru

Sergey V. KONDRATENKO – Deputy Director General for Project Activities; kondratenkosv@eurosib.biz

УДК 621.833.15

## Расчет назначенного срока службы цельнокатаных колес железнодорожного подвижного состава по критерию надежности

А. А. Воробьев<sup>1</sup>, И. В. Федоров<sup>1</sup>, Э. Ю. Чистяков<sup>1</sup>, Т. Р. Абдуганиев<sup>1</sup>,  
А. Е. Глухов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Воробьев А. А., Федоров И. В., Чистяков Э. Ю., Абдуганиев Т. Р., Глухов А. Е. Расчет назначенного срока службы цельнокатаных колес железнодорожного подвижного состава по критерию надежности // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 121–131.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-121-131

### Аннотация

**Цель:** Разработка методики определения назначенного срока службы цельнокатаных колес железнодорожного подвижного состава, исходя из требований действующей нормативной документации. **Методы:** Применяются методы теорий вероятности, надежности, упругости и численного решения дифференциальных уравнений в частных производных (метод конечных элементов). **Результаты:** Создана методика расчета назначенного срока службы с использованием критериев, приведенных в ТР ТС 001/2011, ТР ТС 002/2011 и ГОСТ 33783–2016. **Практическая значимость:** Разработанная методика позволит исключить на инфраструктуре железных дорог колес со значительным сроком службы, у которых не обеспечивается требуемый уровень надежности, что, в свою очередь, может привести к внезапному разрушению колес под вагонами.

**Ключевые слова:** Колесо, колесная пара, назначенный срок службы, вероятность безотказной работы, метод конечных элементов, конечно-элементная модель.

### Введение

В соответствии со ст. 57 ТР ТС 001/2011 [1] и ст. 54 ТР ТС 002/2011 [2] «Колеса колесных пар железнодорожного подвижного состава должны иметь запас статической прочности и необходимый коэффициент сопротивления усталости, которые обеспечивают стойкость к образованию и развитию дефектов (трещин) в течение указанного в конструкторской документации срока их полного освидетельствования или срока службы».

Таким образом, для колес железнодорожного подвижного состава должен быть определен назначенный срок службы (календарная

продолжительность эксплуатации продукции, при достижении которой эксплуатация продукции должна быть прекращена независимо от ее технического состояния). Так же определяется критерий предельного состояния для колеса, которым является возникшая трещина [1, ст. 57; 2, ст. 54].

Большинство железнодорожных колес списывается до момента возникновения трещин из-за достижения ободом колеса минимальной толщины [3], поэтому назначенный срок службы для колес подвижного состава не задавался. Однако в эксплуатации имеют место внезапные разрушения колес со значительным сроком службы (20 лет и более) от развивающихся уста-

лостных трещин, появляющихся в месте перехода от диска к ободу колеса. Выявить такие трещины при эксплуатации подвижного состава затруднительно (особенно в зимний период и темное время суток), так как они в основном появляются с внутренней стороны колеса. Обнаруживаются данные трещины визуально осмотрщиками вагонов [4, 5], специальные приборы неразрушающего контроля для выявления трещин в колесах при эксплуатации вагонов в настоящее время отсутствуют. Разрушение железнодорожного колеса от развивающихся тре-

щин, образующихся в зоне перехода от диска к ободу колеса, показано на рис. 1.

Разрушение колес в процессе эксплуатации подвижного состава приводит к тяжелым последствиям. Из имеющихся место разрушений колес подвижного состава в эксплуатации можно сделать вывод, что изложенные в ТР ТС 001/2011 и ТР ТС 002/2011 требования по заданию для колес назначенного срока службы являются обоснованными и необходимо разработать методику для определения назначенного срока службы для таких колес.



Рис. 1. Разрушение колеса грузового вагона в эксплуатации:  
а – разрушение колеса в целом; б – трещина в колесе

### Методика расчета назначенного срока службы колеса

Для поддержки требований ТР ТС 001/2011 и ТР ТС 002/2011 к колесам подвижного состава используется ГОСТ 33783–2016 (см. [6]), который предусматривает оценку усталостной прочности колеса по коэффициенту запаса сопротивления усталости  $n$  и оценку вероятности повреждения колеса. Согласно ГОСТ 33783–2016 [7], допустимая вероятность безотказности работы колеса за время эксплуатации должна быть не менее 0,999. Таким образом, колесо можно эксплуатировать, пока вероятность отсутствия в нем трещины не станет ниже 0,999. На основании этого положения необходимо и назначать срок службы колеса.

Вероятность безотказной работы  $P(T_p) = 0,999$  определяет вероятность отсутствия трещин в элементах колеса. К дефектам поверхности катания колеса, возникающим при эксплуатации колеса и устраняемым с помощью обточка, вероятность безотказной работы не относится.

Вероятность безотказной работы  $P(T_p)$  в соответствии с ГОСТ 33783–2016 определяется следующим образом [5]:

$$P(T_p) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\tilde{n} - 1}{\sqrt{\tilde{n}^2 \cdot v_{\sigma_{-1д}}^2 + v_{\sigma_a}^2}}\right). \quad (1)$$

Здесь  $\tilde{n}$  – относительный коэффициент запаса [8, 9],  $v_{\sigma_{-1д}}$  – коэффициент вариации предела выносливости (по ГОСТ 33783–2016 принимается равным 0,06–0,08),  $v_{\sigma_a}$  – коэффициент вариации амплитуд динамических напряжений (согласно ГОСТ 33783–2016 принимается равным 0,1–0,15),  $\Phi$  – функция Лапласа (интеграл вероятности) [7];  $\tilde{n}$  вычисляется следующим образом:

$$\tilde{n} = \frac{n_p}{n}, \quad (2)$$

где  $n_p$  – предельный коэффициент нагруженности, который определяется в зависимости от по-

казателя степени кривой усталости  $m$  (для колеса, изготавливаемого по ГОСТ 10791–2011 [10],  $m = 6$  [11]):

$$n_p = 2,797 - 0,9294 \cdot \left(k \cdot \frac{N_{\text{сум}}}{N_0}\right)^{0,05}; \quad (3)$$

$N_0$  – база испытаний ( $2 \cdot 10^7$ , если используются данные по пределу выносливости колеса, приведенные в ГОСТ 33783–2016, или в соответствии с протоколом испытаний);  $k$  – коэффициент, характеризующий интенсивность снижения предела выносливости колеса, для колесных сталей, согласно ГОСТ 33783–2016,  $k = 1,65$ ;  $N_{\text{сум}}$  – общее число циклов нагружения колеса за назначенный срок службы  $T_p$ , равное

$$N_{\text{сум}} = \frac{365 \cdot T_p \cdot L_i}{\Pi \cdot D}; \quad (4)$$

$T_p$  – срок службы, год;  $L_i$  – среднесуточный пробег подвижного состава (для грузового вагона принимается пробег в груженом состоянии);  $D$  – диаметр среднеизношенного колеса;

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (5)$$

В (2)  $n$  – предельный коэффициент нагруженности по средним значениям

$$n = \frac{1 + U_{p\max} \cdot v_{\sigma_a}}{n_{y.k}}, \quad (6)$$

где  $U_{p\max}$  – квантиль нормального распределения, согласно ГОСТ 33783–2016 [7] принимается равным 5–5,5;  $n_{y.k}$  – коэффициент запаса сопротивления усталости, определяется в соответствии с ГОСТ 33783–2016 (выбирается минимальное значение из определенных коэффициентов для соответствующих расчетных режимов) или принимается минимально допустимым,  $n_{\min} = 1,3$ .

Назначенный срок службы (или ресурс) колеса рассчитывается следующим образом:

1) в соответствии с [7] определяются коэффициенты запаса сопротивления усталости для колеса с минимально допустимой толщиной обода для соответствующих расчетных режимов, из них выбирается минимальный или принимается минимально допустимая ее величина;

2) задаются начальные значения срока службы колеса (рекомендуется принимать 20 лет);

3) вычисляется вероятность безотказной работы в течение заданного срока службы;

4) если вероятность безотказной работы выше, чем 0,999, то устанавливаются вероятность безотказной работы при сроке службы 25 лет, если ниже, – то при сроке службы 15 лет, далее в зависимости от полученного результата увеличивают или уменьшают срок службы. Необходимо определить пятилетний интервал, в течение которого вероятность безотказной работы становится ниже допустимого значения;

5) для всех годов полученного интервала находят вероятность безотказной работы, за последний год назначенного срока службы колеса принимают год, когда вероятность безотказной работы не ниже, чем 0,999.

Для вычисления  $P(T_p)$  по выражению (1) можно использовать широко распространенную компьютерную программу Microsoft Office Excel, в которой имеется специальная команда «НОРМСТРАСП» [12].

### Расчет назначенного срока службы для колеса с плоским коническим диском

Произведем расчет назначенного срока службы для колеса с плоским коническим диском (чертеж А.1 ГОСТ 10791–2011 [11]). Данные колеса используются для грузовых и пассажирских вагонов. Для грузовых вагонов они применяются при осевой нагрузке не более 23,5 тс (230,5 кН) и конструкционной скорости не более 120 км/ч, изготавливаются из колесной стали марки 2. Расчет производится для колеса с предельно изношенным ободом толщиной 22 мм.

Нагрузки, действующие на колесо, можно определить путем численного моделирования системы «вагон–путь», как в работах [13, 14], или по методике, приведенной в ГОСТ 33783–2016 [7]. Будем рассчитывать нагрузки согласно [7].

Основным при определении напряженно-деформированного состояния (НДС) колеса подвижного состава с конструкционной скоростью до 160 км/ч является режим движения по кривым участкам пути радиуса от 600 м и менее с максимальной разрешенной скоростью из условия получения наибольшего непогашенного ускорения 0,07 g возвышением наружного рельса (первый расчетный режим).

Расчет производится для набегающего колеса. Схему приложения нагрузок, действующих на колесо, иллюстрирует рис. 2, на котором  $S_1$ ,  $Y_1'$  – вертикальная и боковая нагрузки на набегающее колесо от рельса при расчетном режиме.

Производя расчет нагрузок для колеса грузового вагона по методике, приведенной в [7], получаем, что вертикальная нагрузка для колеса  $S_1 = 227,8$  кН, поперечная нагрузка  $Y' = 88,3$  кН.

Напряжения в колесе определяли методом конечных элементов [15] с помощью пакета прикладных программ Ansys Workbench, версия 18.2.

Для расчета была создана конечно-элементная модель с использованием конечного элемента типа 10-узловой тетраэдр с криволинейными гранями (рис. 3). Данный изопараметрический конечный элемент имеет квадратичную функцию формы, что позволяет хорошо описывать НДС на криволинейных поверхностях диска колеса. Колесо моделировалось вместе с частью оси. Размер сетки конечных элементов на криволинейных элементах диска – 5 мм.

Конечно-элементная модель содержит 209 793 узла и 141 598 конечных элемента.

В силу симметрии задачи в модели рассматривалась половина колеса и одна четверть оси.

На первом этапе были определены напряжения от прессовой посадки колеса на ось при максимальном натяге 0,25 мм.

Распределение эквивалентных напряжений по теории Мизеса, возникших от прессового соединения, показано на рис. 4, распределение первых главных напряжений – на рис. 5. Из рисунков видно, что напряжения, появившиеся от прессового соединения колеса и оси, оказывают влияние только на зону перехода от диска к ступице колеса. Но на зону перехода от диска к ободу колеса прессовое соединение влияние не оказывает. Поэтому напряжения от прессового соединения будем учитывать только в случае, когда максимальные напряжения от действующих нагрузок появляются в зоне перехода от диска к ступице колеса.

Нагрузки к колесу прикладываются в виде сосредоточенных сил, как показано на рис. 6. Напряжения в зоне приложения сосредоточенных нагрузок в расчете не учитываются. Модель закреплялась от перемещений вдоль оси Z по поверхности В, от перемещений по оси X – по поверхностям А, от перемещений по оси Y – в центре шейки оси. Данные закрепления обеспечивают адекватную форму деформации оси.

В результате расчета в соответствии с требованиями [7] были определены первые глав-

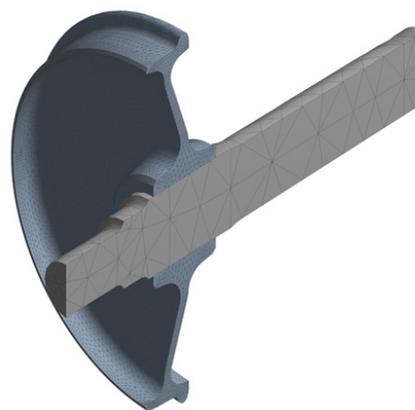


Рис. 2. Схема приложения внешних механических сил на набегающее колесо

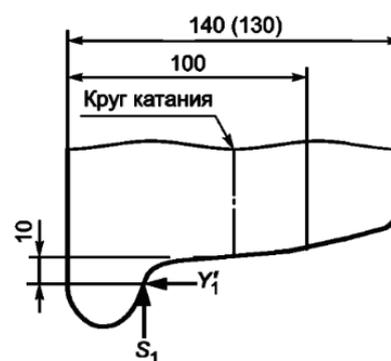


Рис. 3. Конечно-элементная модель колеса и части оси

A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
24.11.2020 14:37

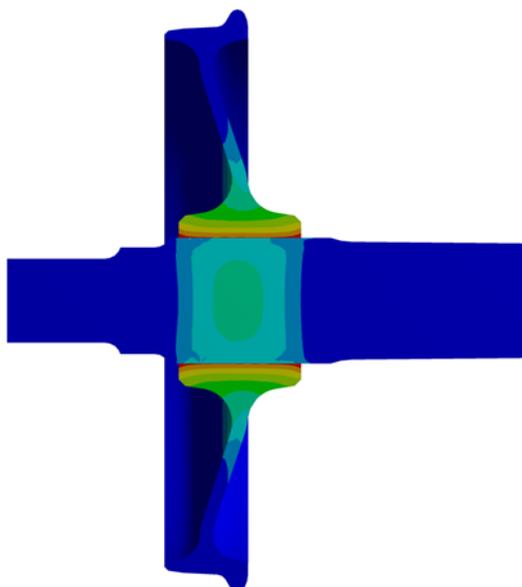
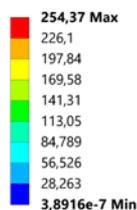


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по теории Мизеса от прессовой посадки колеса на ось

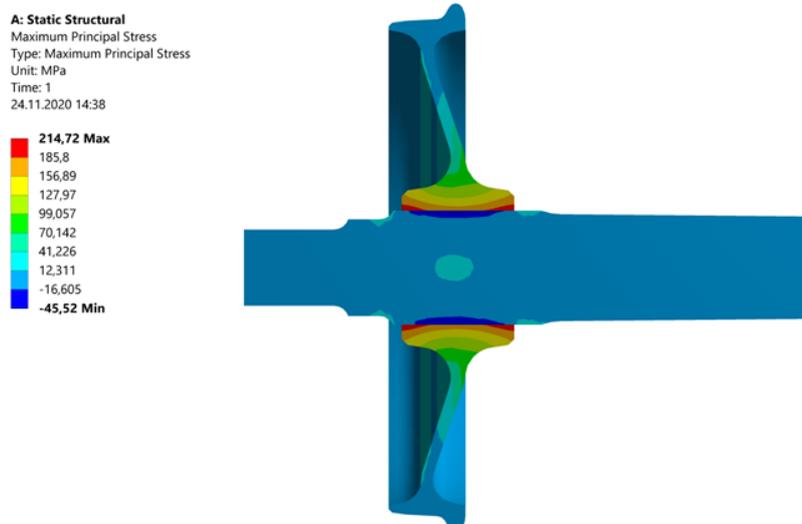


Рис. 5. Распределение первых главных напряжений от прессовой посадки колеса на ось

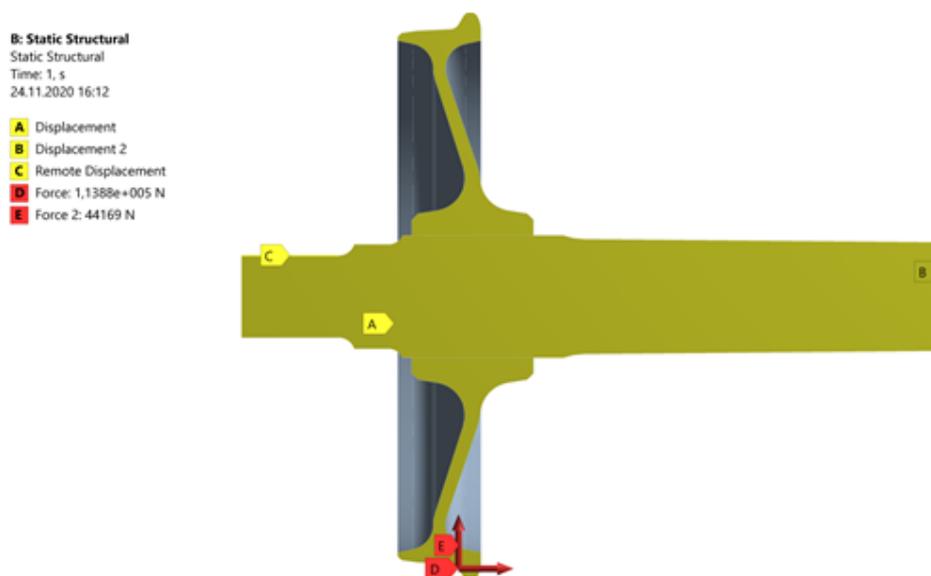


Рис. 6. Кинематические и силовые граничные условия

ные напряжения, возникающие в диске колеса (рис. 7).

Максимальные напряжения возникают с внутренней стороны колеса под гребнем. Из рис. 7 видно, что в точки действия максимальных напряжений за один оборот колеса первые главные напряжения меняются от 231,34 МПа ( $\sigma_{\max}$ ) до 22,176 МПа ( $\sigma_{\min}$ ).

Амплитудное ( $\sigma_{ai}$ ) и средние ( $\sigma_{mi}$ ) значения напряжения будут определяться следующим образом:

$$\sigma_{ai} = \frac{\sigma_{i\max} - \sigma_{i\min}}{2} = \frac{231,34 - 22,176}{2} = 104,58 \text{ МПа}, \quad (7)$$

$$\sigma_{mi} = \frac{\sigma_{i\max} + \sigma_{i\min}}{2} = \frac{231,34 + 22,176}{2} = 126,75 \text{ МПа}.$$

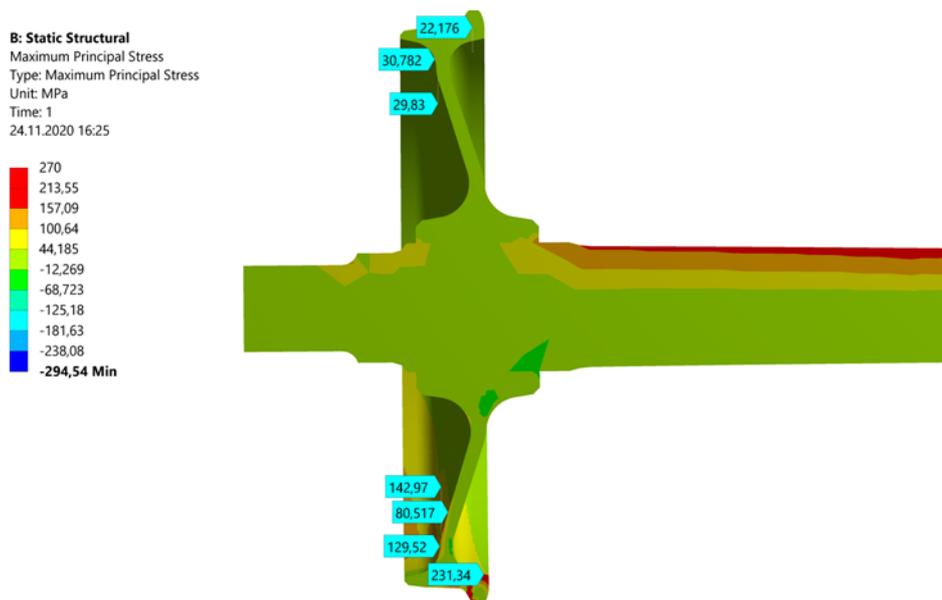


Рис. 7. Распределение первых главных напряжений (в МПа)

Коэффициент запаса сопротивления усталости колеса  $n_{y.k}$  в соответствии с ГОСТ 33783–2016 [7] находится по формуле

$$n_{y.k} = \frac{\sigma_{a.d} \cdot k_2}{\sigma_{ai} \cdot k_1} = \frac{150}{104,58} \cdot 0,915 = 1,313, \quad (8)$$

в которой  $\sigma_{a.d}$  – предел выносливости в амплитудах цикла (МПа), по п. 7.6.3.1 ГОСТ 33783–2016 [7] или полученный при стендовых испытаниях натурального колеса при асимметричном цикле нагружения регулярным круговым изгибом. Для цельных колес, упрочненных дробью по ГОСТ 10791–2011 [11], предел выносливости  $\frac{\sigma_{a.d}}{k_1}$  по ГОСТ 33783–2016 составляет 150 МПа.

В (7) и (8)  $\sigma_{ai}$  – расчетное наибольшее значение амплитуды первого главного напряжения от динамических эксплуатационных нагрузок в расчетной точке колеса в нормированном режиме нагружения (104,58 МПа),  $k_1$  – коэффициент, принимающий во внимание зависимость сопротивления усталости от суммарного среднего напряжения цикла, имевших место при стендовых испытаниях натуральных образцов колес,  $k_2$  – коэффициент, учитывающий зависи-

мость сопротивления усталости от суммарного среднего напряжения цикла, определенного в расчетном эксплуатационном режиме, рассчитываемый по формуле

$$k_2 = 1,0 - 0,42 \cdot \left( \frac{\sigma_{mi2}}{\sigma_T} \right) = 1 - 0,42 \cdot \left( \frac{126,75}{630} \right) = 0,915,$$

где  $\sigma_{mi2}$  – среднее напряжение цикла (напряжения растяжения принимают со знаком плюс, напряжения сжатия – со знаком минус);  $\sigma_T$  – предел текучести материала колеса, МПа (630 МПа).

Назначенный срок службы колеса определяется из условия обеспечения вероятности безотказной работы не менее 0,999 по формулам (1)–(6). При расчете принималось, что для грузового вагона  $365 \cdot L_i = 100$  тыс. км ( $10^8$  м), диаметр среднеизношенного колеса  $D = 0,9$  м.

При сроке службы 25 лет вероятность безотказной работы равна 0,999033, при сроке службы 26 лет – 0,99899407, т. е. меньше требуемой величины 0,999. Таким образом, назначенный срок службы колеса с плоским коническим диском должен составлять 25 лет.

## Заключение

Разработанная методика позволяет определять требуемый ТР ТС 001/2011 [2] и ТР ТС 002/2011 [16] назначенный срок службы колес железнодорожного подвижного состава по критерию возникновения усталостных трещин (срок службы определяется именно моментом возникновения усталостной трещины в диске колеса, а не износом обода колеса до предельной величины, как в работах [17, 18]).

Использование описанной методики дает возможность исключить из эксплуатации колеса, надежность которых не соответствует требованиям ГОСТ 33783–2016 [7], и тем самым повысить безопасность движения поездов.

## Библиографический список

1. ТР ТС 001/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». – М. : ЗАО «Кодекс», 2018. – 66 с.
2. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» ТР ТС 001/2011. – Утв. Решением Комиссии Таможенного союза № 710 от 15 июля 2011 г. – URL : [http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p\\_710\\_9.pdf](http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p_710_9.pdf) (дата обращения : 01.09.2020 г.).
3. Кононов Д. П. Повышение надежности цельнокатаных колес : монография / Д. П. Кононов. – М. : БИБЛИО-ГЛОБУС, 2018. – 250 с.
4. Орлова А. М. Библиографические исследования вопросов интенсивности износа и механизмов образования усталостного выкрашивания рабочей поверхности обода в зависимости от типа подвижного состава, осевой нагрузки, рельефа и профиля пути (прямые, кривые, подъемы и уклоны), скоростей движения и пробега. Постановка задач для расчетных и экспериментальных исследований для профиля ГОСТ 10791 : отчет по теме 80. – Ч. 1 / А. М. Орлова, А. А. Воробьев. – СПб. : ПГУПС, 2014. – 165 с.
5. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации. – Утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества. – Протокол № 50 от 21–22 мая 2009 г. – М. : Транспорт, 2010. – 92 с.
6. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм. – РД ВНИИЖТ 27.05.01–2017. – М. : ВНИИЖТ, 2018. – 242 с.
7. ГОСТ 33783–2016. Колесные пары железнодорожного подвижного состава. Методы определения показателей прочности. – М. : Стандартинформ, 2016. – 68 с.
8. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – СПб. : Изд-во «Лань», 2003. – 832 с.
9. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями и дополнениями. – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 318 с.
10. Устич П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. – М. : Учеб.-метод. центр МПС России, 2004. – 416 с.
11. ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2012. – 53 с.
12. Воробьев А. А. Испытания колесных сталей на износ и контактную усталость / А. А. Воробьев, Д. Е. Керенцев, И. В. Федоров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2017. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 628–636.
13. Додж М. Эффективная работа с Excel 7.0 для Windows 95 / М. Додж, К. Кината, К. Стинсон ; пер. с англ. – СПб. : ИнтерПресс, 1997. – 1031 с.
14. Орлова А. М. Определение методами математического моделирования движения грузового и пассажирского вагона : размера пятна контакта колеса и рельса, давления в пятне контакта (напряжения под поверхностью колеса), сил крипа, мощностей сил крипа с учетом осевой нагрузки, скорости движения, износа профиля колеса (для профиля ГОСТ 10791) в паре с рельсами Р65 : отчет по теме 80. – Ч. 3 / А. М. Орлова, А. А. Воробьев. – СПб. : ПГУПС, 2014. – 75 с.
15. Воробьев А. А. Прогнозирование ресурса и совершенствование технологии ремонта колес железнодорожного подвижного состава : дис. ... д-ра техн. наук, специальность : 05.22.07. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 289 с.

16. ТР ТС 002/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта». – М. : ЗАО «Кодекс», 2018. – 72 с.

17. Трушин С.И. Метод конечных элементов. Теория и задачи : учеб. пособие / С.И. Трушин. – М. : АГВ, 2008. – 256 с.

18. Орлова А.М. Разработка расчетной методики оценки ресурса колес. Оценка ресурса колес ОАО «ВМЗ» с учетом результатов испытаний образцов в зависимости от свойств материала, конструкционной скорости, осевой нагрузки, варианта репрезентативного маршрута и параметров промежуточных технологических обточек с целью восстановления профиля колеса. Сравнение результатов расчета ресурса колес с фактическими данными в условиях экс-

плуатации» : отчет по теме 80. – Ч. 7 / А.М. Орлова, А.А. Воробьев. – СПб. : ПГУПС, 2017. – 23 с.

Дата поступления: 08.02.2021

Решение о публикации: 10.02.2021

#### **Контактная информация:**

ВОРОБЬЕВ Александр Алфеевич – д-р техн. наук, проф.; 79219751198@yandex.ru

ФЕДОРОВ Игорь Владимирович – ст. преподаватель; Fedorov281973@yandex.ru

ЧИСТЯКОВ Эдуард Юрьевич – ст. преподаватель; eduard\_chistiakov@mail.ru

АБДУГАНИЕВ Тимур Русланович – аспирант; t1108@mail.ru

ГЛУХОВ Алексей Евгеньевич – аспирант; fredikrigger@mail.ru

## **Calculation of the design life of solid-rolled wheels of railway rolling stock according to the criterion of reliability**

**A. A. Vorob'yev<sup>1</sup>, I. V. Fedorov<sup>1</sup>, E. Yu. Chistyakov<sup>1</sup>, T. R. Abduganiyev<sup>1</sup>, A. E. Glukhov<sup>1</sup>**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Vorob'yev A. A., Fedorov I. V., Chistyakov E. Yu., Abduganiyev T. R., Glukhov A. E. Calculation of the design life of solid-rolled wheels of railway rolling stock according to the criterion of reliability. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 121–131. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-121-131

### **Summary**

**Objective:** Development of a methodology for determining the design life of solid-rolled wheels of railway rolling stock, based on the requirements of the current regulatory documentation. **Methods:** Methods of the theories of probability, reliability, elasticity and numerical solution of partial differential equations (finite element method) are applied. **Results:** A methodology for calculating the design life using the criteria of TR CU 001/2011, TR CU 002/2011 and GOST 33783–2016. **Practical importance:** The developed method will make it possible to exclude the presence of wheels with a significant service life on the railway infrastructure which do not provide the required level of reliability, which, in turn, can lead to sudden destruction of wheels under the cars.

**Keywords:** Wheel, wheelset, design life, probability of failure-free operation, finite element method, finite element model.

## References

1. *TR TS 001/2011. Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza "O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava"* [TR CU 001/2011. Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of railway rolling stock"]. Moscow, JSC "Codex" Publ., 2018, 66 p. (In Russian)
2. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza "O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava" TR TS 001/2011*. Utv. Resheniyem Komissii Tamozhennogo soyuza no. 710 ot 15 iyulya 2011 g. [Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of railway rolling stock" TR CU 001/2011. Approved by the decision of the Commission of the Customs Union N 710 dated July 15, 2011]. Available at: [http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p\\_710\\_9.pdf](http://www.tsouz.ru/kts/kts29/documents/p_710_9.pdf) (accessed: September 01, 2020). (In Russian)
3. Kononov D. P. *Povysheniye nadozhnosti tsel'no-katanykh koles* [Improving the reliability of solid-rolled wheels]. Moscow, BIBLIO-GLOBUS Publ., 2018, 250 p. (In Russian)
4. Orlova A. M. & Vorob'yev A. A. *Bibliograficheskiye issledovaniya voprosov intensivnosti iznosa i mekhanizmov obrazovaniya ustalostnogo vykrashivaniya rabochey poverkhnosti oboda v zavisimosti ot tipa podvizhnogo sostava, oseyoy nagruzki, rel'yefa i profilya puti (pryamyye, krivyeye, pod'yemy i uklony), skorostey dvizheniya i probega. Postanovka zadach dlya raschetnykh i eksperimental'nykh issledovaniy dlya profilya GOST 10791*. Otchet po teme 80. Ch. 1 [Bibliographic studies of the issues of wear intensity and mechanisms of formation of fatigue chipping of the working surface of the rim, depending on the type of rolling stock, axial load, relief and track profile (straight lines, curves, rises and slopes), travel speeds and mileage. Statement of tasks for computational and experimental studies for the profile GOST 10791. Report on topic 80. Pt 1]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2014, 165 p. (In Russian)
5. *Instruktsiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu vagonov v ekspluatatsii*. Utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva. Protokol no. 50 ot 21–22 maya 2009 g. [Instructions for the maintenance of cars in operation. Approved by the Council for Railway Transport of the Member States of the Commonwealth. Protocol N 50 of May 21–22, 2009]. Moscow, Transport Publ., 2010, 92 p. (In Russian)
6. *Rukovodyashchiy dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par s buksovyimi uzlami gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 (1524) mm*. RD VNIIZHT 27.05.01–2017 [Guidance document for the repair and maintenance of wheelsets with axleboxes for freight cars of 1520 (1524) mm track gauge main railways. Guidance document of Scientific Research Institute of Railway Transport]. Moscow, Scientific Research Institute of Railway Transport Publ., 2018, 242 p. (In Russian)
7. *GOST 33783–2016. Kolesnyye pary zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Metody opredeleniya pokazateley prochnosti* [Wheelsets of railway rolling stock. Methods for determining strength indicators]. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 68 p. (In Russian)
8. Korn G. & Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Handbook of mathematics for scientists and engineers]. Saint Petersburg, "Lan" Publ., 2003. 832 p. (In Russian)
9. *Normy rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) s izmeneniyami i dopolneniyami* [Standards for the calculation and design of wagons of 1520 mm track gauge railways of the Ministry of Railways (non-self-propelled) with amendments and additions]. Moscow, Scientific Research Institute of Railway Transport Publ., 1996, 318 p. (In Russian)
10. Ustich P. A., Karpychev V. A. & Ovechnikov M. N. *Nadezhnost' rel'sovogo netyagovogo podvizhnogo sostava* [Reliability of non-traction rail rolling stock]. Moscow, Educational and Methodological Center of the Ministry of Railways of Russia Publ., 2004, 416 p. (In Russian)
11. *GOST 10791–2011. Kolesa tsel'nokatannyye. Tekhnicheskiye usloviya* [Solid-rolled wheels. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 53 p. (In Russian)
12. Vorob'yev A. A., Kerentsev D. Ye. & Fedorov I. V. *Ispytaniya kolesnykh staley na iznos i kontaktnuyu ustalost'* [Tests of wheel steels for wear and contact fatigue]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2017, vol. 14, iss. 3, pp. 628–636. (In Russian)
13. Dodzh M., Kinata K. & Stinson K. *Effektivnaya rabota s Excel 7.0 dlya Windows 95*. Per. s angl. [Run-

ning Microsoft Excel 7.0 for Windows 95. Translated from English]. Saint Petersburg, InterPress Publ., 1997, 1031 p. (In Russian)

14. Orlova A.M. & Vorob'yev A.A. *Opredeleyeniye metodami matematicheskogo modelirovaniya dvizheniya gruzovogo i passazhirskogo vagona: razmera pyatna kontakta koleasa i rel'sa, davleniya v pyatne kontakta (napryazheniya pod poverkhnost'yu koleasa), sil kripa, moshchnostey sil kripa s uchetom osevoy nagruzki, skorosti dvizheniya, iznosa profilya koleasa (dlya profilya GOST 10791) v pare s rel'sami R65*. Otchet po teme 80. Ch. 3 [Determination of the movement of a freight and passenger car by methods of mathematical modeling: the size of the contact patch between the wheel and the rail, the pressure in the contact patch (stress under the wheel surface), the creep forces, the powers of the creep forces taking into account the axial load, speed, wheel profile wear (for GOST 10791 profile) paired with R65 rails. Report on topic 80. Pt 3]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2014, 75 p. (In Russian)

15. Vorob'yev A.A. *Prognozirovaniye resursa i sovershenstvovaniye tekhnologii remonta koleas zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava*. Dis. dok-ra tekhn. nauk, special'ty: 05.22.07 [Forecasting the resource and improving the technology of repairing wheels of railway rolling stock. Doctoral dissertation, speciality: 05.22.07]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 289 p. (In Russian)

16. TR TS 002/2011. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza "O bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta"* [TR CU 002/2011. Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of high-speed rail transport"]. Moscow, JSC "Codex" Publ., 2018, 72 p. (In Russian)

17. Trushin S.I. *Metod konechnykh elementov. Teoriya i zadachi*. Uchebnoye posobiye [Finite element me-

thod. Theory and tasks. Tutorial]. Moscow, AGB Publ., 2008, 256 p. (In Russian)

18. Orlova A.M. & Vorob'yev A.A. *Razrabotka raschetnoy metodiki otsenki resursa koleas. Otsenka resursa koleas OAO «VMZ» s uchetom rezul'tatov ispytaniy obrazov v zavisimosti ot svoystv materiala, konstruktsionnoy skorosti, osevoy nagruzki, varianta reprezentativnogo marshruta i parametrov promezhutochnykh tekhnologicheskikh obtochek s tsel'yu vosstanovleniya profilya koleasa*. Sravneniye rezul'tatov rascheta resursa koleas s fakticheskimi dannymi v usloviyakh ekspluatatsii. Otchet po teme 80. Ch. 7 [Development of a calculation method for assessing the resource of wheels. Evaluation of the service life of the wheels of JSC "Vyksunsky Metallurgical Plant" taking into account the results of testing the patterns depending on the properties of the material, design speed, axial load, the variant of the representative route and the parameters of intermediate technological turns in order to restore the wheel profile. Comparison of the results of calculating the resource of wheels with the actual data under operating conditions. Report on topic 80. Pt 7]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2017, 23 p. (In Russian)

Received: February 8, 2021

Accepted: February 10, 2021

#### Authors' information:

Aleksandr A. VOROB'YEV – D. Sci. (Engineering), professor; 79219751198@yandex.ru

Igor' V. FEDOROV – senior lecturer;

Fedorov281973@yandex.ru

Eduard Yu. CHISTYAKOV – senior lecturer;

eduard\_chistiakov@mail.ru

Timur R. ABDUGANIYEV – PhD student;

t1108@mail.ru

Aleksey E. GLUKHOV – PhD student;

fredikrigr@mail.ru

УДК 656.212.5.073

## Оценка факторов, влияющих на экспортный потенциал Республики Узбекистан

Е. К. Коровяковский, М. Б. Сабуров, Ш. Х. Султонов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Коровяковский Е. К., Сабуров М. Б., Султонов Ш. Х. Оценка факторов, влияющих на экспортный потенциал Республики Узбекистан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 132–142.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-132-142

### Аннотация

**Цель:** Оценка и анализ факторов, влияющих на экспорт Узбекистана и создание онлайн-трейд платформы по доставке экспортируемых товаров. **Методы:** Применяются методы системного анализа, диаграмма анализа корневых причин при экспорте грузов. **Результаты:** Построена структура экспорта и торговых отношений Республики Узбекистан со странами мира. Проанализированы и оценены факторы, влияющие на экспорт из Узбекистана, построены диаграммы «Исикавы». Разработаны целевая функция и онлайн-трейд платформа по доставке экспортируемых товаров. **Практическая значимость:** Рассмотренные корневые анализы и выявленные факторы, влияющие на экспорт из Узбекистана, а также предлагаемый онлайн-трейд платформа по доставке экспортируемых товаров дают возможность увеличить экспорт сельскохозяйственных и текстильных товаров на 20% и более, а также повысить экспорт республики до уровня импорта с уменьшением сальдо между экспортом и импортом.

**Ключевые слова:** Внешний торговый оборот, фактор, влияющий на экспорт, онлайн-трейд платформа по доставке экспортируемых товаров, перевозочная услуга, транспортно-операторская компания.

### Введение

В процессе углубленной глобализации, интеграции и стремлении вхождения Узбекистана в Евразийский экономический союз и Всемирную торговую организацию осуществляется переход сельскохозяйственных и текстильных секторов к кластерным производствам, что, в свою очередь, требует использования инновационных подходов к транспортным системам, научного обоснования и разработки новых технологий по поставке товаров, производимых в республике на экспорт.

По итогам 2019 г. внешнеторговый оборот Узбекистана составил 42,2 млрд долл. и вырос

на 8,7 млрд долл., или на 26,2%, по сравнению с 2018 г. Экспорт отечественных товаров и услуг в зарубежные страны увеличился на 3,9 млрд долл., или на 28%, к 2018 г. и составил 17,9 млрд долл., а импорт на 4,8 млрд долл., достигнув отметки в 24,3 млрд долл., что на 25% больше, чем в 2018 г. [1].

Структура экспорта Республики Узбекистан представлена на рис. 1. Из него видно, что значительная доля экспорта страны приходится на изделия из драгоценных и полудрагоценных металлов (28,5% от совокупного объема экспорта) и услуги (19,9%). Исходя из этого, в настоящее время Узбекистан осуществляет торговые отношения более чем со 181 страной



Рис. 1. Структура экспорта Республики Узбекистан

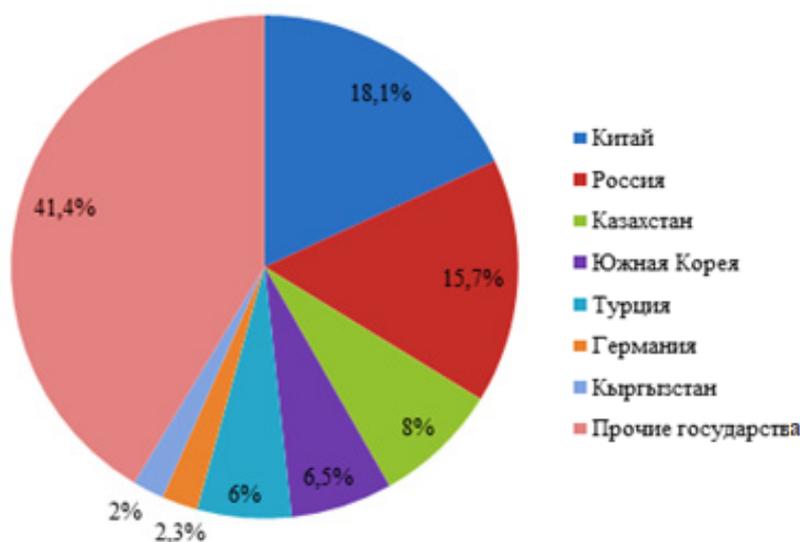


Рис. 2. Торговые отношения Республики Узбекистан со странами мира

мира. Из рис. 2 следует, что наибольший объем внешнеторгового оборота связан с Китаем – 18,1%, Россией – 15,7% и Казахстаном – 8%.

Среди 20 крупных стран-партнеров по внешнеэкономической деятельности наблюдается активный баланс внешней торговли (млн долл.) с пятью странами: Афганистан – 424,2, Кыргызстан – 423,7, Таджикистан – 104, Франция – 44 и Иран – 6,1. По остальным 15 странам сохраняется пассивный баланс внешнеторгового оборота [2].

По вышеперечисленным показателям (см. рис. 1) видно, что сальдо между экспортом и импортом составляет 6,4 млрд долл., а среди экспортируемых товаров больше 50% приходится на сырье, меньше 20% – на готовую сельскохозяйственную и текстильную продукцию, в которой республика имеет огромный потенциал.

Тема научного изучения экспорта и его транспортной обеспеченности является актуальной, однако в настоящее время в экспорте то-

варов в Республике Узбекистан по причине отсутствия онлайн-трейд платформы и свободной конкуренции в транспортном секторе задействованы многие посредники, т. е. перекупщики, что, естественно, приводит к увеличению срока доставки, удорожанию товара и снижению конкурентоспособности экспортных товаров на мировом рынке.

### Обзор работ по изучаемым вопросам

Вопросам анализа и оценки влияющих факторов на экспорт, создания электронных рынков, совершенствования операторских услуг и конкуренции в сфере транспорта посвящены работы многих ученых, однако большинство из них раскрывают отдельные аспекты проблемы, не учитываются местные условия и не предложены универсальные механизмы оценки [3–7 и др.]. Например, в [3] описаны проблемы логистической инфраструктуры России и факторы, влияющие на проблемы при экспорте зерна, проведен анализ экспорта зерна и указаны направления решения проблемы.

Авторы [4] рассматривают потребность операторских компаний при развитии перевозочных услуг на железнодорожном транспорте, а также их совершенствование и в результате разработали классификационные признаки компаний-операторов. Также в [5] изучены актуальные вопросы развития рынка операторских услуг на железнодорожном транспорте, обоснована передача вагонного парка частным операторам для формирования конкурентоспособности на рынке транспорта, выявлены негативные факторы, такие как средний возраст грузовых вагонов, дефицит подвижного состава и отсутствие эффективного регулирования рабочего парка, которые влияют на оптимальность операторской деятельности.

В [6] предложен единый цифровой рынок Евросоюза (ЕЦР) с помощью следующих блоков:

1-й блок: облегчение доступа потребителей и бизнеса к товарам и услугам через Интернет в пределах всего ЕЦР;

2-й блок: создание благоприятных условий для развития цифровых сетей и услуг;

3-й блок: содействие максимальному росту потенциала европейской цифровой экономики.

Исходя из этого, были перечислены 16 подблочных факторов, влияющие на ЕЦР. Обосновано, что ЕЦР дает возможность равноправного доступа по каждому элементу экономики, в том числе в транспортном секторе.

В работе [7] произведена систематизация операторских компаний железнодорожного подвижного состава и показана необходимость создания параметров информационного взаимодействия на базе единого сетевого технологического процесса. Разработана классификация операторов железнодорожного подвижного состава и на основе этого определен наиболее доходный сектор рынка железнодорожных перевозок.

Обзор научных работ показал, что создание онлайн-трейд платформы (или ЕЦР) и конкуренция в транспортном секторе, а также факторы, влияющие на экспорт товаров, связаны с местными условиями каждого государства.

### Анализ и оценка факторов, влияющих на экспорт

В настоящее время на экспортный потенциал Республики Узбекистан во многом оказывают влияние такие факторы как поиск экспортно-ориентированных товаров, отсутствие базы данных о транспортно-операторской деятельности (далее – операторы), таможенные процедуры (оформления), сертификация товаров и др. (рис. 3).

**Первый фактор – поиск экспортноориентированной продукции.** Поиск продукции, ориентированной на экспорт в Узбекистане, является серьезной проблемой. С развитием современных информационных технологий в Узбекистане отсутствуют соответствующие онлайн-трейд платформы, отвечающие современным требованиям. Другими словами, проблема в том, что нет оптовых и розничных рынков для онлайн-трейд платформы товаров, производимых в Узбекистане.

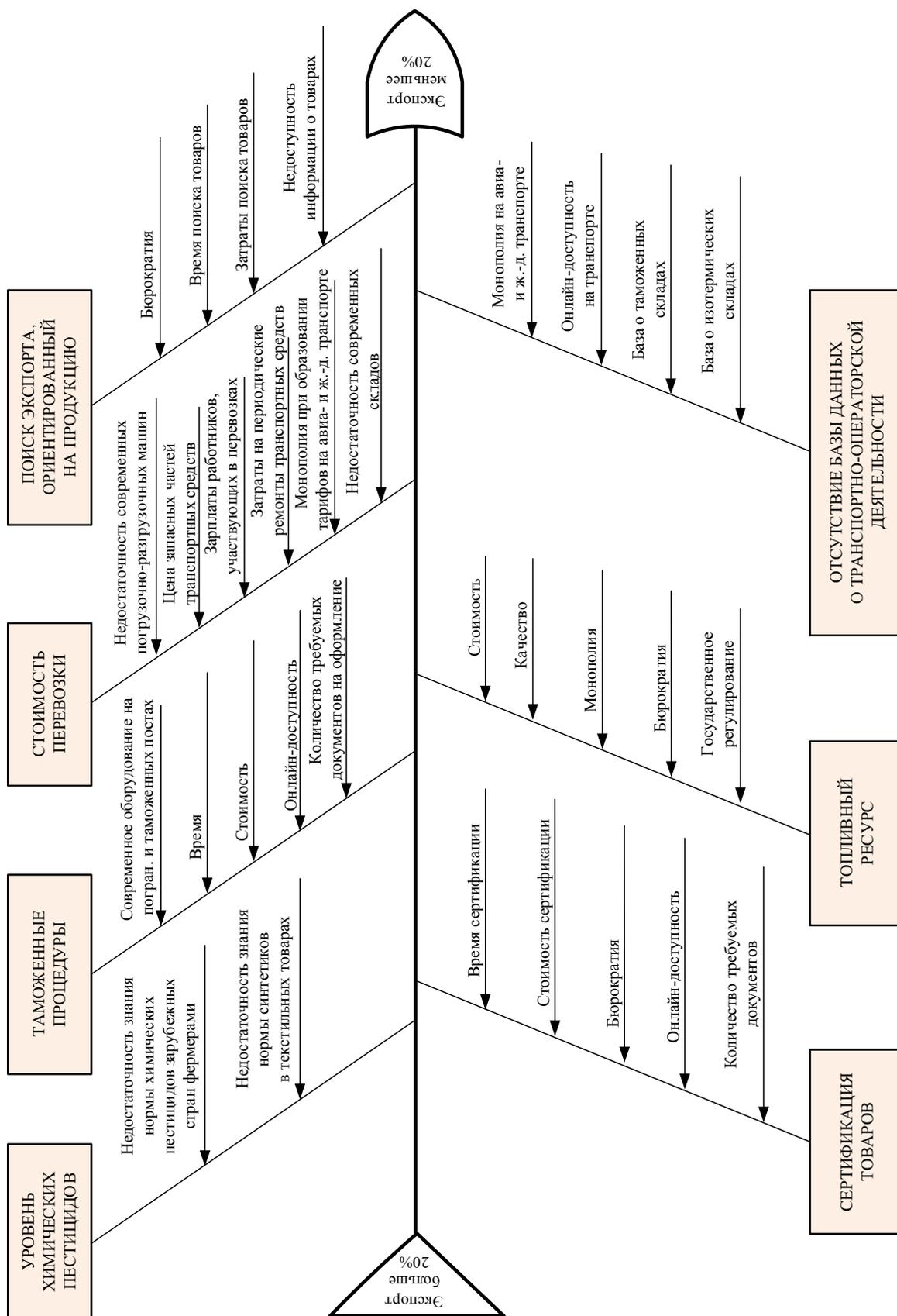


Рис. 3. Схема Исикавы, характеризующая факторы, влияющие на экспорт

Существующие социальные группы, каналы, не являются общественной платформой на мировом уровне и в данном случае решением проблемы. Например, учитывая обстоятельства страны, где нет прямой связи между предпринимателем и фермером, который выращивает урожай, отсутствует информация в электронном виде о выращиваемой сельхозпродукции [8, 9].

К примеру, на рис. 4 показана примерная схема доставки аграрных и текстильных товаров за границу, в которой с учетом местных условий участвуют очень много перекупщиков. Они покупают товар от одного участника логистической цепи доставки и продают следующему участнику (местному оптовому покупателю, оптовому покупателю за границей или транспортной компании), что естественно приводит к увеличению цены товара. Из логической цепи вытекает, что продавцы должны иметь возможность предлагать на мировом рынке продукты, конкурентоспособные по цене и качеству, и для развития экспорта необходимо построение современной цифровой рыночной инфраструктуры.

Из рис. 4 следует, что в настоящее время нужен конструктивный инновационный подход, который объединит производителей, экспортеров и покупателей во всех областях.

**Второй фактор – отсутствие базы данных о транспортно-операторской деятельности.** На практике экспортеры пользуются услугами транспортных компаний для отправки закупленного товара. В Узбекистане насчитываются около 5–8 тыс. грузовых автомобилей, примерно 19 тыс. грузовых вагонов, что не считается достаточным рыночным парком, для того чтобы отправить на экспорт примерно 25 млн т сельхозпродукции. Это означает, что в республике слабо развит рынок поставщиков для предпринимателей [10, 11].

**Третий фактор – стоимость перевозок.** На 1 января 2021 г. самая низкая цена перевозки 1 т груза за километр составляет примерно 1,5 долл. В эту цену включена не только стоимость доставки до пункта назначения, но и стоимость возвращения из него. При наличии онлайн-трейд

платформы для экспортеров, имеющей функции работы в формате, подобном Яндекс-такси, цена могла бы уменьшиться в 2 раза. При онлайн-трейд платформе вернуть груз под заказ в обратном направлении также было бы возможно дешевле. Это немаловажная проблема, с которой сталкиваются экспортеры [12].

**Четвертый фактор – топливный ресурс (высокая стоимость дизельного топлива в Узбекистане).** Дизельное топливо и авиакеросин являются обязательными для современных транспортных средств, однако стоимость данного вида топлива выше, чем в соседних странах. Так, в Туркмении дизельное топливо дешевле примерно в 2–3 раза, в Казахстане – на 1,5–2 раза, в Кыргызстане – на 50%, в Таджикистане – на 10%, чем в Узбекистане, что тоже влияет на увеличение провозной платы экспортируемых товаров относительно импортируемых. Это означает, что проблема цен на дизельное топливо может быть каким-то образом связана с монополией. Импортёры по-прежнему будут покупать дизельное топливо из соседних стран.

**Пятый фактор – таможенные процедуры (оформления).** В индексе эффективности логистики по таможенным процедурам Узбекистан в 2018 г. занял 140-е место среди 167 стран [13]. Это означает, что таможенное оформление, таможенная очистка и пересечение границы транспортных средств не выполняются в достаточном режиме. Из-за сложности таможенного оформления увеличивается простой грузовых транспортных средств. Необходимо упростить таможенные оформления, снизить стоимости, дать максимальный допуск оформления в режиме онлайн и переоборудовать пограничные посты и таможенные склады современными технологиями.

**Шестой фактор – сертификация товаров.** Эта процедура связана с выдачей сертификатов о стране происхождения, сертификатов соответствия, карантинных сертификатов, фитосанитарного сертификата на сельскохозяйственную продукцию и др. Требуется упростить сертификацию экспортеров путем введения новых способов. Например, в Европе и России можно по-

лучить такие сертификаты в течение 1–2 ч. Существует проблема со временем и платой за сертификацию, получение сертификатов занимает приблизительно 3–4 дня. Экспортеры в области фруктов и овощей имеют сертификат качества «Международной продовольственной службы», который является международным документом. С ним они могут продавать свою продукцию, где угодно. К сожалению, в настоящее время у Узбекистана нет такого сертификата [12].

**Седьмой фактор – уровень химических пестицидов.** Еще одной распространенной проблемой в последние годы в сельскохозяйственном секторе является превышение уровня химических пестицидов в некоторых продукциях. В результате возникают случаи ее недопуска в другие страны, это происходит из-за недостаточной информации о допустимых нормах химических пестицидов в сельхозпродукции. Такие проблемы в текстильных товарах отсутствуют из-за дешевизны хлопчатобумажной ткани относительно химических синтетиков. Производители текстильных товаров предпочитают использовать 80–100 % хлопчатобумажной ткани, максимум химической синтетической ткани составляет 0–20 %.

На основе вышеперечисленных факторов, влияющих на экспорт товаров, можно привести следующую целевую функцию [14–17]:

$$y = f\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\} \rightarrow \min,$$

где  $y$  – общецелевая функция, которая должна стремиться к минимуму;  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$  – аргументы, влияющие на целевую функцию:  $x_1$  – время поиска и цена сельскохозяйственных и текстильных продуктов,  $x_2$  – время поиска оптимального транспортного средства,  $x_3$  – стоимость перевозки,  $x_4$  – цена топливного ресурса транспортных средств,  $x_5$  – время оформления и стоимость таможенной операции,  $x_6$  – время оформления и стоимость сертификации экспортируемых товаров,  $x_7$  – параметр уровня химических веществ в составе товара,  $x_8$  – время и стоимость других процедур, необходимых при экспорте товара.

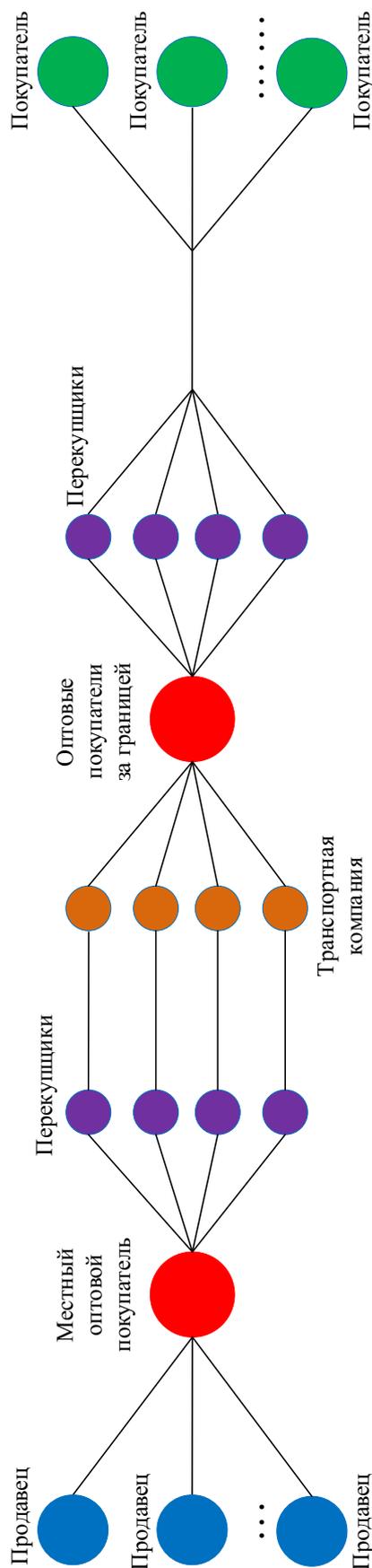


Рис. 4. Существующие примерные пути доставки аграрной и текстильной продукции за границу

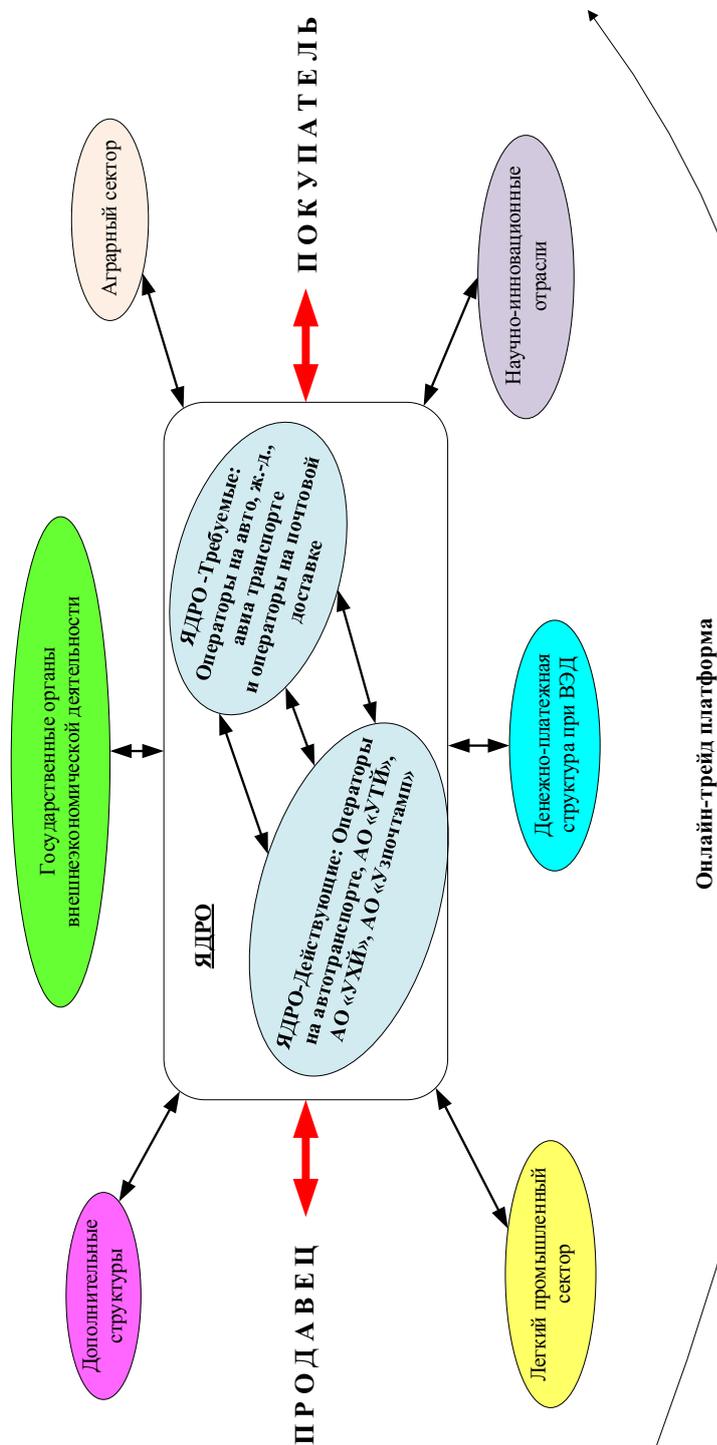


Рис. 5. Схема регулирования действующего процесса экспортера товаров:

научно-инновационные отрасли – отрасли, занимающиеся внедрением современной цифровой экономики, инновации в онлайн-трейд платформе; ЯДРО-транспортно-операторские компании: ЯДРО-действующие: АО «Узбекистон темир йуллари» (АО «УТЙ»), АО «Узбекистан хаво йуллари» (АО «УХЙ»), АО «Узпочтамп» – эти акционерные общества с единственным владельцем инфраструктурой, оператором и экспедитором соответственно на железнодорожном, воздушном транспорте и почтовой перевозке; ЯДРО-Требуемые: частные операторы на железнодорожном, автомобильном и воздушном транспорте, частные почтовые операторы; аграрный сектор – агрокластеры, фермерские хозяйства и предприятия, производящие сельхозпродукты, и государственные структуры в сельскохозяйственной отрасли; легкий промышленный сектор – хлопково-текстильные кластеры, предприятия, занимающиеся текстильным производством, и госструктуры в легкой промышленности; государственные органы, занимающиеся внешней экономической деятельностью, – это министерства иностранных дел, инвестиции и внешней торговли, таможенная служба и т. д.; денежно-платежная структура при ВЭД – банки, занимающиеся внешнеэкономической деятельностью; дополнительные государственные структуры – дополнительные государственные структуры, которые работают с экспортером, выдающие разрешительно-удостоверяющие данные о товаре

Учитывая вышеперечисленные аргументы, требуется углубленно разработать комплексную целевую функцию, оптимизирующую время и затраты процесса экспорта.

При анализе приведенных факторов и рис. 3 выявлено, что в большинстве случаев к препятствиям при доставке экспорта товаров относятся монополия, отсутствие онлайн-доступности, недостаточная конкуренция в транспортном секторе и бюрократия. В связи с этим предлагается создать онлайн-трейд платформу (рис. 5). Она должна получить доступ к базе товаров из любой страны мира и заключать прямые контракты, т. е. экспортеры должны иметь все координаты на базе товаров и возможности прямого контакта с иностранными покупателями.

Из рис. 5 видно, что в экспортном процессе между продавцом и покупателем играют большую роль транспортные операторы, находящиеся в ядре. В ядре онлайн-трейд платформы показаны монопольные операторы на железнодорожном, воздушном транспорте и почтовой перевозке (действующие) и операторы с равноправным доступом к конкуренции на всех видах транспорта (требуемые). Предлагается, что ядро вначале действует при государственной поддержке, затем происходит постепенная передача частным операторским секторам, которые работают на более крупной платформе. Это способствует развитию конкуренции между операторами, расширению влияния операторов в мировом рынке перевозок, формированию современных национальных операторов и перевозке экспортноориентированных товаров сельскохозяйственных и текстильных кластеров.

## Заключение

Действительно, экспорт, особенно сельскохозяйственной и текстильной продукции, эффективен в Узбекистане. Если отрасль хорошо управляется, она может принести огромную финансовую прибыль государству, поднимая экспорт республики до уровня импорта с уменьшением сальдо между экспортами и импортами.

Обзор научных работ и анализ влияющих факторов на экспорт показали, что создание онлайн-трейд платформы и конкуренция в транспортном секторе связаны с местными условиями каждого государства.

В экспортном процессе между продавцом и покупателем большую роль играют транспортные операторы и онлайн-трейд платформы. Предложено заменить действующих монопольных операторов на операторов, имеющих равноправные доступы к инфраструктуре всех видов транспорта, что создаст свободную конкуренцию между операторами и оптимально доставит экспортноориентированные товары на экспорт.

Более углубленные анализы и расчеты по научному обоснованию операторских компаний будут проведены в следующих научных расчетах.

## Библиографический список

1. Официальная статистика. – Министерство инвестиций и внешней торговли республики Узбекистан. – URL : <https://mift.uz/ru/menu/vneshne-torgoviy-oborot-Uzbekistana> (дата обращения : 01.01.2021 г.).
2. Официальная статистика. – Государственный комитет Узбекистана по статистике – URL : <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika> (дата обращения : 01.01.2021 г.).
3. Бекирова С.З. Проблемы российской логистической инфраструктуры экспорта сельхозпродукции (на примере экспорта зерна) / С.З. Бекирова, Р.В. Смалко // Вестн. ТОГУ. – 2014. – № 2 (34). – С. 76–81.
4. Леонтов Р.Г. Формирование субъектов рынка железнодорожных услуг / Р.Г. Леонтов, В.В. Комаров, О.И. Некрасов // Вестн. ТОГУ. – 2009. – № 3 (14). – С. 115–122.
5. Гузенко Н.В. Развитие рынка операторских услуг на железнодорожном транспорте : проблемы и перспективы / Н. В Гузенко // Вестн. Томск. гос. ун-та. – 2010. – № 3 (340). – С. 6–15.
6. Ревенко Н.С. Европейский союз на пути к единому цифровому рынку / Н.С. Ревенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Вып. 2 (39). – С. 6–15.

7. Сергеева Т. Г. Повышение конкурентоспособности транспортно-логистических компаний в условиях цифровизации / Т. Г. Сергеева, Г. И. Никифорова // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – СПб. : ПГУПС, 2020. – Т. 17. – Вып. 3. – С. 428–436.
8. Бутунов Д. Б. Оценка непроизводительных потерь в работе сортировочной станции / Д. Б. Бутунов, А. Г. Котенко // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – СПб. : ПГУПС, 2018. – Т. 15. – Вып. 4. – С. 498–510.
9. Коровяковский Е. К. К вопросу о циркуляции воздуха внутри контейнера при открытом люке под определенным углом при модификации контейнеров для перевозки скоропортящихся грузов / Е. К. Коровяковский, М. А. Хаджимухаметова // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – СПб. : ПГУПС, 2018. – Т. 15. – Вып. 1. – С. 47–53.
10. Хаджимухаметова М. А. Логистика экспортно-ориентированной плодоовощной продукции Узбекистана / М. А. Хаджимухаметова // *Логистика : современные тенденции развития : материалы XV Международ. науч.-практич. конференции*. – СПб. : ПГУПС, 2016. – С. 155–160.
11. Сабуров М. Б. Анализ и прогнозирование логистических показателей в Республике Узбекистан / М. Б. Сабуров, Д. Б. Бутунов // *Республиканская науч.-практич. конференция с участием зарубежных ученых «Транспортная логистика, мультимодальные перевозки»*. Ташкент, 7–18 мая 2019 г. – Ташкент : ТашИИТ, 2019. – С. 41–45.
12. Основные задачи и направления деятельности Государственного комитета. Государственный комитет Республики Узбекистан по автомобильным дорогам. – URL : <http://www.uzavtoyul.uz/ru/page/company.html> (дата обращения : 01.01.2021 г.).
13. Официальная статистика. Всемирный банк. – URL : <https://lpi.worldbank.org/international/global/2018> (дата обращения : 01.01.2021 г.).
14. Сабуров М. Б. Анализ и прогнозирование вагонного парка ГАЗК «УТЙ» / М. Б. Сабуров. – Ташкент : ТашИИТ, 2010. – 120 с.
15. Бубнов В. П. Применение информационных технологий для разработки программного продукта по автоматизации процессов моделирования конструкций вагонов на вагоностроительных предприятиях АО «Узбекистон темир йуллари» / В. П. Бубнов, Ш. Х. Султонов // *Вестн. ТашИИТ*. – 2019. – № 2. – С. 84–92.
16. Султонов Ш. Х. Структура управляющей программы и способ для обнаружения обледенения на поверхности стрелочных переводов / Ш. Х. Султонов, Н. А. Крицкий, З. Р. Султонова // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. – 2020. – № 2 (22). – С. 59–64.
17. Barausov V.A. Control software for surface ice and snow detecting device / V.A. Barausov, V.P. Bubnov, Sh. Kh. Sultonov // *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop–2019 (MMISR–2019)*. – 2020. – Vol. 2556. – P. 75–79.

Дата поступления: 20.10.2020

Решение о публикации: 20.01.2021

#### **Контактная информация:**

КОРОВЯКОВСКИЙ Евгений Константинович – д-р техн. наук, проф.; [logist@pgups.ru](mailto:logist@pgups.ru)  
 САБУРОВ Мардон Баходирович – аспирант; [saburov.mardonbek83@mail.ru](mailto:saburov.mardonbek83@mail.ru)  
 СУЛТОНОВ Шохрух Холмурзаевич – аспирант; [sultonovsh@yandex.ru](mailto:sultonovsh@yandex.ru)

## **Assessment of factors affecting the export potential of the Republic of Uzbekistan**

**E. K. Korovjakovskij, M. B. Saburov, Sh. Kh. Sultonov**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Korovjakovskij E. K., Saburov M. B., Sultonov Sh. Kh. Assessment of factors affecting the export potential of the Republic of Uzbekistan. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 132–142. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-132-142

## Summary

**Objective:** Assessment and analysis of factors affecting the export of Uzbekistan and the creation of an online trade platform for the delivery of exported goods. **Methods:** Methods of system analysis, the diagram of the analysis of root causes when exporting goods are applied. **Results:** The structure of export and trade relations of the Republic of Uzbekistan with the countries of the world has been constructed. The factors affecting the export from Uzbekistan are analyzed and evaluated, the “Ishikawa” diagrams are drawn. A target function and an online trade platform for the delivery of exported goods have been developed. **Practical importance:** The considered root analyzes and the identified factors affecting exports from Uzbekistan, as well as the proposed online trade platform for the delivery of exported goods, make it possible to increase the export of agricultural and textile goods by 20% or more, as well as to increase the republic’s exports to the level of imports with a decrease in the balance between export and import.

**Keywords:** External trade turnover, a factor affecting exports, online trade platform for the delivery of exported goods, transportation service, transport and operator company.

## References

1. *Ofitsial'naya statistika. Ministerstvo investitsiy vneshney trgovli respubliki Uzbekistan [Official statistics. Ministry of Investment and Foreign Trade of the Republic of Uzbekistan]*. Available at: <https://mift.uz/ru/menu/vneshne-torgoviy-oborot-Uzbekistana> (accessed: January 01, 2021). (In Russian)
2. *Ofitsial'naya statistika. Gosudarstvennyy komitet Uzbekistana po statistike [Official statistics. State Committee of Uzbekistan on Statistics]*. Available at: <https://www.stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika> (accessed: January 01, 2021). (In Russian)
3. Bekirova S.Z. & Smal'ko R.V. Problemy rossiyskoy logisticheskoy infrastruktury eksporta sel'khozproduktov (na primere eksporta zerna) [Problems of the Russian logistics infrastructure for the export of agricultural products (on the example of grain export)]. *Vestnik TOGU [Bulletin of Pacific State University]*, 2014, no. 2 (34), pp. 76–81. (In Russian)
4. Leontov R.G., Komarov V.V. & Nekrasov O.I. Formirovaniye sub'yektov rynka zheleznodorozhnykh uslug [Formation of subjects of the market of railway services]. *Vestnik TOGU [Pacific State University Bulletin]*, 2009, no. 3 (14), pp. 115–122. (In Russian)
5. Guzenko N.V. Razvitiye rynka operatorskikh uslug na zheleznodorozhnom transporte: problemy i perspektivy [Development of the operator services market in railway transport: problems and prospects]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University]*, 2010, no. 3 (340), pp. 6–15. (In Russian)
6. Revenko N.S. Yevropeyskiy soyuz na puti k yedinomu tsifrovomu rynku [The European Union on the way to a single digital market]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2016, iss. 2 (39), pp. 6–15. (In Russian)
7. Sergeeva T.G. & Nikiforova G.I. Povysheniye konkurentosposobnosti transportno-logisticheskikh kompaniy v usloviyakh tsifrovizatsii [Increasing the competitiveness of transport and logistics companies in the context of digitalization]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2020, vol. 17, iss. 3, pp. 428–436. (In Russian)
8. Butunov D.B. & Kotenko A.G. Otsenka neproizvoditel'nykh poter' v rabote sortirovochnoy stantsii [Assessment of unproductive losses in the marshal yard]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2018, vol. 15, iss. 4, pp. 498–510. (In Russian)
9. Korovyakovskiy E.K. & Khadzhimukhametova M.A. K voprosu o tsirkulyatsii vozdukh vnutri konteynera pri otkrytom lyuke pod opredelennym uglom pri modifikatsii konteynerov dlya perevozki skoroportyashchikhsya gruzov [On air circulation inside the container with an open hatch at a certain angle when modifying containers for the carriage of perishable goods]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2018, vol. 15, iss. 1, pp. 47–53. (In Russian)

10. Khadzhimukhametova M. A. Logistika eksportoriyentirovannoy plodoovoshchnoy produktsii Uzbekistana [Logistics of export-oriented fruits and vegetables of Uzbekistan]. *Logistika: sovremennyye tendentsii razvitiya*. Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [*Logistics: modern development trends*. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, pp. 155–160. (In Russian)
11. Saburov M. B. & Butunov D. B. Analiz i prognozirovaniye logisticheskikh pokazateley v Respublike Uzbekistan [Analysis and forecasting of logistics indicators in the Republic of Uzbekistan]. *Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s uchastiyem zarubezhnykh uchenykh “Transportnaya logistika, mul'timodal'nyye perevozki”*. Tashkent, 7–18 maya 2019 g. [*Republican scientific and practical conference with the participation of foreign scientists “Transport logistics, multimodal transportation”*]. Tashkent, May 7–18, 2019]. Tashkent, TashIIT [Tashkent State Transport University] Publ., 2019, pp. 41–45. (In Russian)
12. *Osnovnyye zadachi i napravleniya deyatel'nosti Gosudarstvennogo komiteta. Gosudarstvennyy komitet Respubliki Uzbekistan po avtomobil'nyim dorogam* [The main tasks and activity areas of the State Committee. State Committee of the Republic of Uzbekistan for Roads]. Available at: <http://www.uzavtoyul.uz/ru/page/company.html> (accessed: January 01, 2021). (In Russian)
13. *Ofitsial'naya statistika. Vsemirnyy bank* [Official statistics. The World Bank]. Available at: <https://lpi.worldbank.org/international/global/2018> (accessed: January 01, 2021). (In Russian)
14. Saburov M. B. *Analiz i prognozirovaniye vagonnogo parka GAZHK “UTY”* [Analysis and forecasting of the car fleet of JSC “Railways of Uzbekistan”]. Tashkent, Tashkent State Transport University Publ., 2010, 120 p. (In Russian)
15. Bubnov V. P. & Sultonov Sh. Kh. *Primenenii informatsionnykh tekhnologiy dlya razrabotki programmogo produkta po avtomatizatsii protsessov modelirovaniya konstruktsiy vagonov na vagonostroitel'nykh predpriyatiyakh AO “Uzbekiston temir yullari”* [Application of information technologies for the development of a software product to automate the processes of modeling car structures at the car-building enterprises of JSC “Uzbekiston Temir Yullari”]. *Vestnik TashIIT* [Bulletin of Tashkent State Transport University], 2019, no. 2, pp. 84–92. (In Russian)
16. Sultonov Sh. Kh., Kritskiy N. A. & Sultonova Z. R. *Struktura upravlyayushchey programmy i sposob dlya obnaruzheniya obledeneniya na poverkhnosti strelochnykh perevodov* [The structure of the control program and a method for detecting icing on the surface of the turnouts]. *Intellektual'nyye tekhnologii na transporte* [Intellectual technologies in transport], 2020, no. 2 (22), pp. 59–64. (In Russian)
17. Barausov V. A. *Control software for surface ice and snow detecting device. Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop–2019 (MMISR–2019)*, 2020, vol. 2556, pp. 75–79.

Received: October 10, 2020

Accepted: January 20, 2021

**Author’s information:**

Evgeny K. KOROVJAKOVSKIY – D. Sci. in Engineering, Professor; [logist@pgups.ru](mailto:logist@pgups.ru)

Mardon B. SABUROV – Postgraduate Student; [saburov.mardonbek83@mail.ru](mailto:saburov.mardonbek83@mail.ru)

Shokhrukh Kh. SULTONOV – Postgraduate Student; [sultonovsh@yandex.ru](mailto:sultonovsh@yandex.ru)

УДК 331.456.202111

## Проблемы безопасности, существующие в строительной отрасли Китая

Тан Чжуншэн

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Чжуншэн Тан* Проблемы безопасности, существующие в строительной отрасли Китая // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 143–152. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-143-152

### Аннотация

**Цель:** Изучить основные проблемы безопасности трудового процесса в строительной отрасли на примере строительства жилых зданий. Выделить основные факторы, влияющие на условия безопасности строительства. Предложить новую организационную структуру рабочего персонала для преобразования управления безопасностью на строительной площадке. **Методы:** Применялись анализ, синтез, статистический метод, метод сравнения, а также метод правового анализа. **Результаты:** Установлено, что скорость роста строительного сектора Китая опережает его нормативную базу, которая нуждается в скорейшем изменении. Государству необходимо предпринять согласованные усилия по унификации стандартов безопасности труда на строительных площадках. Были выделены пять факторов, влияющих на условия безопасности в процессе строительства жилого дома: человеческий, строительного оборудования, окружающей среды, управление процессом строительства и технический. В результате проведенного исследования также была разработана новая организационная структура рабочего персонала, основой которой является усиление надзора как со стороны руководства, так и среди рабочих с целью изменения управления условиями безопасности на строительной площадке. Детальный анализ происшествий, произошедших в 2018 г., позволил выявить наиболее частые несчастные случаи, связанные с безопасностью строительства, а также их типы. Неудачи при строительстве в основном объясняются управленческими, а не техническими аспектами. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут стать основой дальнейших исследований, посвященных безопасности труда в строительной отрасли Китая, учебных и лекционных материалов. Рассмотренная организационная структура рабочего персонала позволит строительным компаниям наиболее эффективно осуществлять строительные проекты с одновременным соблюдением всех норм охраны труда. Необходимо обновлять законодательную базу в области безопасности условий труда.

**Ключевые слова:** Китай, законодательство, охрана труда, строительство, несчастный случай.

### Введение

За последние два десятилетия Китай пережил характерно быстрое экономическое развитие, особенно в строительстве городской инфраструктуры, что является очень хорошим результатом для государства. В настоящее время строительная отрасль играет решающую роль в

национальной экономике страны. Объем валового внутреннего продукта (ВВП) в данной сфере в 2019 г. достиг 23,5 триллиона юаней, тогда как общий ВВП Китая составил 90 триллионов юаней [1]. В этом же году площадь жилищного строительства увеличилась до 14,09 млрд кв.м [2]. Однако такое быстрое развитие произошло за счет разрушения окружающей среды и на-

несения вреда здоровью человека. Хотя строительная отрасль Китая продолжает развиваться, она по-прежнему является трудоемкой и служит типичным примером экстенсивной экономики из-за низкого уровня использования технологий и несбалансированного развития. Некоторые ситуации вызвали коллапс экосистем и даже гибель людей из-за нарушений безопасности. В последние годы не только стихийные бедствия, но и аварии, вызванные строительством, угрожают безопасности и устойчивому развитию. Таким образом, это не способ устойчивого развития для окружающей среды, экономики и общества. Устойчивость означает постоянное улучшение качества жизни людей. При этом необходимо заметить, что «строительный и инженерный секторы должны сыграть чрезвычайно важную роль в создании инфраструктуры для устойчивого будущего» [3]. По мнению инженеров-строителей, рациональное развитие занимает центральное место в строительстве жилых домов, и именно поэтому необходима эффективная и безопасная организация данного процесса.

### **Анализ нормативных актов в сфере строительства**

Строительная промышленность в Китае отличается разрозненными строительными площадками, сложной средой, значительным количеством персонала и высокой мобильностью. Эти особенности строительной индустрии Китая приводят к высокой частоте несчастных случаев во время строительства жилых объектов. Однако безопасность техники имеет большое значение для устойчивого развития экономики и социальной стабильности. Правительство Китая выявило данные проблемы и недавно попыталось их решить. В последние годы были изданы и внесены поправки в некоторые законы и постановления об охране окружающей среды и устойчивом развитии, например Закон о строительстве, Закон о безопасности производства, Закон об охране окружающей среды и Закон о городском и сельском планировании [4]. С помощью

этих нормативных документов была предпринята попытка замедлить темпы строительства и сформировать стратегическую экологическую оценку (СЭО) во время планирования, проектирования и выполнения строительных работ.

Необходимо также отметить, что строительная отрасль сопряжена со значительным риском и может оказать существенное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. В связи с быстрым развитием анализируемой отрасли было проведено множество исследований по различным темам, направленных на повышение безопасности. Их можно сгруппировать в следующие основные группы:

- 1) процесс управления безопасностью;
- 2) влияние индивидуальных, групповых или организационных факторов;
- 3) данные об авариях.

С точки зрения процесса управления безопасностью исследования стали более комплексными по мерам, оценкам, знаниям в области безопасности, ее мониторингу и т. д. [5]. Изучение характеристик участия заинтересованных сторон в строительстве, а именно рабочих на стройплощадке и групп или организаций, имеет решающее значение для повышения безопасности условий. Более того, данные об авариях являются основой многих исследований, в том числе статистики, анализа стоимости и причин аварии.

Чтобы поддерживать порядок и развивать эту жизненно важную отрасль, Всекитайское собрание народных представителей (далее – ВНК) 1 ноября 1997 г. обнародовало Закон о строительстве в Китайской Народной Республике. Данное событие стало кульминацией почти 13-летней работы над законопроектами и прошло более 20 лет с момента проведения государством политики открытых дверей, которая сместила коммунистическую экономическую модель страны в сторону рыночной системы. Принятие этого закона было особенно трудным из-за сложности регулирования разросшейся отрасли, а также определения сферы применения.

Несмотря на то, что весь объем Закона о строительстве вызывает споры, особенно в отношении

специализированных гражданских проектов, общепризнано, что он регулирует деятельность, связанную со строительством любого типа жилого дома, что означает «сооружения, имеющие крышу, балочные опоры, стены и подвал, формирующие внутреннее пространство для удовлетворения человеческих потребностей» [6]. Таким образом, Закон о строительстве представляет собой высший законодательный акт, регулирующий жилищное строительство.

Основная цель Закона о строительстве – поддерживать порядок и обеспечивать качество и безопасность жилищного строительства. Этот закон принят с целью ужесточения надзора и управления строительной деятельностью для поддержания порядка на строительном рынке, обеспечения качества и безопасности строительства и содействия устойчивому развитию строительной отрасли [7, статья 1].

С этой целью Закон о строительстве предписывает три основных механизма обеспечения соблюдения его предписаний. Во-первых, все специалисты, занимающиеся строительной деятельностью, должны обладать определенной квалификацией. Проектные и строительные предприятия должны заниматься соответствующей деятельностью только в пределах, разрешенных их квалификационным классом [7, статья 13]. Во-вторых, для большинства строительных проектов требуется разрешение государства до начала строительных работ [7, статья 7]. В-третьих, проекты, как правило, должны находиться под государственным надзором [7, статья 33].

Закон о строительстве также устанавливает общую схему регулирования для обеспечения качества и безопасности в жилищном строительстве, но детали приемлемых методов строительства оставлены на усмотрение государственных стандартов безопасности (статья 3).

В дополнение к этим стандартам официальные правительственные программные документы могут предписывать дополнительные подробности и требования к методам процесса строительства жилых помещений. Они выпускаются на разовой основе и часто являются ответом на

плохую работу или недовольство общественности. Например, в ответ на посредственный характер стандартов, выявленный в ходе общенационального аудита качества строительства в 2009 г., Министерство жилищного строительства выпустило постановление, предписывающее конкретные процедуры, которым должны следовать руководители проектов [8]. Фактический статус этих программных документов неоднозначен в основном потому, что они имеют общий характер и у них нет конкретной направленности.

### **Анализ статистических данных относительно несчастных случаев на объектах строительства**

Как было указано ранее, строительная отрасль негативно влияет на окружающую среду, а также на жизнь и здоровье человека. Так, с 2009 по 2015 г. количество несчастных случаев и случаев, повлекших смерть рабочих, ежегодно демонстрировало четкую тенденцию к снижению, что указывает на постепенное улучшение производственной безопасности. Но количество аварий в год с 2016 по 2018 г. значительно увеличилось. Причина такого явления заключается в корректировке способа представления данных о несчастных случаях. Дата утверждения прежних правил отчетности о происшествиях, связанных с производственной безопасностью, установленных в 2014 г., утратила силу в 2016 г. В то же время было выпущено и введено в действие более подробное положение о статистических отчетах об авариях, связанных с производственной безопасностью. Количество несмертельных, небольших несчастных случаев и случаев, повлекших за собой смерть, должны быть включены в отчет в соответствии с новыми правилами отчетности, что привело к значительному увеличению зарегистрированных несчастных случаев и смертей. Но основной причиной ежегодного увеличения количества несчастных случаев с 2016 г. является неэффективное управление безопасностью на объектах строительства. Стоит от-

метить, что данные относительно несчастных случаев взяты из отчетов Министерства жилья, городского и сельского строительства КНР [9], которые не полностью охватывают все несчастные случаи для выявления проблем в системе отчетности об авариях и ее реализации в Китае. Хотя о некоторых менее серьезных авариях можно не сообщать, данные по ним по-прежнему важны для исследования общих тенденций.

В этом случае необходимо рассмотреть стандарты классификации аварий в Китае. Классификации определяются по следующим трем аспектам: число погибших, число серьезно раненых и прямые экономические потери [10, 11]. Как показано в таблице, аварии классифицируются по четырем уровням: особо серьезные аварии, крупные аварии, крупные аварии и общие аварии [9]. Так, в 2018 г. произошло 734 несчастных случая на производстве и 840 смертей в строительных проектах, в том числе особо крупная авария и 21 крупная авария, в общей сложности 87 погибших. Количество крупных аварий уменьшилось на два, но общее количество аварий увеличилось на 42 по сравнению с 2017 г. В 2018 г. в Китае не было особо серьезных аварий. В целом за последние 10 лет ситуация с производственной безопасностью на строительных объектах была в целом стабильна в Китае, тогда как за последние 3 года произошло увеличение количества несчастных случаев и смертей.

Согласно отчетам Министерства жилья, городского и сельского строительства КНР, несчастные случаи, связанные с производственной безопасностью и строительной инженерией,

можно разделить на следующие типы: 1) аварии; 2) падения с высоты; 3) нанесение вреда здоровью строительными объектами; 4) аварии с механическими травмами; 5) аварии, связанные с краном; 6) другие типы аварий [1]. Последние включают повреждение транспортного средства, поражения электрическим током, отравление, пожары и взрывы на строительной площадке. Так, количество несчастных случаев при падении является самым большим, составляя 52,18%, тогда как несчастные случаи с падениями и механическими травмами достигли 15,2 и 5,86% соответственно. Проценты несчастных случаев, связанных с управлением краном, и несчастных случаев с обрушением были аналогичными (оба около 7,4%), тогда как количество несчастных случаев других типов составило 11,85%. Падение с высоты было наиболее частым видом несчастных случаев в строительной отрасли, на него пришлось более половины от общего числа, произошедших в 2018 г.

Далее необходимо рассмотреть количество и определить долю крупных несчастных случаев в 2018 г. Так, в 2018 г. 21 крупный несчастный случай включал 9 случаев, вызванных обрушениями, 4 – со случаями, связанными с краном, 2 – с падением с высоты, 1 – с механической травмой, 5 случаев других видов аварий, т. е. 1 случай поражения электрическим током, 1 при оползне и 3 случая отравления или удушья. Несмотря на то, что было зафиксировано 112 случаев причинения вреда здоровью строительными объектами, в 2018 г. крупных несчастных случаев такого типа не произошло

Стандарт классификации несчастных случаев

| Тип несчастного случая | Количество несчастных случаев, повлекших за собой смерть (С) | Количество несчастных случаев, повлекших причинение серьезного вреда здоровью (СВЗ) | Прямой экономический ущерб (ПЭУ), млн |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Особо серьезный        | $30 \leq C$  | $100 \leq СВЗ$  | $100 \leq ПЭУ$                        |
| Крупный                | $10 \leq C < 30$   | $50 \leq СВЗ < 100$   | $50 \leq ПЭУ < 100$                   |
| Средний                | $3 \leq C < 10$  | $10 \leq СВЗ < 50$  | $10 \leq ПЭУ < 50$                    |
| Легкий                 | $C < 3$  | $СВЗ < 3$   | $ПЭУ < 10$                            |

[12]. По количеству аварии в результате обрушения занимали четвертое место среди всех несчастных случаев, однако были первыми в категории крупных, означая, что последствия обрушения часто бывают более серьезными.

### **Проблемы в строительной области Китая и пути их решения**

Министерство строительства берет на себя общую ответственность за надзор за строительной отраслью в Китае. Оно играет ведущую роль в реализации новых стратегий и политик, включая подготовку программ развития, регулирование строительных рынков и организаций, а также мониторинг безопасности процесса строительства жилых домов.

В соответствии с нормами соответствующего законодательства о безопасности строительства, таких как Закон о строительстве, «Стандарты инспекций по безопасности строительства» и «Стандарты инспекций по охране труда на строительных предприятиях», Министерство строительства ежегодно нанимает около 50 аудиторов по безопасности для проведения проверки общенациональной безопасности на объектах строительства [12]. Объем аудитов включает систему управления безопасностью строительных компаний и меры по охране труда в различных провинциях или крупных городах.

Защита труда от заболеваний и несчастных случаев в строительной отрасли Китая определяется данным законом; например, для строительных площадок, на которых работают 50 человек и более, основные подрядчики должны назначить штатного инспектора по безопасности; на площадках площадью более 10 000 м<sup>2</sup> должно быть 2–3 инспектора безопасности; везде, где площадь участка превышает 50 000 м<sup>2</sup>, главный подрядчик должен создать группу управления безопасностью [7].

С 1989 г. Китай начал применять «Схему строительного надзора». Одна из обязанностей инженера-куратора проекта – следить за безопасностью строительства. С момента вы-

пуска «Положения о надзоре за строительными проектами» в 1996 г. схема строительного надзора широко применяется по всей стране. Согласно схеме, роль надзорщиков заключается в усилении строительного надзора путем введения проверок и контроля на различных этапах строительства от имени клиентов. Согласно статье 32 действующего Закона о строительстве, в обязанности надзорных органов входят обеспечение проведения строительных работ в соответствии со строительными нормами, надзор за выполнением работ, контроль за безопасностью строительства, подготовка планов надзора и уведомление правительства в случае нарушения соответствующих законодательных норм.

На управление безопасностью в строительной отрасли влияют различные факторы. Их можно сгруппировать по ролям работников, организации строительства, управлению процессом строительства, технологиям, применяемым в строительстве, производственным отношениям и т. д. Из-за различий в культуре, управлении и структуре рынка эти факторы по-разному влияют на безопасность строительства.

Именно поэтому в рамках настоящего исследования были выделены 5 факторов, которые влияют на условия безопасности в процессе строительства жилого дома.

*Человеческий фактор* включает в себя следующие элементы:

- 1) безопасное отношение рабочих к процессу строительства;
- 2) безопасное поведение рабочих;
- 3) обучение рабочих технике безопасности;
- 4) опыт и навыки рабочих;
- 5) уровень образования рабочих;
- 6) опыт и навыки подрядчиков и надзорщиков в области безопасности;
- 7) меры безопасности со стороны подрядчиков и руководителей;
- 8) обучение технике безопасности и знания подрядчиков и руководителей;
- 9) эффективное общение и сотрудничество рабочих;

10) количество рабочих на строительных площадках;

11) мобильность рабочих на строительных площадках.

Основываясь на теории факторного анализа, приведенные выше элементы предполагают, что участие человека в управлении процессом оказывает наибольшее влияние на безопасность на строительных площадках в Китае и, таким образом, является ключевой целью для улучшения.

*Фактор строительного оборудования* включает в себя такие элементы:

- 1) средства индивидуальной защиты;
- 2) правильный монтаж и демонтаж оборудования;
- 3) способы обслуживания всего оборудования;
- 4) разумный выбор строительного оборудования.

Согласно статистическим данным обзора несчастных случаев, опубликованным Национальным статистическим бюро, механические травмы – один из пяти основных типов несчастных случаев, которые могут нанести значительный ущерб как строительной компании, так и рабочим, а в крайних случаях даже привести к их гибели [9]. Следовательно, механическое оборудование необходимо правильно выбирать и применять в соответствии со стандартными рабочими процедурами. В целях обеспечения безопасности башенные краны и другое оборудование должны регулярно и строго проверяться, а рабочие должны получать и использовать необходимые средства индивидуальной защиты.

*Фактор окружающей среды* включает в себя следующие элементы:

- 1) сложность геологии и гидрологии территории, на которой строится объект;
- 2) частота неблагоприятной погоды;
- 3) график и ценовое давление;
- 4) сложность окружающей среды.

Эти элементы отражают влияние факторов окружающей среды на управление безопасностью. Строительные проекты часто имеют дело

с неблагоприятной природной средой, и по мере его реализации участники могут создавать искусственную среду, в которой возникают дальнейшие проблемы.

*Фактор управления процессом строительства* включает в себя такие элементы:

- 1) проведение учета условий здоровья рабочих и безопасности на строительной площадке;
- 2) проведение мероприятий относительно правил охраны труда;
- 3) обязательства по управлению безопасностью;
- 4) правила техники безопасности и выполнение плана;
- 5) меры безопасности и наказания за их нарушение;
- 6) проверка условий безопасности на строительной площадке;
- 7) распределение ответственности за безопасность.

Все это относится к факторам управления. Успешный проект требует хорошего планирования, организации и координации, поэтому нельзя упускать из виду влияние руководства на рабочих и, следовательно, на безопасность проекта.

*Технический фактор* включает в себя следующие элементы:

- 1) выявление и анализ рисков безопасности;
- 2) первая помощь и готовность к чрезвычайным ситуациям;
- 3) тип сложности и техника строительства.

Вышеуказанные элементы можно рассматривать как технические. Технический персонал отвечает за выбор наиболее подходящей техники и обучение рабочих. Неправильный выбор техники может подорвать безопасность на протяжении выполнения всего строительного проекта.

Строительная площадка – это сложная система, в которой рабочие – единственное звено, самостоятельно адаптирующиеся к условиям выполнения проекта. Чтобы задействовать пять упомянутых выше рычагов воздействия

и решить проблемы в управлении безопасностью, необходимо сформировать новую организационную структуру, которая может преобразовать управление безопасностью. Ядром структуры являются усиление руководства и надзора со стороны руководителей над рабочими, а также взаимное руководство и надзор за рабочими на строительных площадках, что значительно улучшает производительность всего персонала.

На строительных площадках проблемы безопасности могут возникнуть в любой момент и в любом месте, поэтому постоянный внешний надзор и руководство имеют решающее значение для улучшения безопасного поведения и отношения к безопасности рабочих. Другими словами, лидеры должны всегда быть готовы решать проблемы быстро и эффективно. Они обязаны обладать необходимыми техническими навыками, управленческими способностями и сильным чувством ответственности. Следует указать, что небольшое количество людей на высших руководящих должностях делает невозможным постоянное обслуживание инженерных и эксплуатационных групп [13]. Отсутствие необходимого количества людей приводит к частым несчастным случаям. Чтобы обеспечить управление безопасностью, руководители должны постоянно находиться на своем посту, чтобы ни один работник не приступил к исполнению своих обязанностей без одобрения руководителя.

Также следует указать, что возраст, образование и опыт работы сотрудников сильно различаются. Так, работники с большим опытом и навыками и с более высоким уровнем образования демонстрируют более высокие знания в области безопасности, что согласуется со статистическими результатами [9]. Таким образом, обучение технике безопасности, полученное рабочими, их опыт и навыки, а также уровень образования являются ключевыми моментами в управлении безопасностью. Взаимное руководство и наблюдение разных рабочих также имеют решающее значение для повышения безопасности строительства. Безопасность – это не задача

одного человека, поэтому все работники должны быть под присмотром своих коллег в различных ситуациях. Таким образом, предлагается, чтобы каждый день перед работой сотрудники подтверждали, кто их партнеры по безопасности в течение дня, и знали, за кем они должны следить.

Как уже упоминалось, хорошая команда руководителей играет решающую роль для обеспечения безопасности на строительной площадке. Руководители должны назначаться на основе технических навыков в соответствии с приоритетом:

1) персонал проектного отдела, занимающийся управлением безопасностью, является руководителем всех рабочих;

2) в отсутствие персонала проектного отдела, зарегистрированный или назначенный руководитель административной группы или руководитель группы для конкретного рабочего берет на себя все вопросы безопасности;

3) при отсутствии руководителя группы менеджер проекта должен автоматически становиться руководителем в области безопасности;

4) когда присутствуют только рабочие, прораб должен быть руководителем в области безопасности.

Благодаря этому рабочая область всегда находится под присмотром руководителя по безопасности, что помогает исключить несчастные случаи и минимизировать риски.

## Заключение

Таким образом, можно прийти к следующим выводам. Строительная промышленность сыграла большую роль в экономическом успехе Китая. Однако скорость роста сектора опережает его нормативную базу. В результате возникают фундаментальные правовые вопросы, которые вызывают озабоченность по поводу безопасности на строительных площадках.

Хотя правительство оперативно приняло новые законы для решения возникших проблем,

необходимо изменить его подход к регулированию. Вместо публикации томов, предписывающих правила безопасности, следует предпринять согласованные усилия по унификации стандартов. Ключевое законодательство нужно обновить, чтобы отразить меняющуюся строительную отрасль, и уделять больше внимания независимому надзору за проектами.

Несчастные случаи, связанные с несоблюдением безопасности на объектах строительства, приводят к большим человеческим и имущественным потерям, что выявляет проблемы в управлении строительством, препятствующие устойчивому развитию общества. За последние 10 лет количество несчастных случаев со смертельным исходом неуклонно снижалось с 2009 по 2015 г., однако за последние четыре года ситуация с производственной безопасностью ухудшилась. Кроме того, не учитывались крупные аварии, повлекшие за собой массовые жертвы.

Были выявлены пять факторов, влияющих на условия безопасности на строительной площадке: человеческий, строительного оборудования, окружающей среды, управление процессом строительства и технический. Их необходимо учитывать каждому руководителю, так как несчастные случаи могут возникнуть в любой момент.

Была предложена новая организационная структура рабочего персонала для преобразования управления безопасностью на строительной площадке. Ее основой являются усиление руководства и надзора со стороны руководителей над рабочими, а также взаимное руководство и надзор за рабочими на строительных площадках, что значительно улучшает производительность труда всего персонала.

### Библиографический список

1. Статистический анализ развития строительной отрасли в 2018 г. – Китайская ассоциация строительной индустрии. – URL : <http://www.zgjzy.org/menu20/newsDetail/2019.html> (дата обращения : 12.12.2020 г.).

2. Статистическое коммюнике национального экономического и социального развития Китайской Народной Республики. – Пекин : Национальное бюро статистики Китайской Народной Республики. – URL : [http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/28/content\\_5484361.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/28/content_5484361.htm) (дата обращения : 28.02.2020 г.).

3. Zuo J. Building Surveying in China – Lessons learned from Australia / J. Zuo // Australian Institute of Building Surveyors Conference. – 2019. – N 3. – P. 351–366.

4. Dongping F. Construction safety legislation framework in China / F. Dongping // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer. – 2019. – N 156. – P. 169–173.

5. Zhang W. Research on laws and regulations of sustainable construction in China / W. Zhang // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2020. – N 78. – P. 796–800.

6. Chen Z. G. A comparison between the Construction Law of China and the Building Control Act of Singapore / Z. G. Chen // Construction Law Journal. – 2017. – N 18 (4). – P. 275–290.

7. Закон о строительстве Китайской Народной Республики. – Пекин : Всекитайское собрание народных представителей. – Приказ № 91. – 1 ноября 1997 г.

8. Постановление о требованиях для принятия проектов жилищного строительства. – Пекин : Министерство жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Республики. – Приказ № 291. – 22 декабря 2009 г.

9. Отчет о ситуации производственной безопасности в жилищно-коммунальном хозяйстве (2009–2019). – Пекин : Министерство жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Республики, 2019. – URL : <http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/index.html> (дата обращения : 13.12.2020 г.).

10. Отчет об аварии на производстве и правила расследования и лечения. – Пекин : Главное управление Государственного совета Китайской Народной Республики, 2019. – URL : [http://www.gov.cn/flfg/2007-04/19/content\\_589264.htm](http://www.gov.cn/flfg/2007-04/19/content_589264.htm) (дата обращения : 13.12.2020 г.).

11. Стандарты безопасности для предотвращения и контроля строительных аварий. – Пекин : Министерство жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Респуб-

лики, 2019. – URL : [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201808/t20180821\\_237293.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201808/t20180821_237293.html) (дата обращения : 13.12.2020 г.).

12. Xiaoyong L. An investigation of safety management in construction workplace in China / L. Xiaoyong // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2018. – N 144. – P. 321–329.

13. Fang D. Benchmarking studies on construction safety management in China / D. Fang // *Journal of*

*Construction Engineering and Management*. – 2018. – N 21. – P. 132–155.

Дата поступления: 12.12.2020

Решение о публикации: 15.12.2020

**Контактная информация:**

ТАН Чжуншэн – аспирант;  
[xy809685543thcy@gmail.com](mailto:xy809685543thcy@gmail.com)

## Safety concerns in China's construction industry

### Tang Zhongsheng

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Zhongsheng Tang. Safety concerns in China's construction industry. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 1, pp. 143–152.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-1-143-152

### Summary

**Objective:** To study the main problems of labor process safety in the construction industry drawing on the example of the construction of residential buildings. To identify the main factors affecting the construction safety conditions. To propose a new organizational structure for workforce to improve safety management at the construction site. **Methods:** Analysis, synthesis, statistical method, comparison method, and legal analysis method were applied. **Results:** It has been established that the growth rate of China's construction sector surpasses its regulatory framework, which needs to be changed as soon as possible. The state needs to make a concerted effort to unify labor safety standards at construction sites. Five factors were identified that affect the safety conditions during the construction of a residential building: human, construction equipment, environment, construction management and technical. As a result of the study, a new organizational structure for the working personnel has been proposed, based on strengthening supervision both by the management and among the workers in order to change safety conditions management at the construction site. A detailed analysis of the incidents that occurred in 2018 made it possible to identify the most frequent accidents related to construction safety, as well as their types. Construction failures are mainly attributed to management rather than technical aspects. **Practical importance:** The results obtained can become the basis for further research on occupational safety in China's construction industry, training and lecture materials. The proposed organizational structure of the working personnel will enable construction companies to carry out construction projects most efficiently while observing all labor protection standards. It is necessary to update the legal framework in the field of working conditions safety.

**Keywords:** China, legislation, labor protection, construction, accident.

### References

1. *Statisticheskij analiz razvitiya stroitel'noy otrasli v 2018 g. Kitayskaya assotsiatsiya stroitel'noy industrii* [Sta-

*tistical Analysis of Construction Industry Development in 2018 in China. Construction Industry Association*]. Available at: <http://www.zgjzy.org/menu20/newsDetail/2019.html> (accessed: December 12, 2020). (In Russian)

2. *Statisticheskoye kommyunike natsional'nogo ekonomicheskogo i sotsial'nogo razvitiya Kitayskoy Narodnoy Respubliki* [Statistical Communiqué of the National Economic and Social Development of the People's Republic of China]. Available at: [http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/28/content\\_5484361.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/28/content_5484361.htm) (accessed: February 28, 2020). (In Russian)
3. Zuo J. Building Surveying in China – Lessons learned from Australia. *Australian Institute of Building Surveyors Conference*, 2019, no. 3, pp. 351–366.
4. Dongping F. Construction safety legislation framework in China. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer*, 2019, no. 156, pp. 169–173.
5. Zhang W. Research on laws and regulations of sustainable construction in China. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2020, no. 78, pp. 796–800.
6. Chen Z. G. A comparison between the Construction Law of China and the Building Control Act of Singapore. *Construction Law Journal*, 2017, no. 18, pp. 275–290. (In Russian)
7. *Zakon o stroitel'stve Kitayskoy Narodnoy Respubliki*. Pekin, Vsekitayskoye sobraniye narodnykh predstaviteley. Prikaz no. 91. 1 noyabrya 1997 g. [People's Republic of China Construction Law]. Beijing, National People's Congress Publ., Order N 91, November 1. (In Russian)
8. *Postanovleniye o trebovaniyakh dlya prinyatiya proyektov zhilishchnogo stroitel'stva* [Decree on the requirements for the adoption of housing projects]. Beijing, Ministry of Housing and Urban and Rural Development of the People's Republic of China Publ., Order N 291, December 22, 2009. (In Russian)
9. *Otchet o situatsii proizvodstvennoy bezopasnosti v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve (2009–2019)* [Report on the situation of industrial safety in housing and communal services (2009–2019)]. Beijing, Ministry of Housing and Urban and Rural Development of the People's Republic of China Publ., 2019. Available at: <http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/index.html> (accessed: December 13, 2020). (In Russian)
10. *Otchet ob avarii na proizvodstve i pravila rassledovaniya i lecheniya*. Pekin, Glavnoye upravleniye Gosudarstvennogo soveta Kitayskoy Narodnoy Respubliki [Accident report and rules for investigation and treatment]. Beijing, General Directorate of the State Council of the People's Republic of China Publ., 2019. Available at: [http://www.gov.cn/flfg/2007-04/19/content\\_589264.htm](http://www.gov.cn/flfg/2007-04/19/content_589264.htm) (accessed: December 13, 2020). (In Russian)
11. *Standarty bezopasnosti dlya predotvrashcheniya i kontrolya stroitel'nykh avariyy*. Pekin, Ministerstvo zhilishchnogo stroitel'stva i gorodskogo i sel'skogo razvitiya Kitayskoy Narodnoy Respubliki [Safety standards for the prevention and control of construction accidents]. Beijing, Ministry of Housing and Urban and Rural Development of the People's Republic of China Publ., 2019. Available at: [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201808/t20180821\\_237293.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201808/t20180821_237293.html) (accessed: December 13, 2020). (In Russian)
12. Xiaoyong L. An investigation of safety management in construction workplace in China. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018, no. 144, pp. 321–329.
13. Fang D. Benchmarking studies on construction safety management in China. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2018, no. 21, pp. 132–155.

Received: December 12, 2020

Accepted: December 15, 2020

**Author's information:**

Tang ZHONGSHENG – Postgraduate Student;  
xy809685543thcy@gmail.com