

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ, том 18, выпуск 3, 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
№ ЭОА21990 от 01.03.2021 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,
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

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, РУТ (МИИТ),
Москва, Россия

Белаш Татьяна Александровна, д-р техн. наук, профессор,
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, профессор,
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 Тамила 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, член-корр. РАН, 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 25.09.2021.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать МФУ.
Усл. печ. л. 16,75. 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 3, 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 ЭОА21990 dated March 01, 2021

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., 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

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, Russian University of Transport, Moscow, Russia

Tatiana Belash, D. Eng. Sci., Professor, 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., 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, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, 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. Б. Гайипов, Е. А. Наркизова, Т. М. Белгородцева**
Разработка уточненной методики расчета баланса колесных пар и оценка потребности в колесах и осях для вагонного парка Республики Узбекистан 319
- В. Н. Смирнов, А. В. Ланг, Н. А. Лабутин**
Влияние неровностей пути на вертикальные ускорения вагонов при высокоскоростном движении поездов по мостам 335
- Т. М. Шманёв, В. И. Ульяницкая, М. С. Пухова, П. С. Панов, А. Ю. Ситников**
Условия соответствия требованиям обеспечения доступности транспортных объектов ОАО «РЖД» через промежуточные решения и принятие компенсирующих мер обслуживания для маломобильных групп населения, в том числе инвалидов 340

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

- Ю. П. Бороненко, О. Д. Покровская, Т. С. Титова, Д. В. Шевченко**
Результаты маркетингового исследования опций «умной» скоростной платформы 353
- В. П. Быков, В. В. Быков, Г. И. Тихомиров**
Междисциплинарность и концептуализация в учебном процессе на кафедре «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I 377
- Г. М. Groшев, А. Г. Котенко, Н. В. Климова, Н. Б. Федорова**
Исследование характера процесса доставки партии контейнеров с тылового терминала в порт 385
- Д. Ю. Дроголов, П. В. Соколов, А. С. Кушнирук**
Оптимизация норм межремонтных пробегов тяговых электродвигателей локомотивов на основе результатов исследования распределения отказов на полигоне Дальневосточной железной дороги 393

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

- П. В. Герасименко**
Алгоритмы модифицированных индексов Хирша для формирования рейтингов преподавателей вуза по числу публикаций и их цитированиям 402

В. Н. Кавказский, Я. В. Мельник, А. П. Лейкин, А. В. Бенин, В. В. Бондаренко	
Оценка технического состояния подземных сооружений крупнейшей гидроэлектростанции Северного Кавказа Чиркейской ГЭС	410
О. А. Продоус, Л. Д. Терехов, П. П. Якубчик, А. С. Черных	
Техническое регулирование значений гидравлических параметров неновых металлических труб для продления периода их использования	421
В. И. Смирнов, Т. А. Кнопва, С. С. Майер	
Некоторые проблемы оценки динамической трещиностойкости конструкционных сталей	428
В. В. Соляник	
Совершенствование методики планирования работы сортировочной системы	436

CONTENTS
→ PROBLEMATIC OF TRANSPORT SYSTEM
A. B. Gayipov, E. A. Narkizova, T. M. Belgorodtseva

Development of a refined methodology for calculating the balance of wheelsets and assessment of the need for wheels and axles for the wagon fleet of the Republic of Uzbekistan 319

V. N. Smirnov, A. V. Lang, N. A. Labutin

Influence of track irregularities on the vertical acceleration of cars during high-speed traffic 335

T. M. Shmanev, V. I. Ulyanitskaya, M. S. Pukhova, P. S. Panov, A. Yu. Sitnikov

Conditions for compliance with the requirements for ensuring the accessibility of transport facilities of Russian Railways through interim solutions and the adoption of compensatory measures to serve people with limited mobility, including people with disabilities 340

→ HIGH TECHNOLOGIES FOR TRANSPORT
Yu. P. Boronenko, O. D. Pokrovskaya, T. S. Titova, D. V. Shevchenko

The results of marketing research on the options of a «smart» high-speed platform 353

V. P. Bykov, V. V. Bykov, G. I. Tikhomirov

Interdisciplinarity and conceptualization in the educational process at the Department of «Hoisting-and-transport, track and construction machines» of Petersburg State Transport University 377

G. M. Groshev, A. G. Kotenko, N. V. Klimova, N. B. Fedorova

Investigation of the nature of the process of delivering a batch of containers from the rear terminal to the port 385

D. Yu. Drogolov, P. V. Sokolov, A. S. Kushniruk

Optimization of the norms of overhaul runs for traction electric motors of locomotives based on the results of the distribution of failures at the range of the Far Eastern Railway 393

→ GENERAL TECHNICAL PROBLEMS AND SOLUTION APPROACH
P. V. Gerasimenko

Algorithms of modified Hirsch index for the formation of ratings of university teachers in terms of publications and their quotes 402

V. N. Kavkazsky, Ya. V. Mel'nik, A. P. Leikin, A. V. Benin, V. V. Bondarenko	
Assessment of the technical condition of underground structures of the largest hydroelectric power station in the North Caucasus, the Chirkeysaya HPP	410
O. A. Prodous, L. D. Terekhov, P. P. Yakubchik, A. S. Chernykh	
Technical regulation for the values of hydraulic parameters of used metal pipes in order to extend the period of their use	421
V. I. Smirnov, T. A. Knopova, S. S. Maier	
Some problems of assessing the dynamic crack resistance of structural steels	428
V. V. Solyanik	
Improvement of the planning method of the sortation system	436



УДК 629.488.2

Разработка уточненной методики расчета баланса колесных пар и оценка потребности в колесах и осях для вагонного парка Республики Узбекистан

А. Б. Гайипов, Е. А. Наркизова, Т. М. Белгородцева

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

Для цитирования: Гайипов А. Б., Наркизова Е. А., Белгородцева Т. М. Разработка уточненной методики расчета баланса колесных пар и оценка потребности в колесах и осях для вагонного парка Республики Узбекистан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 319–334. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-319-334

Аннотация

Цель: Разработать уточненную методику расчета баланса колесных пар для парка грузовых вагонов, применить ее для определения потребности в колесах и вагонных осях для парка грузовых вагонов в Республике Узбекистан. **Методы:** Используются методы комбинаторного и статистического анализов исходных данных. **Результаты:** Предложены методы расчета потребности в колесах и вагонных осях, позволяющие определить количество потребных колесных дисков и чистовых осей для грузовых вагонов в зависимости от прогноза объемов грузооборота в год. **Практическая значимость:** Представленная методика расчета потребности в колесных парах может применяться для общего анализа и оценки состояния производственной базы по недостаткам или избытку колесных дисков и чистовых осей.

Ключевые слова: Колесные пары, износ, тонкий гребень, поверхность катания, профиль, обточка.

Введение

Увеличение ресурса колесных пар подвижного состава и рельсов является стратегически важной задачей железнодорожного транспорта. Большой вклад в ее решение внесли А. А. Воробьев [1], Д. П. Кононов [2], С. В. Калетин [3], В. Е. Гозбенко [4], В. И. Федорова [5], Д. А. Потахов [6] и др. В этих работах представлены основные положения и факторы, влияющие на

ресурс колеса, рассмотрены показатели надежности подвижного состава и методы их расчета, а также указаны основные направления по увеличению ресурса колес.

В последние годы на железных дорогах колеи 1520 мм возникает то дефицит цельнокатанных колес, то их избыток. Нестабильность спроса затрагивает всех участников процесса изготовления, эксплуатации и ремонта грузового подвижного состава. В настоящее время

стоимость колесных пар остается высокой. Изменяющийся спрос на колесные пары и спекулятивный рост цен на них указывают на необходимость совершенствования долгосрочного планирования технической модернизации рынка железнодорожного подвижного состава. К основным задачам для определения правильного вектора решения проблемы дефицита и профицита относится определение баланса колесных дисков и осей.

Методика расчета потребности в колесах для парка грузовых вагонов

Для расчета баланса колес необходимо выбрать единицу измерения колес, так как колеса могут иметь разные диаметр и толщину обода. В дальнейшем за единицу измерения принимается новое колесо с диаметром 957 мм и толщиной обода 75 мм (с такой толщиной, по данным производителей, выпускается большинство колес) [7].

Другой важной характеристикой, необходимой для расчета баланса, служит ресурс колеса. Содержание данного термина не закреплено для колес в нормативных документах. В дальнейшем под ресурсом колеса будем понимать суммарный пробег колеса в километрах в порожнем и груженом состояниях до исключения.

Основным критерием изъятия колес из эксплуатации служит толщина обода. Оценку потребности в колесах предлагается вести по толщине ободов колес. Для грузовых вагонов минимальная толщина обода составляет 22 мм. Ее уменьшение ниже этой величины ведет к исключению колеса из эксплуатации [8]. Толщина ободов колес предлагается рассматривать отдельно для инновационных вагонов с осевой нагрузкой 25 тс и обычных вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс. Таким образом, расход колес на выполнение годового грузооборота составит

$$N_i = N_{ii} + N_{oi},$$

где N_{ii} – расход колес в год для вагонов с осевой нагрузкой 25 тс; N_{oi} – расход колес в год

для вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс; i – расчетный год.

Расход толщины обода колеса происходит при обточках, вызванных появлением:

– тонкого гребня (код неисправности 102) толщиной менее 24 мм – примерно 55% случаев отцепки в ТР-2;

– выщербин (код неисправности 107) глубиной более 10 мм или длиной более 50 мм – около 25% случаев отцепки в ТР-2;

– ползунов на поверхности катания (код неисправности 106) более 1 мм – приблизительно 9% случаев отцепки в ТР-2;

– неравномерный прокат по кругу катания (код неисправности 117) – около 7% случаев отцепки в ТР-2.

На остальные неисправности приходится менее 5% случаев, и в дальнейших расчетах они не учитывались [9].

Для перехода от расхода толщины ободов за год эксплуатации к расходу колес в год предлагается использовать соотношение

$$N_i = \frac{R_i}{T_{\text{пол}}},$$

в котором R_i – расход (уменьшение) толщины ободов колес за год; $T_{\text{пол}}$ – полезная толщина:

$$T_{\text{пол}} = T_{\text{изг}} - T_{\text{мин}},$$

где $T_{\text{изг}}$ – средняя толщина обода, при изготовлении равна 75 мм; $T_{\text{мин}}$ – минимально допустимая толщина обода в эксплуатации – 22 мм.

Дополнительно необходимы колеса на изготовление новых вагонов инновационного и обычного типов:

$$N_{\text{нов } i} = N_{\text{нов } ii} + N_{\text{нов } oi},$$

здесь $N_{\text{нов } ii} = 8 \cdot N_{\text{ваг } ii}$ – потребное количество колес для вагонов с осевой нагрузкой 25 тс в год i ; $N_{\text{нов } oi} = 8 \cdot N_{\text{ваг } oi}$ – потребное количество колес для вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс в год i .

Таким образом, суммарная годовая потребность в колесах будет равна расходу колес на

выполнение годового грузооборота N_i и необходимого количества колес для нового вагоностроения $N_{\text{нов } i}$:

$$N_{\Sigma i} = N_i + N_{\text{нов } i},$$

или по типам колес:

$$N_{\Sigma 25i} = N_{\text{ии}} + N_{\text{нов ии}},$$

$$N_{\Sigma 23,5i} = N_{\text{ои}} + N_{\text{нов ои}},$$

где N_i – планируемый объем производства грузовых вагонов в год i .

Расход и поступление колесных пар от исключаемых вагонов отдельно в расчет не включаются, так как колесные пары при этом продолжают эксплуатироваться и расход их ресурса учитывается по расходу толщины гребня вагонов эксплуатационного парка.

В дальнейшем производилось определение расхода толщины ободов колес по основным четырем видам неисправностей.

Методика расчета расхода толщины обода и колес по износу гребня

Расход толщины обод R при обточках колесных пар через расход толщины гребня R_{Γ} представляется зависимостью

$$R = R_{\Gamma} \cdot k_{\text{об}},$$

в которой $k_{\text{об}} = 1,2-2,3$ – коэффициент обточки, зависящий от толщины гребня после обточки колесных пар и минимально допустимой толщины гребня.

Расход толщины гребня для обычных и инновационных вагонов составляет

$$R_{\text{гинн}} = 8 \cdot L_{\text{и}} \cdot k_{\text{ги}}, \quad R_{\text{гоб}} = 8 \cdot L_{\text{о}} \cdot k_{\text{го}},$$

здесь 8 – количество колес в вагоне; $L_{\text{и}}, L_{\text{о}}$ – соответственно пробег инновационных и обычных вагонов в груженом и порожнем состояниях, км за год; $k_{\text{ги}}, k_{\text{го}}$ – соответственно темп износа гребней инновационных и обычных вагонов.

Пробег вагонов в груженом состоянии определяется из грузооборота ΣPL , статнагрузки парка инновационных вагонов $P_{\text{и}}$, обычных вагонов $P_{\text{о}}$ и численности общего парка вагонов N , количества инновационных $N_{\text{и}}$ и обычных $N_{\text{о}}$ вагонов:

$$L_{\text{иг}} = \frac{\Sigma P \cdot l \cdot N_{\text{и}}}{PN}, \quad L_{\text{ог}} = \frac{\Sigma P \cdot l \cdot N_{\text{о}}}{PN}.$$

Полный пробег вагонов равен

$$L_{\text{и}} = L_{\text{иг}}(1 + k_{\text{п}}), \quad L_{\text{о}} = L_{\text{ог}}(1 + k_{\text{п}}),$$

здесь $k_{\text{п}}$ – коэффициент порожнего пробега.

Необходимое количество колес для выполнения заданного грузооборота для инновационных вагонов $N_{\text{и}}$ и обычных вагонов $N_{\text{о}}$ рассматривается через среднюю полезную толщину ободов новых колес $T_{\text{ср}}$, принятых в качестве единицы измерения по формуле

$$N_{\text{и}} = \frac{R_{\text{и}}}{T_{\text{пол}}}, \quad N_{\text{о}} = \frac{R_{\text{о}}}{T_{\text{пол}}}.$$

Предложенный алгоритм связывает расход ободов колес с выполняемым или планируемым грузооборотом. Основные проблемы связаны с получением достоверных данных по расходу толщины обода при обточках по тонкому гребню (коэффициент $k_{\text{об}}$) и темпу износа гребней (коэффициенты $k_{\text{го}}$ и $k_{\text{ги}}$).

Определение величины снимаемого металла и ресурса колес при обточках по тонкому гребню

Для нахождения коэффициента обточки $k_{\text{об}}$, учитывающего уменьшение толщины обода при обточках по тонкому гребню, были рассмотрены наиболее распространенные варианты обточек.

Обточки обозначались следующим образом: первая цифра показывает начальную толщину гребня 33 мм; вторая обозначает толщину гребня, при которой производится обточка; третья –

толщину гребня после обточек. Например, обточка 33-25-30 обозначает, что колесо имеет первоначальный гребень 33 мм, далее обточки проводятся при достижении толщины гребня 25 мм и восстанавливаются на ремонтный профиль с толщиной гребня 30 мм [7].

Полученные данные количества обточек колеса в зависимости от типа обточки представлены на рис. 1–4, на которых синим цветом обозначен профиль нового колеса, красным – профиль изношенного колеса, зеленым – ремонтный профиль.

В случае варианта обточки, показанном на рис. 1, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 13,8 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2. В случае варианта обточки, указанном на рис. 1, б, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 11,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3.

В случае варианта обточки (рис. 2, а) величина снимаемого металла при одной обточке со-

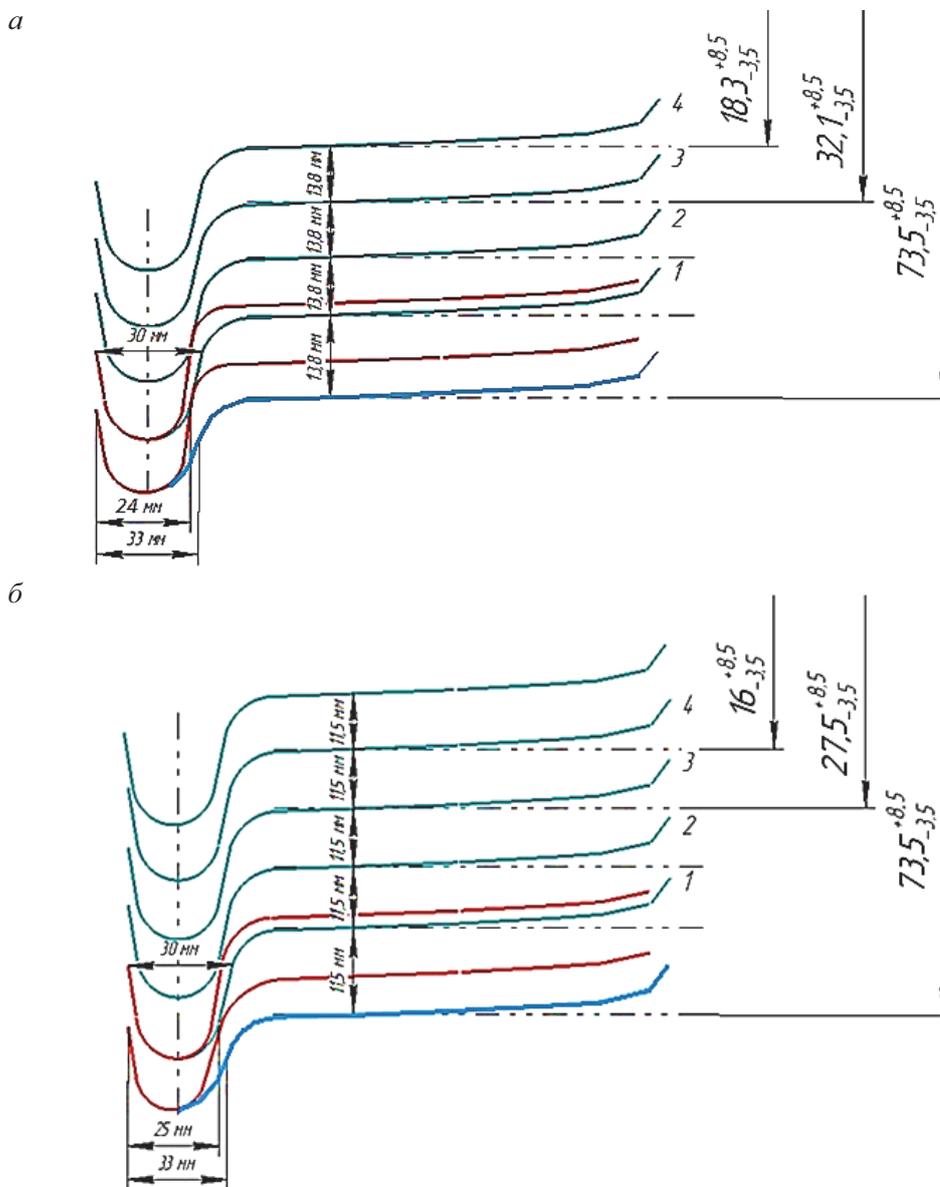


Рис. 1. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-24-30 (а) и 33-25-30 (б)

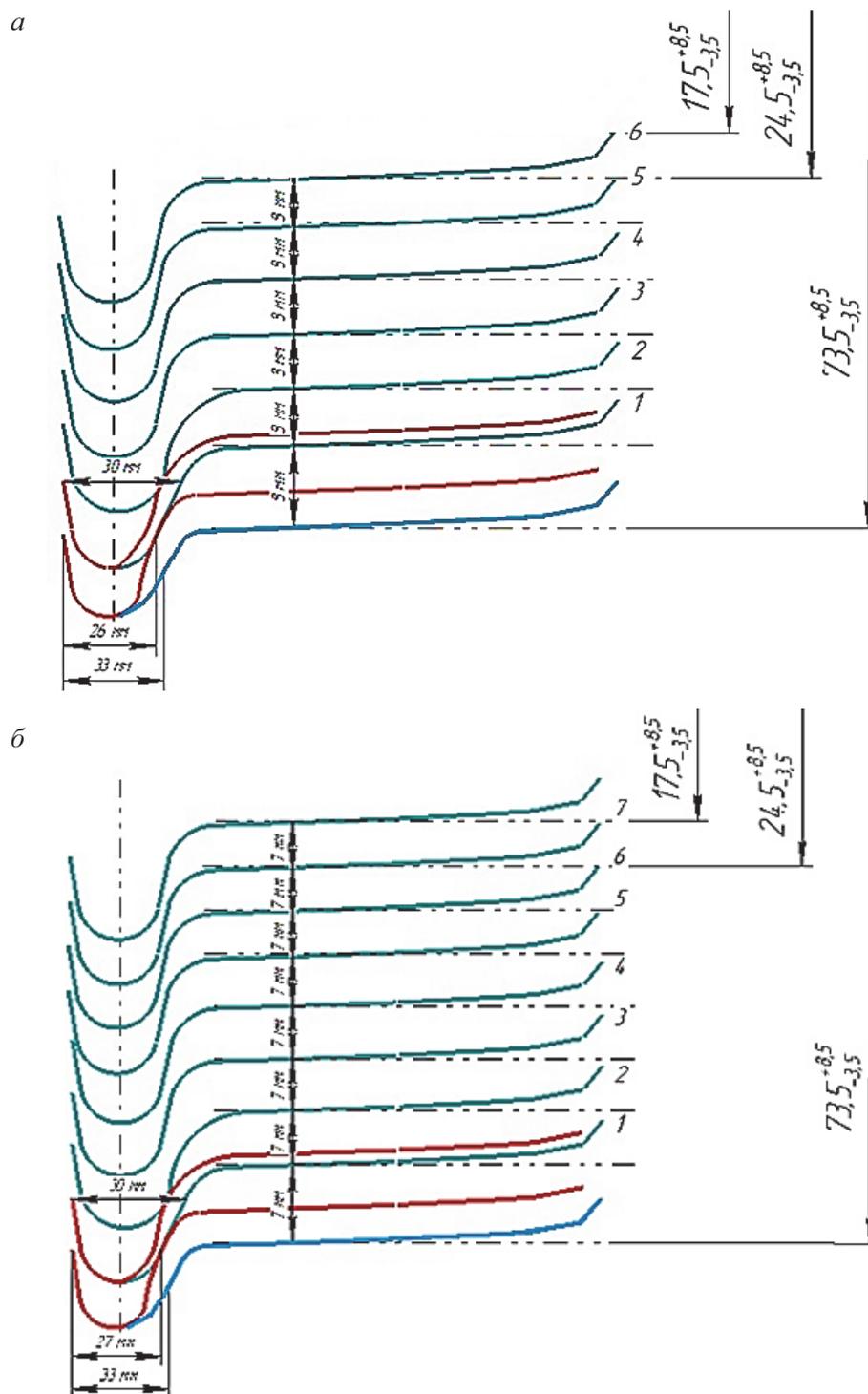


Рис. 2. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-26-30 (а) и 33-27-30 (б)

ставляет 9 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 6 обточек, при толщине обода менее 75 мм – 5. В случае варианта обточки, указанном на рис. 2, б, величина

снимаемого металла при одной обточке 7 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 7 обточек, при толщине обода менее 75 мм – 6.

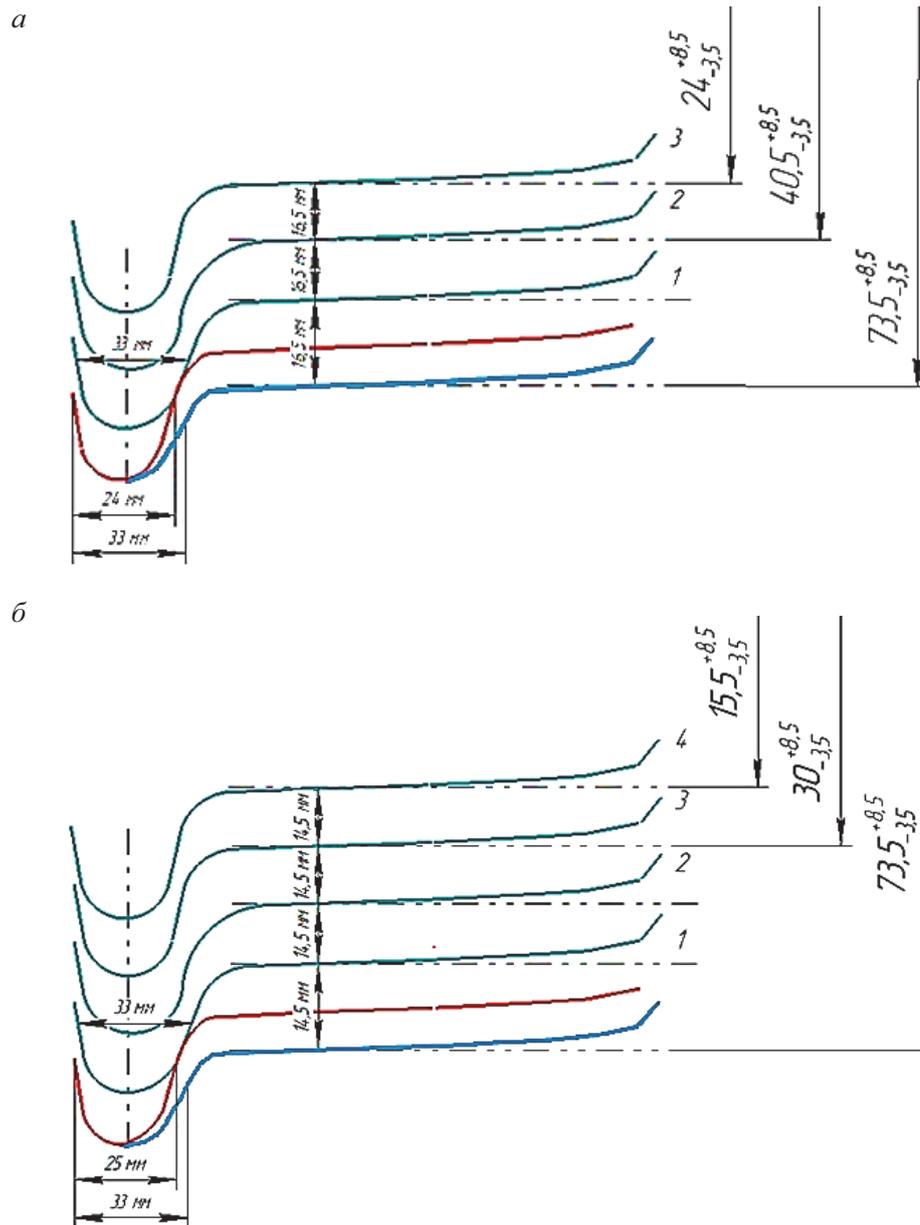


Рис. 3. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-24-33 (а) и 33-25-33 (б)

В случае варианта обточке, показанном на рис. 3, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 16,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2. В случае варианта обточке, указанном на рис. 3, б, величина снимаемого металла при одной обточке 14,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2.

В случае варианта обточке, показанном на рис. 4, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 12 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3. В случае варианта обточке (см. рис. 4, б), величина снимаемого металла при одной обточке 10,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3.

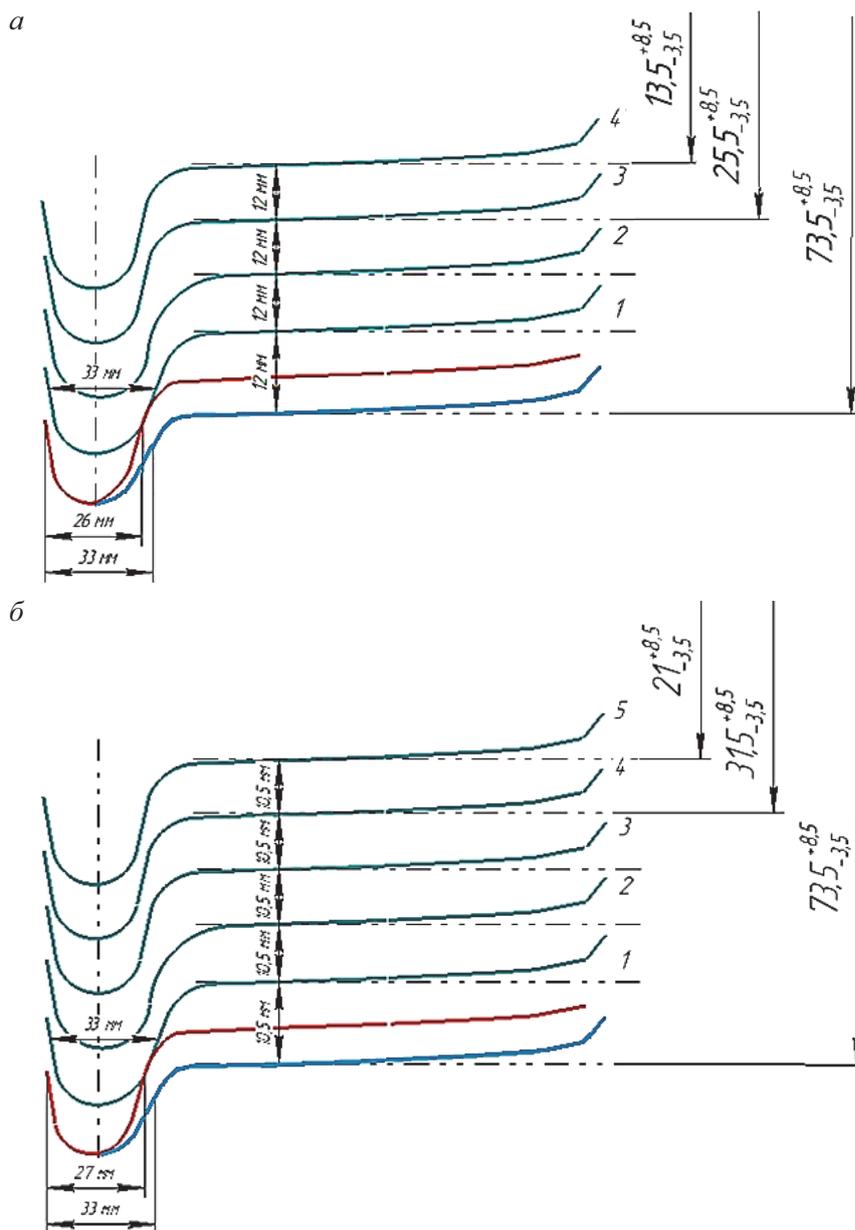


Рис. 4. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-26-33 (а) и 33-27-33 (б)

Отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой и последующих обточках рассчитывалось следующим образом:

$$k_1 = \frac{\Delta t_{кр.к}}{\Delta t_1}, \quad k = \frac{\Delta t_{кр.к}}{\Delta t},$$

где k_1 – отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой обточке колеса; Δt_1 – изменение толщины гребня при исходном про-

филе нового колеса; $\Delta t_{кр.к}$ – изменение толщины обода по кругу катания; k – отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой обточке колеса; Δt – изменение толщины гребня при ремонтном профиле колеса.

Средний коэффициент при номинальной толщине гребня рассчитывался по формуле

$$k_{об} = \frac{\Delta t_{кр.к} \cdot n}{(n-1) \cdot \Delta t + \Delta t_1},$$

в которой n – количество обточек колеса при номинальной толщине обода 75 мм.

Для определения ресурса колес расчеты проводились следующим образом, и каждая цифра имеет обозначение: например, $3 \times 5 \times 19$ – первая цифра обозначает количество обточек; вторая – износ гребня в соответствующем диапазоне; третья – пробег вагонов при каждом 1 мм износа гребня на 19 тыс. км в соответствующем диапазоне. Расчет произведен с учетом темпа износа гребня (табл. 1).

В табл. 2 приведены данные по определению ресурса колеса и коэффициента обточки от варианта обточки по тонкому гребню.

С учетом новой допускаемой минимальной толщины гребня рекомендуется система обточек 33-24-30 (коэффициент обточки 1,97) или 33-24-33 (коэффициент обточки 1,5) [7].

Определение темпов износа гребней колес

Темпы износа колес зависят от материала колеса, конструкции тележки и условий эксплуатации. По разным сведениям они существенно отличаются. Учитывая необходимость интегральной оценки потребности в колесах, было

ТАБЛИЦА 1. Темп износа гребня

Вариант	Диапазон по износу гребня, мм	Пробег вагонов на каждый 1 мм износа гребня, км
1	33–30	3300
2	30–25	19 000
3	25–24	25 000

ТАБЛИЦА 2. Определение ресурса колеса и коэффициента обточки от варианта обточки колес по тонкому гребню

Вариант обточки	Количество обточек	Расчет ресурса колеса	Ресурс колеса, тыс. км	Пробег между обточками, тыс. км		Отношение снятого металла при обточке к износу гребня		Средний коэффициент при номинальной толщине обода
				Первая обточка	Последующие обточки	Первая обточка	Последующие обточки	
33-24-30	3	$1 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19 + 4 \times 1 \times 25$	490	130	120	1,53	2,30	1,97
33-25-30	4	$1 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 5 \times 19$	485	95	95	1,44	2,30	2,00
33-26-30	6	$1 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 7 \times 19$	542	86	76	1,29	2,25	1,96
33-27-30	7	$1 \times 3 \times 3,3 + 8 \times 3 \times 19$	466	57	57	1,17	2,33	2,04
33-24-33	3	$4 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19 + 4 \times 1 \times 25$	520	130	130	1,83		1,5
33-25-33	3	$4 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19$	440	105	105	1,61		1,61
33-26-33	4	$5 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 4 \times 19$	430	86	86	1,33		1,33
33-27-33	4	$5 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 3 \times 19$	335	67	67	1,17		1,17

предложено темп износа рассчитать по сведениям, полученным в результате контроля колес приборами КТИ (Комплекс для измерения геометрических параметров колесных пар). Основную трудность вызывает расчет темпа износа обычных вагонов [10]. Для инновационных вагонов получены данные по пробегу вагонов с указанием числа отцепок по видам неисправностей. Поэтому, считая известным средний темп износа гребней по парку и темп износа гребней инновационных вагонов, можно определить темп износа обычных вагонов:

$$k_{го} = k_{го} \frac{N_o}{N} - k_{ги} \frac{N_i}{N}.$$

Средний пробег вагонов до отцепки по тонкому гребню инновационных вагонов выпуска 2016 г. по данным проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства для вагонов на тележках 18-9855 составляет 253 тыс. км, на тележках 18-1941 – 197 тыс. км, на тележках 18-100 – 70 тыс. км. Учитывая количество вагонов на тележках 18-194-1 и 18-9855, получаем среднее значение пробега до отцепки инновационных вагонов [7]:

$$L_{ср.и} = \frac{L_{отц} \cdot N_{9855} + L_{отц} \cdot N_{194}}{N_{9855} + N_{194}}.$$

Средний темп износа инновационных вагонов составляет

$$k_{ги} = \frac{8}{L_{ср.и}}.$$

При дальнейших расчетах необходимо уточнить данные по численности парков и темпах износа.

Методика расчета расхода толщины обода и колес по выщербинам

Появление выщербин является многофакторным процессом, зависящим от выполняемой перевозочной работы, развития ползунов, полученных при маневровых работах и роспуске

вагонов с горок, а также от неисправной работы тормозов вагонов. Различают выщербины по светлым пятнам, ползунам и наварам по усталостным трещинам, по термическим трещинам. При обточках по тонкому гребню выщербины, не достигшие глубины 10 мм, обтачиваются, и развитие начинается заново. Поэтому первоначально предлагается определить среднюю частоту отцепок вагонов $\omega_{и}$ и $\omega_{о}$ на километр пробега на начало расчетного периода:

$$\omega_{ви} = \frac{n_{ви}}{L_{ио}}, \quad \omega_{во} = \frac{n_{во}}{L_{оо}},$$

где $L_{ио}$ и $L_{оо}$ – соответственно пробег инновационных и обычных вагонов в текущем году; $n_{ви}$ и $n_{во}$ – количество отцепок в текущем году инновационных и обычных вагонов.

Уменьшение толщины ободов колес в расчетном году составит

$$R_{ви} = \omega_{ви} \cdot 2 \cdot L_{и} \delta_{в} (1 \pm \alpha_{ви}),$$

$$R_{во} = \omega_{во} \cdot 2 \cdot L_{о} \delta_{в} (1 \pm \alpha_{во}),$$

здесь $L_{и}$ и $L_{о}$ – прогнозный пробег инновационных и обычных вагонов в расчетном году; $\alpha_{ви}$ и $\alpha_{во}$ – коэффициент тренда, учитывающий рост или уменьшение частоты отцепок по выщербинам по годам; 2 – коэффициент, учитывающий, что обточке подвергаются два колеса одной колесной пары; $\delta_{в} = 11$ мм – снимаемая величина металла при обточке выщербины.

Расход колес на обточке по выщербинам определяются по формулам

$$N_{ви} = \frac{R_{ви}}{T_{пол}}, \quad N_{во} = \frac{R_{во}}{T_{пол}}.$$

Методика расчета расхода толщины обода и колес по ползунам и неравномерному прокату

Образование ползунов носит случайный характер и связано с маневровой работой, роспуском вагонов с горок, неисправной работой тормозов. Появление неравномерного проката так-

же носит случайный характер и в основном вызван закатыванием ползунунов и выщербин [11]. Поэтому расход колес по ползунам и неравномерному прокату определяем по тому же алгоритму, что и расход колес по выщербинам.

Рассчитаем расход колес по частоте отцепок по ползунам на 1 км пробега на начало расчетного периода следующим образом:

$$\omega_{\text{пи}} = \frac{n_{\text{пи}}}{L_{\text{ио}}}, \quad \omega_{\text{по}} = \frac{n_{\text{по}}}{L_{\text{оо}}},$$

где $n_{\text{пи}}$ и $n_{\text{по}}$ – соответственно количество отцепок в текущем году инновационных и обычных вагонов.

Уменьшение толщины ободов колес в расчетном году составит

$$R_{\text{пи}} = \omega_{\text{пи}} \cdot 2 \cdot L_{\text{и}} \delta_{\text{п}} (1 \pm \alpha_{\text{пи}}),$$

$$R_{\text{по}} = \omega_{\text{по}} \cdot 2 \cdot L_{\text{о}} \delta_{\text{п}} (1 \pm \alpha_{\text{по}}),$$

где $L_{\text{и}}$ и $L_{\text{о}}$ – прогнозный пробег вагонов в расчетном году; $\alpha_{\text{пи}}$ и $\alpha_{\text{по}}$ – коэффициент тренда, учитывающий рост или уменьшение частоты отцепок по ползунам по годам; 2 – коэффициент, учитывающий, что обточке подвергаются два колеса одной колесной пары; $\delta_{\text{п}} = 3$ мм – снимаемая величина металла при обточке ползуна.

Расход колес на обточки по ползунам определяется по формулам

$$N_{\text{пи}} = \frac{R_{\text{пи}}}{T_{\text{пол}}}, \quad N_{\text{по}} = \frac{R_{\text{по}}}{T_{\text{пол}}}.$$

Методика расчета потребности в осях колесных пар

Назначенный срок службы и пробег осей колесных пар действующими нормативными документами не регламентируются. Изготовители, согласно ГОСТ 10791–2011 [12], должны гарантировать качество материала осей на весь срок службы, но не несут ответственности за дефекты эксплуатационного происхождения.

В эксплуатации наблюдаются следующие повреждения осей колесных пар:

- ослабление ступицы на оси (код неисправности 113);
- трещина на оси колесной пары (код неисправности 130);
- протертое место оси колесной пары (код неисправности 132);
- след контакта с электродом на оси (код неисправности 133);
- холодный излом шейки оси (код неисправности 134);
- повреждения оси колесной пары (код неисправности 148).

Эти эксплуатационные повреждения достаточно редки, и начиная с 2015 г. их число постоянно уменьшается. Повреждения осей колесных пар при ремонте со сменой элементов также редки и в отчетных данных фактически отсутствуют.

Основная причина браковки осей при ремонте связана с нарушением геометрии шеек осей при смене внутренних колец подшипников с диаметром посадки 4-й группы.

Под вагонами с осевой нагрузкой 23,5 тс применяются оси РУ1-Ш, но в эксплуатации еще находятся колесные пары с осями РУ1 (примерно 40%), которые должны исключаться при поступлении в капитальный ремонт [13].

Под вагонами с осевой нагрузкой 25 тс применяются оси РВ2-Ш. Поэтому потребное количество осей на выполнение годового грузооборота можно представить в виде суммы годовых расходов осей РВ2-Ш ($M_{\text{иi}}$) и годовых расходов РУ1-Ш (M_{oi}) на эксплуатацию ($M_{\text{иэi}}$, $M_{\text{оэi}}$), ремонт ($M_{\text{ирi}}$ и $M_{\text{орi}}$) и замену осей РУ1 ($M_{\text{осi}}$):

$$M_{\text{иi}} = M_{\text{иэi}} + M_{\text{ирi}},$$

$$M_{\text{oi}} = M_{\text{оэi}} + M_{\text{орi}} + M_{\text{осi}}.$$

Считая повреждения колесных пар в эксплуатации случайными, предлагается определять среднюю частоту повреждений в эксплуатации по частоте отцепок. Расчет частоты повреждений осей колесных пар в эксплуатации приведен в табл. 3.

Расход осей на компенсацию повреждений в эксплуатации составит

ТАБЛИЦА 3. Расчет частоты повреждений осей в эксплуатации

№	Дефект	Код неиспр.	Количество отказов за год				
			2016	2017	2018	2019	2020
1	Ослабление ступицы на оси	113	9	7	5	2	1
2	Трещина на оси колесной пары	130	20	16	13	9	5
3	Протертое место оси колесной пары	132	8	7	5	2	2
4	След контакта с электродом	133	4	6	2	3	1
5	Холодный излом шейки оси	134					
6	Повреждение оси колесной пары	148	3	2	1	1	1
Суммарное число повреждений			44	38	26	17	10
Число вагонов			22 291	21 938	21 717	21 500	20 650
Частота отцепок, 10^{-3}			0,04	0,03	0,02	0,15	0,1

$$M_{иэi} = 0,02 \cdot N_{вагi} \cdot 10^{-3},$$

$$M_{оэi} = 0,3 \cdot N_{вагoi} \cdot 10^{-3}.$$

При ремонте со сменой элементов по данным ВКМ (вагонно-колесная мастерская) бракуется 0,13% осей. Поэтому дополнительный расход осей при ремонте со сменой элементов равен

$$M_{ирi} = 0,0013 \frac{1}{2} N_{иi},$$

$$M_{орi} = 0,0013 \frac{1}{2} N_{oi},$$

где $N_{иi}$ и N_{oi} – расход колес инновационных и обычных вагонов в году i ; $\frac{1}{2}$ – коэффициент, учитывающий, что при формировании колесной пары используются одна ось и два колеса.

Потребность в осях РУ1-Ш на замену осей РУ1 составит

$$M_{осi} = \frac{N_{вагi} \cdot 4 \cdot 0,4}{6}.$$

Здесь принято, что замена осей осуществляется в течение 2020–2025 гг. за 6 лет; 4 – число осей в вагоне; $N_{вагi}$ – число вагонов в парке (в 2020 г. – 20 650 ед.); 0,4 – коэффициент, учитывающий остаток в парке осей РУ1 (в 2020 г. – 40%).

Дополнительно необходимы оси на изготовление новых вагонов:

$$M_{новii} = 4 \cdot N_{новii},$$

$$M_{новoi} = 4 \cdot N_{новoi},$$

здесь $N_{новii}$ и $N_{новoi}$ – производство инновационных и обычных вагонов в году.

Определим суммарную потребность в осях в год:

$$M_{\Sigma иi} = M_{иi} + M_{новii},$$

$$M_{\Sigma oi} = M_{oi} + M_{новoi}$$

и общую потребность в осях в год:

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma иi} + M_{\Sigma oi}.$$

Расход и поступление осей от исключаемых вагонов принимаются во внимание при эксплуатации, и расход учитывается по частоте повреждений осей в эксплуатации и ремонте.

Расчет баланса колесных пар для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан

В 2020 г. на внеплановый ремонт было отцеплено 16 850 вагонов, или 82% от общего чис-



Рис. 5. Структура и причины отцепок вагонов на текущий ремонт в 2020 г. по неисправностям колесных пар

ла грузовых вагонов в Республике Узбекистан. Основные причины, по которым отцепляются вагоны на текущий ремонт, – это неисправности колесных пар, буксовых узлов и тормозного оборудования [14].

На основании представленных данных Управлением вагонного хозяйства АО «УТЙ» были выделены 4 основные неисправности колесных пар, составляющие суммарно более 96% (рис. 5), по которым и производился расчет ресурса, а именно: тонкий гребень толщиной менее 25 мм; выщербина глубиной более 10 мм или длиной более 50 мм; ползуны на поверхности катания более 1 мм; неравномерный прокат по кругу катания более 2 мм [15]:

Неисправности колесных пар	Количество отцепок
Тонкий гребень	4994
Выщербина	2270
Ползун	817
Неравномерный прокат	636
Прочие	363

В 2020 г. средний темп износа гребней на колее 1520 составлял $k_{го} = 5,3 \cdot 10^{-5}$ мм/км; величина статической нагрузки вагонов прини-

мается равной отношению отправленных грузов (тонн) к общему количеству вагонов. Численность вагонов в парке и коэффициент порожнего пробега ($k_n = 1,6$) принимается по данным Управления вагонного хозяйства АО «УТЙ» [13].

Для удобства использования и применения методика в конечном виде сведена в таблицу программы MS Excel, в которую введены формулы и исходные данные, которые в случае изменения корректируются. Расчет можно произвести за уже прошедшие годы для оценки реальности прогноза или на будущее для прогнозирования.

Результаты расчета баланса цельнокатаных колес и осей для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан представлены в табл. 4.

Заключение

Разработана уточненная методика расчета потребности в колесах для вагонного парка железнодорожной администрации, отличающаяся учетом выполняемого грузооборота и наличием в парке обычных и инновационных вагонов.

Проведенная верификация результатов расчета в программе Excel с данными о потребностях в осях и колесах в 2020 г. показала удовлетво-

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета баланса колес по разработанной методике для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан

Наименование	Годы	
	2020	2021
<i>Баланс цельнокатаных колес</i>		
Парк грузовых вагонов, ед.	20 650	20 300
Расход колес в эксплуатации и ремонте: – обычные вагоны, шт.	9860	10 264
Расходы на новое вагоностроение: – обычные вагоны, шт.	7200	8000
ВСЕГО расход колес, шт.	17 060	18 264
Закупки колес, шт.	10 000	10 000
Баланс колес, шт.	–7060	–8264
Колеса от исключенных вагонов, шт.	2640	2500
Баланс колес с учетом колес от исключенных вагонов, шт.	–4420	–5764
<i>Баланс вагонных осей</i>		
Расход осей в эксплуатации и ремонте, шт.	5526	5390
Расходы на новое вагоностроение, шт.	3600	4000
ВСЕГО расход осей, шт.	9126	9390
Закупки чистовых осей, шт.	4500	4500
Баланс чистовых осей, шт.	–5026	–4890
Оси исключенных вагонов, шт.	1320	1248
Баланс колес с учетом колес от исключенных вагонов, шт.	–3706	–3642

рительное совпадение с данными АО «УТЙ» и собственников подвижного состава.

Для снижения потребности в колесных парах рекомендуется проводить обточку колес при износе гребня до толщины 26 мм с восстановлением на ремонтный профиль с толщиной гребня 30 мм. Это обеспечит максимальный ресурс колеса 542 тыс. км и минимальную вероятность отцепки вагона в текущий отцепочный ремонт (ТОР).

Наиболее распространенный на сети железных дорог колеи 1520 мм вариант обточки колес при толщине гребня 24 мм обеспечивает ресурс колеса только 490 тыс. км (на 10% меньше) и существенно увеличивает вероятность отцепки вагона в ТОР.

Пополнение парка грузовых вагонов АО «УТЙ» новыми современными инновацион-

ными вагонами с увеличенной грузоподъемностью дает возможность постепенно сокращать потребность в колесах в связи с большим ресурсом новых колес.

Библиографический список

1. Воробьев А. А. Увеличение ресурса железнодорожного колеса технологическим методом / А. А. Воробьев, П. М. Терехов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 121–125.
2. Кононов Д. П. Увеличение долговечности вагонных колес методом локальной термообработки / Д. П. Кононов // НТТ – Наука и техника транспорта. – М.: МИИТ, 2014. – № 2. – С. 37–40.

3. Калетин С. В. Колесные пары. Реальность и прогнозы / С. В. Калетин // *Техника железных дорог*. – 2019. – № 1. – С. 14–15.
4. Гозбенко В. Е. Снижение износа гребней колесных пар грузовых вагонов / В. Е. Гозбенко, Т. Бонго // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2017. – № 3 (55). – С. 159–167.
5. Федорова В. И. Теоретический расчет ресурса поверхности катания колес на основе экспериментальных наблюдений за вагонами модели 12-9853 на тележках 18-9855 с осевой нагрузкой 25 тс / В. И. Федорова // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2017. – Вып. 4. – С. 664–672.
6. Потахов Д. А. Теплофизический анализ процесса восстановления профиля поверхности катания колесных пар / Д. А. Потахов // *Вестн. Науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта*. – 2013. – № 3. – С. 11–16.
7. Наркизова Е. А. О разработке методики расчета баланса колесных пар / Е. А. Наркизова, Ю. П. Бороненко // *Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : материалы XIV Междунар. науч.-технич. конференции, Санкт-Петербург, 9–13 июля 2019 г.* – СПб. : ПГУПС, 2019. – С. 17–23.
8. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм). – Ташкент : АО «УТЙ», 2017. – 241 с.
9. Бороненко Ю. П. Влияние надежности колесных пар инновационных вагонов в эксплуатации на потребность в новых колесах / Ю. П. Бороненко, А. Б. Гайипов, Т. М. Белгородцева // *Транспорт Российской Федерации*. – 2020. – № 1 (86). – С. 48–53.
10. Орлова А. М. Анализ существующей ситуации взаимодействия колес и рельсов / А. М. Орлова // *Постановка задач исследования : тез. докл. XI Междунар. науч.-технич. конференции «Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты»*. Санкт-Петербург, 6–10 июля 2016 г. – СПб. : ПГУПС, 2016. – С. 121–123.
11. Ромен Ю. С. Состояние ходовых частей подвижного состава и износы в системе «колесо-рельс» / Ю. С. Ромен, А. М. Орлова, В. С. Лесничий // *Вестн. ВНИИЖТ*. – 2010. – № 2. – С. 42–45.
12. ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2011. – 33 с.
13. Основные показатели социально-экономического развития Республики Узбекистан за 2015–2018 гг. *Транспорт и связь*. – Государственный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL : <https://stat.uz/uploads/doklad> (дата обращения : 20.01.2021).
14. Рахимов Р. В. Выбор направлений развития вагонного парка железных дорог Узбекистана / Р. В. Рахимов // *Транспорт Российской Федерации*. – 2018. – № 1 (74). – С. 71–74.
15. Концепция развития Управления вагонного хозяйства АО «УТЙ» на 2018–2022 гг. – Ташкент : АО «УТЙ», 2018. – 40 с.

Дата поступления: 23.07.2021

Решение о публикации: 25.07.2021

Контактная информация:

ГАЙИПОВ Азиз Бахромович – аспирант;
azizg89@yandex.ru

НАРКИЗОВА Екатерина Александровна – канд.
техн. наук, доц.; enarkizova@nvc-vagon.ru

БЕЛГОРОДЦЕВА Татьяна Михайловна – зав.
лаборатории; tm-belg@yandex.ru

Development of a refined methodology for calculating the balance of wheelsets and assessment of the need for wheels and axles for the wagon fleet of the Republic of Uzbekistan

A. B. Gayipov, E. A. Narkizova, T. M. Belgorodtseva

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

For citation: Gayipov A. B., Narkizova E. A., Belgorodtseva T. M. Development of a refined methodology for calculating the balance of wheelsets and assessment of the need for wheels and axles for the wagon fleet of the Republic of Uzbekistan. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 319–334. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-319-334

Summary

Objective: To develop a refined methodology for calculating the balance of wheelsets for a freight car fleet, apply it to determine the need for wheels and car axles for the freight car fleet in the Republic of Uzbekistan. **Methods:** Methods of combinatorial and statistical analyzes of the initial data were employed. **Results:** Methods for calculating the need for wheels and car axles are proposed, which makes it possible to determine the number of required wheel disks and finished axles for freight cars, depending on the forecast of the volume of freight turnover per year. **Practical importance:** The presented method for calculating the need for wheelsets can be used for a general analysis and assessment of the state of the production base in terms of shortcomings or excess of wheel disks and finished axles.

Keywords: Wheelsets, wear, thin flange, rolling surface, profile, turning.

References

1. Vorobiev A. A. & Terekhov P. M. Uvelicheniye resursa zheleznodorozhnogo koleasa tekhnologicheskim metodom [Increasing the resource of the railway wheel by the technological method]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East], 2010, no. 2, pp. 121–125. (In Russian)
2. Kononov D. P. Uvelicheniye dolgovechnosti vagonnykh koleas metodom lokal'noy termoobrabotki [Increasing durability of car wheels by the method of local heat treatment]. *NTT – Nauka i tekhnika transporta* [NTT – Science and Technology of Transport]. Moscow, MIIT [Russian University of Transport] Publ., 2014, no. 2, pp. 37–40. (In Russian)
3. Kaletin S. V. Kolesnyye pary. Real'nost' i prognozy [Wheelsets. Reality and expectations]. *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railway engineering], 2019, no. 1, pp. 14–15. (In Russian)
4. Gozbenko V. E. & Bongo T. Snizheniye iznosa grebney kolesnykh par gruzovykh vagonov [Reduction of wheel flange wear of freight car wheelsets]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2017, no. 3 (55), pp. 159–167. (In Russian)
5. Fedorova V. I. Teoreticheskiy raschet resursa poverkhnosti kataniya koleas na osnove eksperimental'nykh nablyudeniy za vagonami modeli 12-9853 na telezhkakh 18-9855 s osevoy nagruzkoy 25 ts [Theoretical calculation of the resource of the rolling surface of wheels on the basis of experimental observations of cars of model 12-9853 on bogies 18-9855 with an axle load of 25 tf]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2017, iss. 4, pp. 664–672. (In Russian)
6. Potakhov D. A. Teplofizicheskiy analiz protsesa vosstanovleniya profilya poverkhnosti kataniya koleasnykh par [Thermophysical analysis of the process of restoring the profile of the rolling surface of wheel pairs].

Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2013, no. 3, pp. 11–16. (In Russian)

7. Narkizova Ye. A. & Boronenko Yu. P. O razrabotke metodiki rascheta balansa kolesnykh par [On the development of methods for calculating the balance of wheel pairs]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty. Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 9–13 iyulya 2019 g. [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Materials of the 14th International scientific and technical conference, St. Petersburg, July 9–13, 2019]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2019, pp. 17–23. (In Russian)*

8. *Rukovodyashchiy dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par s buksovymi uzlamy gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznikh dorog kolei 1520 (1524mm) [Guidance document for the repair and maintenance of wheelsets with axleboxes for freight cars of 1520 gauge (1524mm) track main railways]. Tashkent, JSC "UTY" [Uzbekistan Railways] Publ., 2017, 241 p. (In Russian)*

9. Boronenko Yu. P., Gayipov A. B. & Belgorodtseva T. M. Vliyaniye nadezhnosti kolesnykh par innovatsionnykh vagonov v ekspluatatsii na potrebnost' v novykh kolesakh [Influence of reliability of wheel pairs of innovative cars in operation on the need for new wheels]. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2020, no. 1 (86), pp. 48–53. (In Russian)

10. Orlova A. M. Analiz sushchestvuyushchey situatsii vzaimodeystviya koles i rel'sov [Analysis of the existing situation of interaction of wheels and rails]. *Postanovka zadach issledovaniya. Tezisy dokladov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty". Sankt-Peterburg, 6–10 iyulya 2016 g. [Statement of research objectives. Abstracts of the XI International scientific and technical conference "Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects". St. Petersburg, July 6–10, 2016]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, pp. 121–123. (In Russian)*

11. Romen Yu. S., Orlova A. M. & Lesnichiy V. S. Sostoyaniye khodovykh chastey podvizhnogo sostava i iznosy v sisteme "koleso-rel's" [Condition of running gears of rolling stock and wear in the wheel-rail system]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport]*, 2010, no. 2, pp. 42–45. (In Russian)

12. *GOST 10791–2011. Kolesa tsel'nokatanye. Tekhnicheskkiye usloviya [GOST 10791–2011. Solid-rolled wheels. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 33 p. (In Russian)*

13. *Osnovnyye pokazateli sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Uzbekistan za 2015–2018 gg. Transport i svyaz'. Gosudarstvennyy komitet Respubliki Uzbekistan po statistike [Main indicators of socio-economic development of the Republic of Uzbekistan for 2015–2018. Transport and communication. State Committee of the Republic of Uzbekistan on Statistics]. Available at: <https://stat.uz/uploads/doklad> (accessed: January 20, 2021). (In Russian)*

14. Rakhimov R. V. Vybor napravleniy razvitiya vagonnogo parka zheleznikh dorog Uzbekistana [The choice of directions for the development of the wagon fleet of the railways of Uzbekistan]. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2018, no. 1 (74), pp. 71–74. (In Russian)

15. *Kontseptsiya razvitiya Upravleniya vagonnogo khozyaystva AO "UTY" na 2018–2022 gg. [The concept of development of the Department of carriage facilities of JSC "Uzbekistan Railways" for 2018–2022]. Tashkent, JSC "UTY" [Uzbekistan Railways] Publ., 2018, 40 p. (In Russian)*

Received: July 23, 2021

Accepted: July 25, 2021

Authors' information:

Aziz B. GAYIPOV – Postgraduate Student; azizg89@yandex.ru

Ekaterina A. NARKIZOVA – PhD in Engineering, Associate Professor; enarkizova@nvc-vagon.ru

Tatiana M. BELGORODTSEVA – Head of Laboratory; tm-belg@yandex.ru

УДК 624.21

Влияние неровностей пути на вертикальные ускорения вагонов при высокоскоростном движении поездов по мостам

В. Н. Смирнов, А. В. Ланг, Н. А. Лабутин

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

Для цитирования: Смирнов В. Н., Ланг А. В., Лабутин Н. А. Влияние неровностей пути на вертикальные ускорения вагонов при высокоскоростном движении поездов по мостам // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 335–339. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-335-339

Аннотация

Цель: Получение дифференциальных уравнений системы «мост–поезд», решение которых позволяет выявить оптимальные динамические параметры экипажей высокоскоростного подвижного состава и мостового сооружения при следовании подвижной нагрузки с высокой скоростью. **Методы:** Вывод дифференциальных уравнений системы «мост–поезд» аналитическим методом. **Результаты:** Получены формулы для определения ускорений подрессоренной части экипажей подвижного состава в зависимости от неровностей путей катания. **Практическая значимость:** По результатам расчетов по данным формулам обеспечивается обоснованное назначение величин строительного подъема и возможность оценки влияния случайных неровностей рельсового пути на мосту.

Ключевые слова: Мост, поезд, динамика, высокоскоростные магистрали, неровность, ускорение.

При следовании пассажирских поездов со скоростью 200 км/ч и более особое значение приобретают неровности пути проезда, связанные как с прогибами пролётных строений под временной нагрузкой, так и с местными неровностями пути. Для обеспечения комфортности проезда пассажиров важной является величина ускорений экипажа, принимаемая в настоящее время не более $0,7 \text{ м/с}^2$ [1–3]. Во избежание недопустимых ускорений экипажа, обуславливающих некомфортность проезда по мостовому сооружению, необходимо определить, как зависит ускорение от параметров пролётных строений, вагонов, местных неровностей рельсового пути [4, 5].

На рисунке приведена схема следования экипажа по мосту. Видно, что абсолютное переме-

щение кузова экипажа в точках 1 и 2 определяется следующими выражениями:

$$\begin{aligned} z_1 &= \Delta_1 + y_1^3 - \xi_1, \\ z_2 &= \Delta_2 + y_2^3 - \xi_2, \end{aligned} \quad (1)$$

в которых Δ_1, Δ_2 – деформации рессор 1-й и 2-й тележек экипажа соответственно, y_1^3, y_2^3 – прогибы пролётного строения под 1-й и 2-й тележками экипажа, ξ_1, ξ_2 – функции, описывающие местные неровности пути катания [6, 7].

Искомые ускорения экипажа находятся из выражения (1) следующим образом:

$$\ddot{z}_1 = \ddot{\Delta}_1 + \dot{y}_1^3 - \ddot{\xi}_1,$$

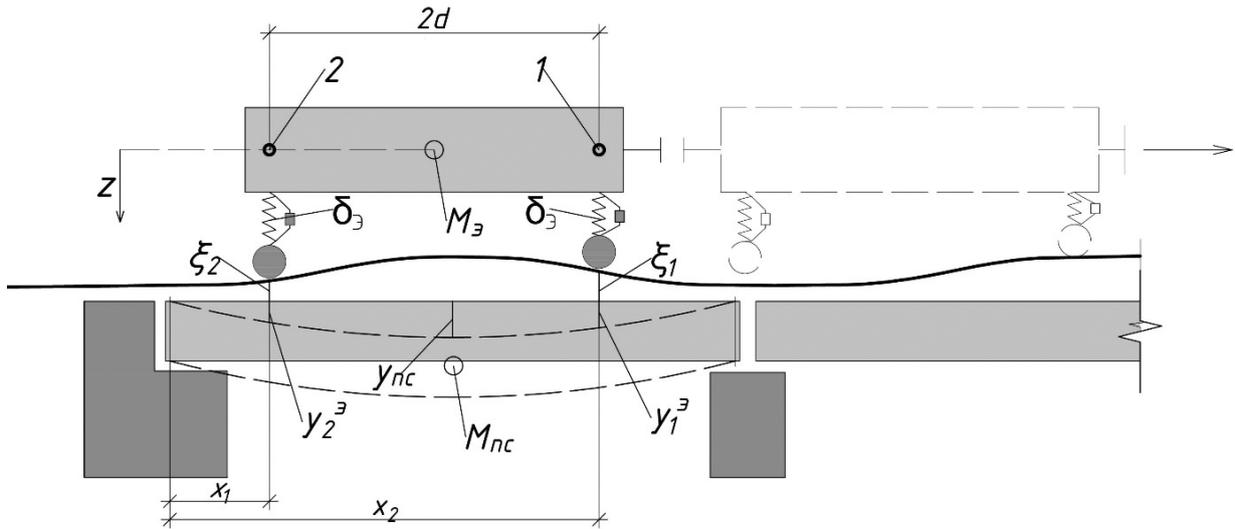


Схема следования экипажа по мосту

$$\ddot{z}_2 = \ddot{\Delta}_2 + \ddot{y}_2^э - \ddot{\xi}_2. \quad (2)$$

В формуле (2)

$$\Delta_1 = \delta_э [X_1 + \beta_э \Delta_1], \quad (3)$$

$$\Delta_2 = \delta_э [X_2 + \beta_э \Delta_2].$$

В уравнениях (3) X_1, X_2 – инерционные нагрузки в точках 1 и 2 экипажа, $\delta_э$ – податливость рессор, $\beta_э$ – коэффициент вязкого сопротивления колебаниям подрессоренной части экипажа;

$$X_1 = \frac{M}{4} (\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2) + \frac{J}{8d^2} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2), \quad (4)$$

$$X_2 = \frac{M}{4} (\ddot{z}_1 + \ddot{z}_2) - \frac{J}{8d^2} (\ddot{z}_1 - \ddot{z}_2).$$

В уравнениях (4) J – момент инерции подрессоренной части экипажа относительно горизонтальной главной оси, проходящей через центр тяжести экипажа, M – масса подрессоренной части экипажа, d – база экипажа.

Если принять, что пролётное строение изгибается под временной нагрузкой по полуволне синусоиды, то получим значения $y_1^э$ и $y_2^э$:

$$y_1^э = y_{nc} \sin \pi u_1, \quad (5)$$

$$y_2^э = y_{nc} \sin \pi u_2.$$

В уравнениях (5) y_{nc} – прогиб середины пролётного строения под временной нагрузкой

$$u_1 = \frac{x_1}{l}, \quad (6)$$

$$u_2 = \frac{x_2}{l}.$$

В уравнениях (6) x_1 и x_2 – координаты от устоя до точек 1 и 2 экипажа, l – длина пролета.

Для учета влияния фактора скорости движения представим, что

$$x_1 = vt_1, \quad (7)$$

$$x_2 = vt_2,$$

где t_1, t_2 – время следования экипажа в точках 1 и 2.

Подставляя в (5) значения (6) и (7) и учитывая, что в уравнения должны входить полные производные, находим

$$\begin{aligned} \dot{y}_1^э &= (y_{nc} \sin \pi u_1)^{\dot{y}} = \\ &= \dot{y}_{nc} \sin \frac{\pi v}{l} t + y_{nc} \cos \frac{\pi v}{l} t + \frac{\pi v}{l}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{y}_1^3 &= \ddot{y}_{\text{пс}} \sin \frac{\pi v}{l} t + \\ &+ \dot{y}_{\text{пс}} \cos \frac{\pi v}{l} \frac{\pi v}{l} - y_{\text{пс}} \sin \frac{\pi v}{l} t \frac{\pi^2 v^2}{l^2}, \\ \ddot{y}_1^3 &= \ddot{y}_{\text{пс}} \sin \pi u_1 + \\ &+ \dot{y}_{\text{пс}} \frac{2\pi v}{l} \cos \pi u_1 - y_{\text{пс}} \frac{\pi^2 v^2}{l^2} \sin \pi u_1, \\ \ddot{y}_2^3 &= \ddot{y}_{\text{пс}} \sin \pi u_2 + \\ &+ \dot{y}_{\text{пс}} \frac{2\pi v}{l} \cos \pi u_2 - y_{\text{пс}} \frac{\pi^2 v^2}{l^2} \sin \pi u_2. \end{aligned}$$

В конечном счете, по формулам (2), имея функции неровностей ξ_1 и ξ_2 , можно определить ускорения вертикальных колебаний экипажа в зависимости от неровностей пути катания рельсового пути на мосту [8–10].

При необходимости, изучив динамическое поведение пролётного строения как функцию местных неровностей, решим систему уравнений, записанную после некоторых преобразований:

$$\begin{aligned} &\ddot{y}_{\text{пс}} (f \sin \pi u_1 + e \sin \pi u_2) + \\ &+ \dot{y}_{\text{пс}} (f \cos \pi u_1 + e \cos \pi u_2) \frac{2\pi v}{l} - \\ &- y_{\text{пс}} (f \sin \pi u_1 + e \sin \pi u_2) \frac{\pi^2 v^2}{l^2} + \ddot{\Delta}_1 f + \ddot{\Delta}_2 e + \\ &+ \dot{\Delta}_1 2\varepsilon + \dot{\Delta}_2 2\varepsilon + \Delta_1 \theta^2 + \Delta_2 \theta^2 = \ddot{\xi}_1 f + \ddot{\xi}_2 e. \end{aligned}$$

В данном уравнении

$$\frac{1}{8} + \frac{1}{16} \frac{J}{Md^2} = e,$$

$$\frac{1}{8} - \frac{1}{16} \frac{J}{Md^2} = f,$$

$$\frac{\beta_3}{2M} = 2\varepsilon,$$

$$\frac{1}{2\delta_3 M} = \theta^2.$$

Заключение

Таким образом, получены дифференциальные уравнения движения системы «мост–поезд», решение которых позволяет выявить оптимальные динамические параметры экипажей высокоскоростного подвижного состава и мостового сооружения при следовании подвижной нагрузки с высокой скоростью.

Решение этих уравнений дает возможность найти ускорения подрессоренной части экипажей подвижного состава в зависимости от неровностей путей катания, что позволяет обоснованно назначать величины строительного подъема и оценивать влияние случайных неровностей рельсового пути на мосту.

Библиографический список

1. Dyachenko L. An assessment of the dynamic interaction of the rolling stock and the long-span bridges on high-speed railways / L. Dyachenko, A. Benin // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 107. – N 2017107000014. DOI: 10.1051/mateconf//
2. Смирнов В.Н. Мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях / В.Н. Смирнов, А.А. Барановский, Г.И. Богданов, Д.Е. Воробьев, Л.К. Дьяченко, В.В. Кондратов. – СПб.: ПГУПС, 2015. – 274 с.
3. Специальные технические условия «Сооружения искусственные участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Казань – Екатеринбург». Технические нормы и требования к проектированию и строительству». – СПб.: ПГУПС, 2014. – 76 с.
4. Дьяченко Л.К. Оценка уровня вибраций с точки зрения их воздействия на пассажиров поездов при движении по мостовым сооружениям на высокоскоростных железнодорожных магистралях / Л.К. Дьяченко, В.Н. Смирнов, Е.П. Дудкин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2017. – Т. 14. – Вып. 1. – С. 33–42.
5. Смирнов В.Н. Взаимодействие бесстыкового пути с мостовым сооружением на высокоскоростных магистралях / В.Н. Смирнов. – М.: Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. – 96 с.

6. Бенин А. В. Особенности проектирования и строительства мостов высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Казань» / А. В. Бенин, Л. К. Дьяченко, В. Н. Смирнов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2015. – Вып. 4 (45). – С. 15–20.

7. Смирнов В. Н. Факторы, влияющие на усилия в рельсах бесстыкового пути на мостах высокоскоростных железнодорожных магистралей / В. Н. Смирнов, В. А. Бешлиу // Промышленное и гражданское строительство. – 2001. – № 5. – С. 32–34.

8. Смирнов В. Н. Динамическое взаимодействие высокоскоростного подвижного состава и пролётных строений мостов / В. Н. Смирнов, Л. К. Дьяченко // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 16–21.

9. Смирнов В. Н. Технология сооружения железобетонных пролётных строений мостов на высоко-

скоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург / В. Н. Смирнов, Е. В. Непряхин // Дорожная держава. – СПб., 2021. – С. 78–83.

10. Смирнов В. Н. Исследования работы мостов с бесстыковым путем / В. Н. Смирнов // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 15–17.

Дата поступления: 23.04.2021

Решение о публикации: 11.05.2021

Контактная информация:

СМИРНОВ Владимир Николаевич – д-р техн. наук, проф.; svn193921@rambler.ru

ЛАНГ Андрей Владимирович – инженер; langandrew@yandex.ru

ЛАБУТИН Никита Андреевич – инженер; n_labutin@outlook.com

Influence of track irregularities on the vertical acceleration of cars during high-speed traffic

V. N. Smirnov, A. V. Lang, N. A. Labutin

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

For citation: Smirnov V.N., Lang A.V. Labutin N.A. Influence of track irregularities on the vertical acceleration of cars during high-speed traffic. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 335–339 (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-335-339

Summary

Objective: Obtaining differential equations of the “bridge-train” system, the solution of which allows one to identify the optimal dynamic parameters of the vehicle of high-speed rolling stock and bridge structures when rolling load moves at high speed. **Methods:** Derivation of differential equations of the “bridge-train” system by the analytical method. **Results:** Obtaining formulas for determining the acceleration of the spring borne part of rolling stock vehicles depending on track irregularities. **Practical importance:** Based on the results of calculations according to these formulas, a reasonable assignment of the values of camber and the possibility of assessing the effect of random irregularities of the rail track on the bridge are provided.

Keywords: Bridge, train, dynamics, high-speed railways, track irregularity, acceleration.

References

1. Dyachenko L. & Benin A. An assessment of the dynamic interaction of the rolling stock and the long-span bridges on high-speed railways. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 107, no. 2017107000014. DOI: 10.1051/mateconf//
2. Smirnov V.N., Baranovsky A.A., Bogdanov G.I., Vorobiev D.E., Dyachenko L.K. & Kondratov V.V. Mosty na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyakh [Bridges on high-speed railways]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2015, 274 p. (In Russian)
3. *Spetsial'nyye tekhnicheskiye usloviya "Sooruzheniya iskusstvennyye uchastka Moskva – Kazan' vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali „Moskva – Kazan' – Yekaterinburg“ . Tekhnicheskiye normy i trebovaniya k proyektirovaniyu i stroitel'stvu"* [Special technical conditions "Artificial structures of the Moscow – Kazan section of the high-speed railway "Moscow – Kazan – Yekaterinburg". Technical standards and requirements for design and construction]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2014, 76 p. (In Russian)
4. Dyachenko L.K., Smirnov V.N. & Dudkin E.P. Otsenka urovnya vibratsiy s tochki zreniya ikh vozdeystviya na passazhirov poyezdov pri dvizhenii po mostovym sooruzheniyam na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyakh [Assessment of the level of vibrations in terms of their impact on train passengers when moving along bridge structures on high-speed railways]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2017, vol. 14, iss. 1, pp. 33–42. (In Russian)
5. Smirnov V.N. *Vzaimodeystviye besstykovogo puti s mostovym sooruzheniyem na vysokoskorostnykh magistralyakh* [Interaction of a continuous welded track with a bridge structure on high-speed railways]. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport] Publ., 2015, 96 p. (In Russian)
6. Benin A.V., Dyachenko L.K. & Smirnov V.N. *Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva mostov vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoi magistrali Moskva – Kazan* [Features of the design and construction of bridges of the high-speed railway Moscow – Kazan]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2015, iss. 4 (45), pp. 15–20. (In Russian)
7. Smirnov V.N. & Beshliu V.A. Faktory, vliyayushchiye na usiliya v rel'sakh besstykovogo puti na mostakh vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyakh [Factors influencing the forces in the rails of the continuous welded track on the bridges of high-speed railways]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2001, no. 5, pp. 32–34. (In Russian)
8. Smirnov V.N. & Dyachenko L.K. Dinamicheskoye vzaimodeystviye vysokoskorostnogo podvizhnogo sostava i proletnykh stroyeniy mostov [Dynamic interaction of high-speed rolling stock and bridge spans]. *Put' i putevoye khozyaystvo* [Track and track facilities], 2018, no. 11, pp. 16–21. (In Russian)
9. Smirnov V.N. & Nepryakhin E.V. Tekhnologiya sooruzheniya zhelezobetonnykh proletnykh stroyeniy mostov na vysokoskorostnoy magistrali Moskva – Sankt-Peterburg [Technology of construction of reinforced concrete spans of bridges on the high-speed highway Moscow – Saint Petersburg]. *Dorozhnaya derzhava* [Road power]. Saint Petersburg, 2021, pp. 78–83. (In Russian)
10. Smirnov V.N. Issledovaniya raboty mostov besstokovim putem [Research on the work of bridges with continuous welded track]. *Put' i putevoye khozyaystvo* [Track and track facilities], 2018, no. 11, pp. 15–17. (In Russian)

Received: April 23, 2021

Accepted: May 11, 2021

Authors' information:

Vladimir N. SMIRNOV – D. Sci. in Engineering, Professor, Department of Bridges; svn193921@rambler.ru
Andrey V. LANG – Engineer; langandrew@yandex.ru
Nikita A. LABUTIN – Engineer; n_labutin@outlook.com

УДК 656.224.072.6

Условия соответствия требованиям обеспечения доступности транспортных объектов ОАО «РЖД» через промежуточные решения и принятие компенсирующих мер для обслуживания маломобильных групп населения, в том числе инвалидов

Т. М. Шманёв^{1,2}, В. И. Ульяницкая², М. С. Пухова^{1,2}, П. С. Панов²,
А. Ю. Ситников^{1,2}

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

² Октябрьская региональная служба развития пассажирских сообщений и предоставления доступа к инфраструктуре, Российская Федерация, 191036, Санкт-Петербург, Невский пр., 85, корп. Д

Для цитирования: Шманёв Т. М., Ульяницкая В. И., Пухова М. С., Панов П. С., Ситников А. Ю. Условия соответствия требованиям обеспечения доступности транспортных объектов ОАО «РЖД» через промежуточные решения и принятие компенсирующих мер для обслуживания маломобильных групп населения, в том числе инвалидов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 340–352.
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-340-352

Аннотация

Цель: Формирование эффективного механизма создания или поэтапного перераспределения ресурсов обеспечения универсальной безбарьерной среды среди не только инвалидов (всех категорий), но и представителей маломобильных групп населения (МГН) через промежуточные решения и принятие компенсирующих программ (мер) на основе нахождения оптимального соотношения затрат и выгод, в случаях отсутствия технических или материальных возможностей, связанных с совершенствованием развития или проектирования доступной среды. **Методы:** Применяются основные инструменты анализа и управления: диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма (Исикава), целеполагание, структурирование, динамические изменения и др. **Результаты:** Представлен вариант механизма реализации поэтапного создания универсальной безбарьерной среды не только среди инвалидов (всех категорий), но среди МГН. Установлено, что если существующие объекты инфраструктуры пассажирского комплекса до их реконструкции или капитального ремонта невозможно полностью приспособить под потребности инвалидов, то внедрение комплексной программы (дорожная карта), компенсирующих мероприятий, промежуточных решений позволяет минимизировать или исключить затраты компании. **Практическая значимость:** На примере полученного алгоритма (последовательности) организации процесса по обеспечению доступности среды пассажирского комплекса Октябрьской железной дороги показан принцип использования реализации поэтапного внедрения Конвенции о правах инвалидов на Российских железных дорогах, который является универсальным. Формализованные решения должны помочь улучшить качество обслуживания, сократить расходы и повысить клиентоориентированность на сети ОАО «РЖД».

Ключевые слова: Пассажир, маломобильные группы населения, пассажирский комплекс, клиентоориентированность, инвалид, объект.

Введение

На железнодорожном транспорте особое внимание уделено обслуживанию маломобильных групп населения (МГН), в том числе инвалидов. Специализированная помощь, логистика маршрута, индивидуальный подход к каждому конкретному человеку – основной принцип повышения клиентоориентированности и доступности среды компании. Целевая аудитория потребителей услуг компании ОАО «РЖД» очень широкая, так как компания оценивает систему комплексно, учитывая создание универсальной безбарьерной среды не только среди инвалидов (всех категорий), но среди МГН. Понятие МГН в данной работе рассмотрено гораздо шире – это могут быть пожилые люди, беременные, родители с маленькими детьми, маленькие дети, люди маленького или высокого роста, люди с повышенной массой тела, люди с детскими колясками или тележками для перевозки багажа/грузов, люди с временными травмами, люди, не знающие русский/местный язык, – каждая из этих групп может быть клиентом ОАО «РЖД». Доступность транспортных услуг для инвалидов и других представителей МГН регламентируется главным образом Сводом правил 2.5.1198–03 «Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте» [1].

Современные тенденции по созданию универсальной безбарьерной среды не только среди инвалидов (всех категорий), но среди МГН исследуются и применяются в работах многих специалистов [2–6]. Актуальность темы исследования обусловлена возрастанием значения создания универсальной безбарьерной среды для МГН и инвалидов на железнодорожном транспорте. Изучение вопросов, связанных с совершенствованием методики и социального проектирования доступной среды для МГН и инвалидов, соответствием требованиям через промежуточные решения, а также принятие компенсаци-

рующих мер (в ряде случаев, где вопросы создания полной доступности объектов железнодорожного транспорта) в текущем времени не представляются возможными.

Социальное культивирование отношений между категориями МГН и компанией ОАО «РЖД»

В 2019 г. пассажирооборот транспорта в России увеличился на 7,2 % по сравнению с 2018 г. (до 570,5 млрд пасс-км), а железнодорожного транспорта – на 3,1 % (133,4 млрд пасс-км).

В настоящее время по данным «Росстата» в России официальное число инвалидов составляет 11 млн 950 тыс. человек. Можно отметить, что с 2012 г. оно уменьшается с каждым годом. Основными причинами инвалидности являются «общее заболевание» (порядка 85 % от общего числа населения по стране) и «инвалид с детства» (10,4 %) [7].

Так, внутри групп разные категории инвалидов воспользовались (рис. 1) услугами компании ОАО «РЖД» порядка 20 %, в основном это II и III группы инвалидности, без выраженности стойких нарушений функций организма и трудоспособные. При проведении данного исследования наибольшее внимание было обращено на показатели компании, которые получены экспертным и аналитическими путем по итогам работы 2019 г.

По тем же данным «Росстата» общее количество инвалидов II группы в 2020 г. увеличилось по сравнению с 2019 г. [7]. Однако снизилось число лиц, кому дали I группу инвалидности, и общая статистика отмечает положительные сдвиги. Такие изменения связаны с улучшением качества медицины, условий труда, общего уровня жизни и условий жизни в результате экономического и социального развития.

Увеличение доли адаптированной инфраструктуры на транспортных объектах ОАО



Рис. 1. Динамика пользования услугами ОАО «РЖД» разными категориями инвалидов за 2019 г.

«РЖД»), а также совершенствование механизма предоставления услуг определяются комплексной заботой о клиенте, где стратегия клиентоориентированности создает поток лояльных покупателей из числа не только инвалидов, но и других МГН. Качество предоставления государственной услуги по обеспечению инвалидов улучшилось благодаря активной работе Министерства транспорта России и ОАО «РЖД» за счет ввода требований по обеспечению доступности для МГН транспортных объектов, в том числе вокзальных комплексов, остановочных пунктов, подвижного состава и пр. [8].

Эта работа была обусловлена в том числе подписанием Российской Федерацией Конвенции ООН о правах инвалидов в сентябре 2008 г., которая была ратифицирована 3 мая 2012 г. в соответствии с Федеральным законом № 46-ФЗ «О ратификации Конвенции о правах инвалидов» [9]. Впервые Конвенцией были введены принципиальные понятия, имеющие ключевое значение для дальнейшего формирования доступной среды для инвалидов – «универсальный дизайн» и «разумное приспособление».

Принятие этой Конвенции подразумевает принятие обязательств по обеспечению и соблюдению установленных требований. Согласно действующему законодательству, обязанность по созданию условий доступности для инвалидов возложена на собственников (пользователей) объектов социальной, инженерной и транспортной инфраструктур [9]. Это приводит

к дополнительным затратам, связанным с переустройством, реконструкцией, модернизацией, достройкой или дооборудованием транспортных объектов, на человеческие ресурсы (затраты на персонал) и обслуживание оборудования [10, 11]. Для выявления основных причин и стоимости затрат на объектах ОАО «РЖД» использован универсальный инструмент аналитической визуализации – диаграмма Парето (рис. 2).

Основные причины затрат, возникающих в ходе обязательств по обеспечению и соблюдению установленных норм, показывают существенную значимость требуемого финансирования со стороны компании. Наиболее затратным является техническое обеспечение транспортных объектов (лифтовое оборудование, подъемники, индукционные системы, информационные терминалы, пандусы и др.) (рис. 3). Общая совокупность оценок стоимости, связанных с переустройством, реконструкцией, модернизацией, достройкой или дооборудованием транспортных объектов, основана на определении материальных и временных затрат, необходимых для приведения объектов к соответствию.

В настоящее время обеспечение условий доступности приоритетных объектов и услуг, в том числе на объектах ОАО «РЖД», осуществляется в соответствии с нормативно-правовыми документами, защищающими права людей с инвалидностью на доступ к объектам и услугам, а также регламентирующие требования, на основании которых происходит создание доступной среды.

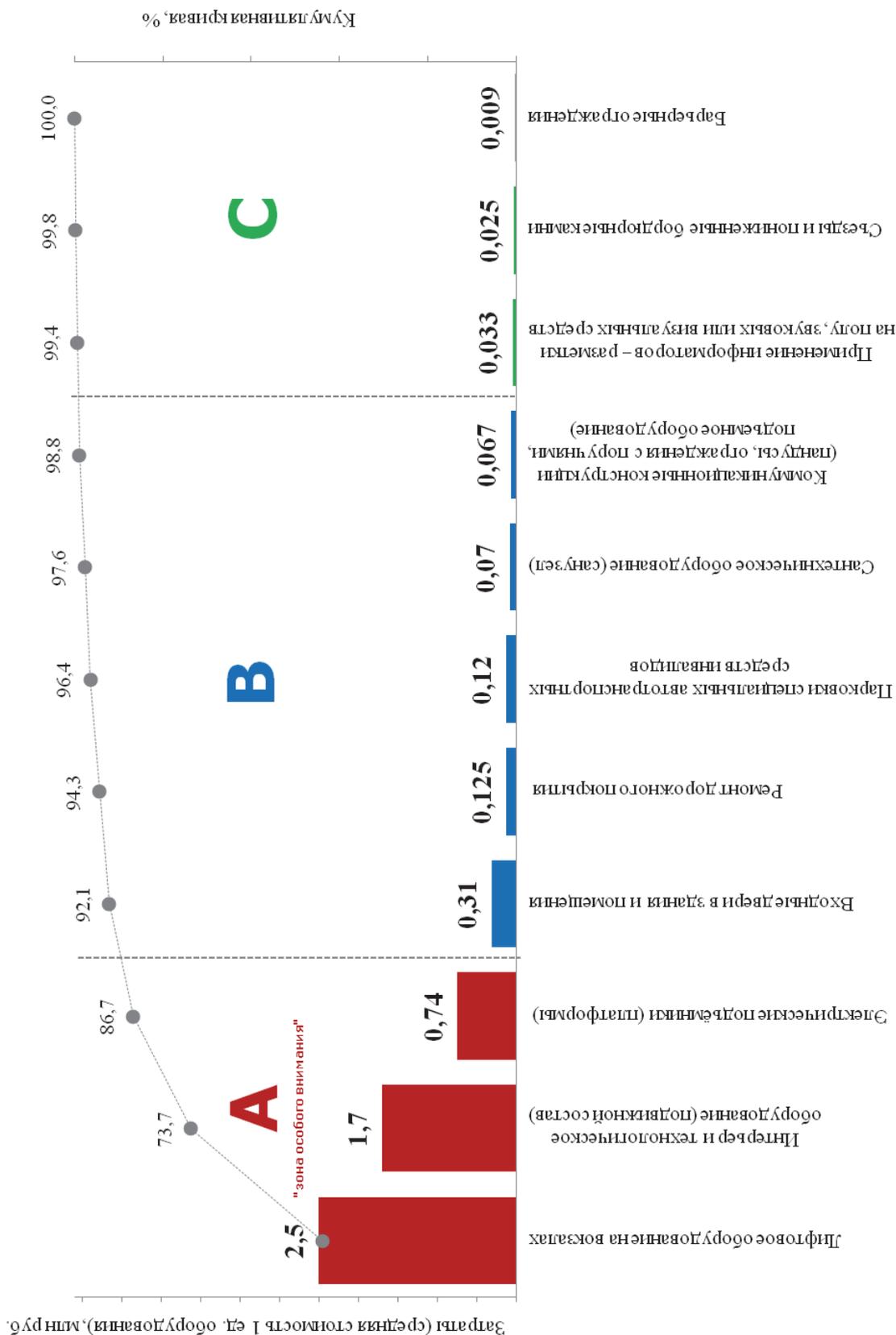


Рис. 2. Анализ основных затрат, связанных с переустройством, реконструкцией, модернизацией, достройкой или дооборудованием транспортных объектов (диаграмма Парето)

а



б



в



г

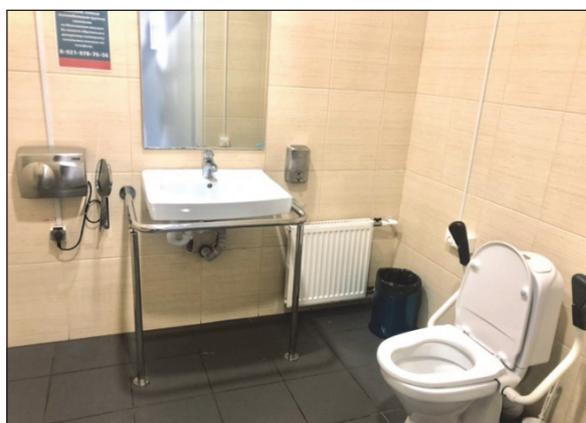


Рис. 3. Фотографии доступных элементов на вокзальных комплексах и подвижных составах: а – лифтовое оборудование станции Ржевка; б – платформа-подъемник в вагонах поезда «Ласточка»; в – входные группы Московского вокзала; г – санитарная комната Московского вокзала

Для того чтобы понимать и правильно оценивать принимаемые решения, в компании ОАО «РЖД» принят механизм реализации системы поэтапного внедрения адаптации подвижного состава, инфраструктуры, цифровой стратегии и др., суть которого заключается в соблюдении норм и требований Конвенции ООН о правах инвалидов (рис. 4).

Для выявления основных точек соприкосновения интеграции нормативно-правовой и материальной баз на уровень компании был использован инструмент структурирования – так называемое дерево «действий». Неотъемлемым преимуществом его применения является соблюдение последовательности внедрения

того или иного действия в процесс деятельности. Так, определив механизм финансирования, включая софинансирование, компания берет на себя обязательства к приведению в соответствие и унификации инфраструктуры и подвижного состава, тем самым увязывая между собой перспективные и текущие проекты компании.

Основываясь на действующих регламентах взаимодействия при организации обслуживания маломобильных пассажиров на вокзальных комплексах, остановочных пунктах, платформах, поездах дальнего и пригородного сообщения, компания стремится не только развивать и внедрять систему адаптации условий доступности для инвалидов, в том числе МГН, но и обеспе-

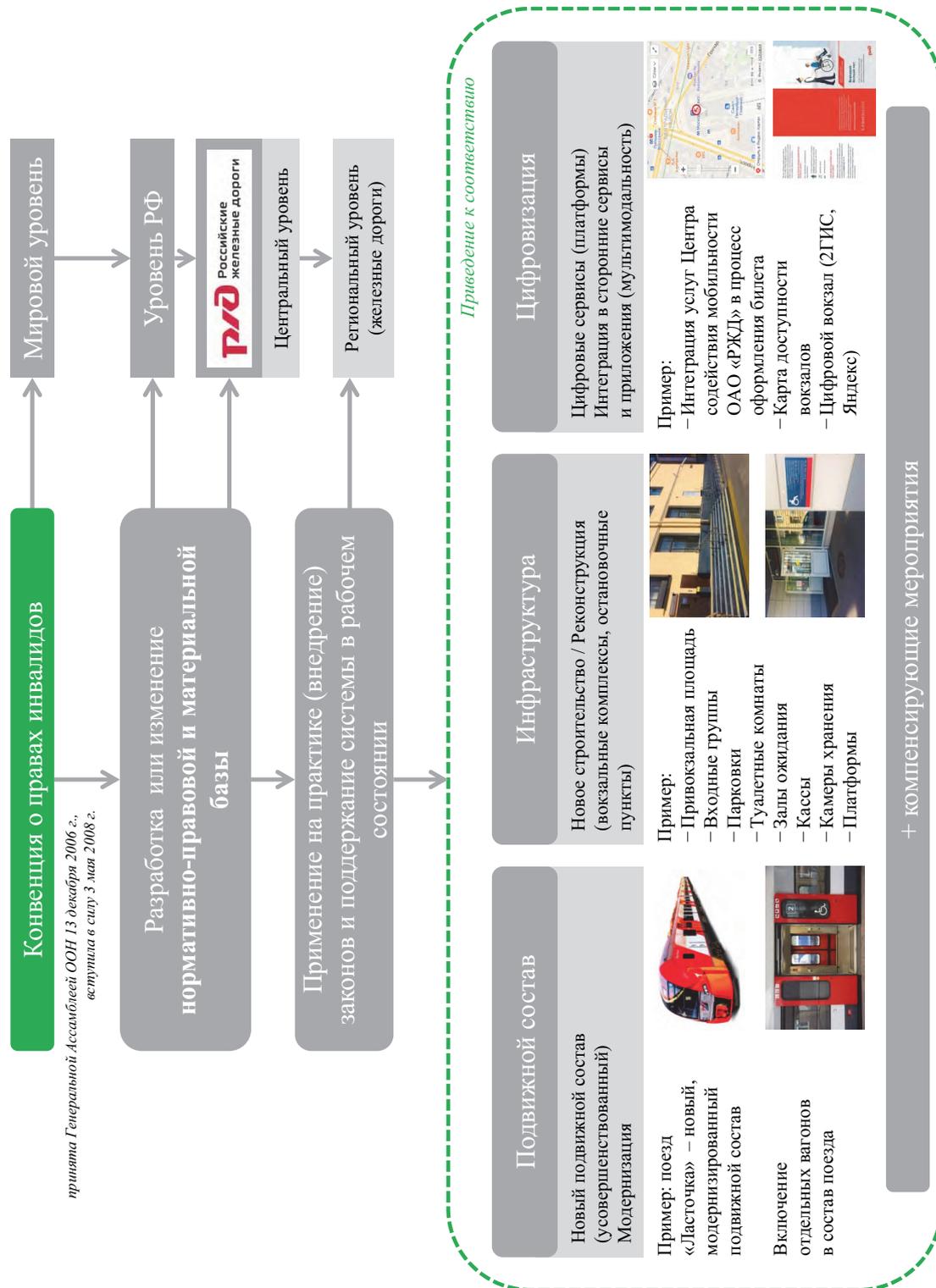


Рис. 4. Механизм реализации поэтапного внедрения Конвенции о правах инвалидов на ОАО «РЖД»

чивать компенсирующие мероприятия, при отсутствии технических или материальных возможностей [12, 13].

Если существующие объекты инфраструктуры до их реконструкции или капитального ремонта невозможно полностью приспособить с учетом потребностей инвалидов, то компанией разрабатывается собственная комплексная программа (дорожная карта) по поэтапному повышению показателей доступности для инвалидов объектов и услуг, которая предусматривает этапы реализации, периоды и ответственных за реализацию. Приоритетная задача программы – обеспечить консолидацию всех методов (ресурсов) по приведению к доступности объектов и услуг для инвалидов и других маломобильных горожан путем разработки компенсирующих мероприятий.

Предлагаемое решение позволяет развернуть направление предоставления услуги от потребности в услуге к предложению услуги, что соответствует политике клиентоориентированности ОАО «РЖД». Более того, с точки зрения клиентоориентированности, развитие новых услуг и модернизации имеющейся инфраструктуры посредством их своевременного предложения клиенту во много раз эффективнее.

Паспортизация объектов инфраструктуры ОАО «РЖД»

Одним из решений по поэтапному повышению уровня доступности для инвалидов объектов и услуг является обследование объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» и порядка предоставления услуг, по результатам которого составляется паспорт доступности объекта и предоставляемых на нем услуг [14]. Для проведения паспортизации создается комиссия, утверждается ее состав, в который обязательно включаются представители общественных организаций инвалидов, осуществляющих свою деятельность на территории, где расположен объект [15, 16]. Например, в современных условиях адаптации инфраструктуры по станции Тихвин разработан

паспорт доступности объекта для МГН по категориям. Обеспечение надлежащего состояния организации взаимодействия участников процесса по формированию доступной среды для инвалидов и других МГН на транспорте является ключевым. Станция Тихвин – один из центральных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) города, объединяющий разные виды транспорта городской инфраструктуры (железнодорожный, городской, частный), в котором пассажиропоток в 2019 г. составил 796 человек в сутки, в том числе инвалидов – 0–1 человек.

Оценка инфраструктурной составляющей в рамках проведения паспортизации станции Тихвин показала, что доступность для пассажиров из числа МГН, в том числе инвалидов, объектов пассажирской инфраструктуры улучшается. Так, прослеживая динамику доступности по четырем категориям инвалидов с 2017 до 2021 г., наблюдаются отчетливая результативность действий и эффективность предполагаемых решений в Октябрьской дирекции пассажирских устройств ОАО «РЖД». За 2017–2021 гг. удельный вес услуг, предоставляемых пассажирам-инвалидам, увеличился с 29% в 2017 г. до 63% в 2021 г. [14]. Аудит элементов проводился по единому перечню структурно-функциональных зон объекта (таблица).

Оценка ситуации позволила рассмотреть динамику изменений условий доступности среды станции Тихвин с учетом положения ограниченных ресурсов: времени, финансирования, технологического и технического воплощения тех или иных потребностей [17]. Процент паспортизации по категориям показал, что именно для категорий колясочников, лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата и инвалидов с нарушением слуха инфраструктура в текущем году доступна полностью или доступна частично. Для инвалидов с нарушением зрения инфраструктура оказалась менее подготовлена – доступна условно (с обеспечением индивидуальной мобильности или с помощью персонала на объекте).

По результатам паспортизации при отсутствии возможностей по каким-либо категориям разрабатываются компенсирующие мероприя-

Динамика категорий доступности структурно-функциональных зон обслуживания вокзала станции Тихвин

№	Перечень структурно-функциональных зон и характеристик обслуживания станции Тихвин	Категория инвалидов							
		Инвалиды, использующие для передвижения кресло-коляску		Инвалиды с нарушением опорно-двигательного аппарата		Инвалиды с нарушением зрения		Инвалиды с нарушением слуха	
		2017 г.	2021 г.	2017 г.	2021 г.	2017 г.	2021 г.	2017 г.	2021 г.
1	Кассы	НД	ДЧ	НД	ДП	НД	ДЧ	НД	ДП
2	Зоны отдыха и ожидания	НД	ДП	НД	ДП	ДП	ДЧ	ДП	ДП
3	Платформа	НД	ДЧ	НД	ДЧ	НД	ДЧ	НД	ДП
4	Санитарно-гигиенические помещения	НД	ДП	НД	ДП	НД	ДЧ	ДП	ДП

Примечание: НД – не доступен, ДЧ – доступен частично, ДП – доступен полностью.

тия, которые минимизируют или устраняют преграды использования предоставляемых пассажирам услуг компанией, обеспечив «непрерывную цепь доступных средств обслуживания» или «универсальную доступную транспортную систему». Услуга по предоставлению ситуационной помощи позволяет делать упор на формирование взаимосвязанной транспортной сети. «Ситуационная помощь» – это помощь, оказываемая инвалиду в целях преодоления барьеров, препятствующих ему получать все услуги, оказываемые населению, наравне с другими лицами. Чем меньше возникает сложностей в процессе у клиентов-инвалидов и других МГН, тем выше индекс удовлетворенности пассажира и имидж компании. Приведенная оценка дает возможность:

1) анализировать мероприятия по приведению в соответствие и унификации инфраструктуры, и подвижного состава в части финансовых затрат и временных ресурсов;

2) разрабатывать при необходимости комплексную программу (дорожную карту) по поэтапному повышению показателей доступности для инвалидов объектов и услуг (с учетом капитальных вложений);

3) организовывать паспортизацию объекта и услуг: оценить текущее состояние доступности;

4) разрабатывать компенсирующие мероприятия по минимизации или устранению «барьерных» преград пассажира.

Заключение

Принятие на себя определенных обязанностей, которые необходимо реализовать для соответствия надлежащего уровня конкурентоспособности доступной среды, требует соблюдения баланса установленных норм и нормативно-правовой и материальной баз. Внесение изменений в конструкции зданий, вложения больших материальных и временных ресурсов (строительство лифтов, подъемников, пандусов) в большей степени для инвалидов I категории, в частности инвалидов-колясочников, будут затратны как финансово, так и по силам и времени. Учитывая, что реализация этих обязанностей затруднительна в краткосрочной перспективе на первый период целесообразно разработать программу мероприятий, где меры реализации будут

комбинированные. Необходимо создавать центры быстрого реагирования, заключая договора с работниками, или возлагать обязанности на сотрудников ОАО «РЖД» на объектах, где данные сотрудники присутствуют. К примеру, станция Октябрьской железной дороги «Сонково» является крупным железнодорожным узлом и разделяет одноименный поселок городского типа Сонково на южную и северную части, которые соединены между собой пешеходным мостом и автомобильным переездом. Для МГН преодолеть такое препятствие подчас представляется невозможно. Как компенсирующее мероприятие в ОАО «РЖД» разработан регламент оказания ситуационной помощи данной категории пассажиров. По заявке пассажира организуется перевозка его на автомобиле из одной части поселка, где находится вокзал, в другую.

Если взглянуть на имеющиеся внутренние правила перевозчиков на обслуживание инвалидов разными видами транспорта, можно сделать вывод, что сквозной логистики не существует. Инвалиду необходимо договариваться на каждом этапе цепочки с отдельными организациями (перевозчиками), планировать маршрут и сроки своей поездки. Потому следующий этап эволюционирования данного вопроса – необходимость разрабатывать межотраслевые нормы, которые следует утвердить Министерством транспорта РФ. Эти нормы будут увязывать единый стандарт для разных видов транспорта и для различных субъектов РФ, впоследствии и для международных субъектов, что приведет к упрощению использования таких услуг пассажирами с помощью цифровизации. Именно в этом аспекте необходимо рассматривать дальнейшее решение проблем обслуживания инвалидов.

Библиографический список

1. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. СП 2.5.1198–03. – М. : Госсанэпиднадзор России, 2003. – 105 с.
2. Юшкова В. А. Сложности разработки проектных решений по организации доступа в здания и сооружения маломобильных групп населения // В. А. Юшкова, С. А. Синенко, С. И. Румянцев, А. А. Румянцева // Вестн. Евразийской науки. – 2020. – № 3. – С. 19–30. – URL: <https://esj.today/PDF/26SAVN320.pdf> (дата обращения : 27.07.2021).
3. Намиот Д. Е. О моделях пассажирского потока для городских железных дорог // Д. Е. Намиот, О. Н. Покусаев, В. С. Лазуткина // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – N 6 (3). – P. 9–14. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-modelyah-passazhirskogo-potoka-dlya-gorodskih-zheleznyh-dorog> (дата обращения : 27.07.2021).
4. Данилина Н. В. Маломобильные группы населения в транспортно-пересадочных узлах // Н. В. Данилина, С. В. Привезенцева // Вестн. ТГАСУ. – 2018. – № 3. – С. 49–56. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/malomobilnye-gruppy-naseleniya-v-transportno-peresadochnyh-uzlah> (дата обращения : 27.07.2021).
5. Короткова С. Г. Методика разработки доступной среды для мГн в эскизном проекте / С. Г. Короткова // Изв. КазГАСУ. – 2017. – № 2. – С. 77–85. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-razrabotki-dostupnoy-sredy-dlya-mgn-v-eskiznom-proekte> (дата обращения : 27.07.2021).
6. Белова Е. А. Аспекты организации и реализации проекта «доступная среда» // Е. А. Белова, С. А. Чернявская // Вестн. Академии знаний. – 2020. – № 5. – С. 41–48. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/aspecty-organizatsii-i-realizatsii-proekta-dostupnaya-sreda> (дата обращения : 27.07.2021).
7. Положение инвалидов. Уровень инвалидизации в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – 2021. – URL : <https://rosstat.gov.ru/folder/13964#> (дата обращения : 27.07.2021).
8. Стандарт ОАО «РЖД» СТО РЖД 03.001–2019. «Услуги на железнодорожном транспорте. Требования к обеспечению условий доступности для пассажиров из числа инвалидов и маломобильных пассажиров». – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 13 февраля 2020 г. № 306 р. – М. : ОАО «РЖД», 2020.
9. Федеральный закон от 03.05.2012 г. № 46-ФЗ «О ратификации Конвенции о правах инвалидов» // Собрание законодательства РФ. – 2012.

10. Сафронов К. Э. Обеспечение доступности различных видов пассажирского транспорта для инвалидов // К. Э. Сафронов, С. М. Мочалин // Вестн. Сиб. АДИ. – 2015. – Вып. 5 (45). – С. 45–52.

11. Шрейбер А. А. Учет экономического фактора при формировании безбарьерной среды жилых районов города // А. А. Шрейбер, С. А. Семенова // Вестн. МФЮА. – 2012. – № 2. – С. 62–70. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-ekonomicheskogo-faktora-pri-formirovaniy-bezbariernoy-sredy-zhilyh-rajonov-goroda> (дата обращения : 27.07.2021).

12. Корпоративный порядок обеспечения условий доступности для маломобильных пассажиров и пассажиров из числа инвалидов услуг по перевозке пассажиров железнодорожным транспортом. – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 26 августа 2020 г. № 1827 р. – М. : ОАО «РЖД», 2020.

13. Распоряжение ОАО «РЖД» от 15 июля 2016 г. № 1427-р (ред. от 07.12.2017 г.) «Об утверждении Методики оценки доступности для пассажиров из числа инвалидов объектов пассажирской инфраструктуры, вагонов, пассажирских поездов и предоставляемых услуг». – М. : ОАО «РЖД», 2016.

14. Паспорт доступности для пассажиров из числа инвалидов объектов пассажирской инфраструктуры от 13 февраля 2017 г. № 1/05 (ред. № 2 от 11.03.2021 г.). – СПб. : ОАО «РЖД», 2017.

15. Шимолина М. В. Маломобильные группы населения в современной России : аспекты социального

неравенства // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 10. – URL : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18984> (дата обращения : 27.07.2021).

16. Цыбикова С. Н. Оценка состояния доступности, разработка управленческих решений : метод. пособие / С. Н. Цыбикова. – Иркутск : ГАПОУ ИО ИТАМ, БПОО, обеспечивающая поддержку системы инклюзивного профессионального образования инвалидов в Иркутской области, 2017. – 50 с.

17. Шорохова И. С. Статистические методы анализа : учеб. пособие / И. С. Шорохова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 2015. – 300 с.

Дата поступления: 27.07.2021

Решение о публикации: 29.07.2021

Контактная информация:

ШМАНЁВ Тимофей Михайлович – канд. техн. наук, доц.;

l_shmanev@orw.rzd, t.schmaniov@yandex.ru

УЛЬЯНИЦКАЯ Виктория Игоревна –

l_UlyanitskayaVI@orw.rzd,
ulyanitskaya_viktoriya@mail.ru

ПУХОВА Марина Сергеевна –

l_PuhovaMS@orw.rzd,
marinka96puhova@gmail.com

ПАНОВ Павел Сергеевич – l_panov@orw.rzd

СИТНИКОВ Алексей Юрьевич –
aysitnikov@inbox.ru

Conditions for compliance with the requirements for ensuring the accessibility of transport facilities of Russian Railways through interim solutions and the adoption of compensatory measures to serve people with limited mobility, including people with disabilities

T. M. Shmanev^{1, 2}, **V. I. Ulyanitskaya**², **M. S. Pukhova**^{1, 2}, **P. S. Panov**²,
A. Yu. Sitnikov^{1, 2}

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

² Oktyabrskaya Regional Service for the Development of Passenger Services and Providing Access to Infrastructure, 85, Bldg. D, Nevsky pr., Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

For citation: Shmanev T. M., Ulyanitskaya V. I., Pukhova M. S., Panov P. S., Sitnikov A. Yu. Conditions for compliance with the requirements for ensuring the accessibility of transport facilities of Russian Railways through interim solutions and the adoption of compensatory measures to serve people with limited mobility, including people with disabilities. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 340–352. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-340-352

Summary

Objective: Formation of an effective mechanism for the creation or gradual redistribution of resources to ensure a universal barrier-free environment not only among disabled people (of all categories), but among representatives of people with limited mobility (PLM), through interim solutions and the adoption of compensatory programs (measures). Based on finding the optimal balance of costs and benefits, in cases of lack of technical or material capabilities associated with improving the development or design of an accessible environment. **Methods:** The main tools of analysis and management are used: Pareto diagram, cause-effect diagram (Ishikawa), goal setting, structuring, dynamic changes, etc. **Results:** A variant of the mechanism for the implementation of the step-by-step creation of a universal barrier-free environment is presented not only among disabled people (of all categories), but among PLM. It has been established that if the existing infrastructure facilities of the passenger complex, before their reconstruction or overhaul, cannot be fully adapted to the needs of disabled people, then the introduction of a comprehensive program (roadmap), compensating measures, interim solutions allows minimizing or eliminating the company's costs. **Practical importance:** On the example of the obtained algorithm (sequence) of organizing the process to ensure the accessibility of the environment of the passenger complex of the Oktyabrskaya Railway, the principle of phased implementation of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities on Russian Railways, which is universal, is shown. Formalized solutions should help improve the quality of service, reduce costs and increase customer focus on the Russian Railways network.

Keywords: Passenger, people with limited mobility, passenger complex, customer focus, disabled person, object.

References

1. *Sanitarnyye pravila po organizatsii passazhirskikh perevozok na zhelezнодорожном транспорте. SP 2.5.1198–03 [Sanitary rules for the organization of passenger transportation by rail. SP 2.5.1198–03]*. Moscow, Gossanepidnadzor Rossii [State Sanitary and Epidemiological Surveillance Department of Russia] Publ., 2003, 105 p. (In Russian)
2. Yushkova V. A., Sinenko S. A., Rumyantsev S. I. & Rumyantseva A. A. Slozhnosti razrabotki proyektnykh resheniy po organizatsii dostupa v zdaniya i sooruzheniya malomobil'nykh grupp naseleniya [Difficulties in the development of design solutions for organizing access to buildings and structures for people with limited mobility]. *Vestnik Yevraziyskoy nauki [Bulletin of Eurasian Science]*, 2020, no. 3, pp. 19–30. Available at: <https://esj.today/PDF/26SAVN320.pdf> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)
3. Namiot D. E., Pokusaev O. N. & Lazutkina V. S. O modelyakh passazhirskogo potoka dlya gorodskikh zheleznykh dorog [On models of passenger flow for urban railways]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2018, no. 6 (3), pp. 9–14. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-modelyah-passazhirskogo-potoka-dlya-gorodskih-zheleznykh-dorog> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)
4. Danilina N. V. & Privezentseva S. V. Malomobil'nyye gruppy naseleniya v transportno-peresadochnykh uzlakh [Low-mobile groups of the population in transport-interchange hubs]. *Vestnik TGASU [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]*, 2018, no. 3, pp. 49–56. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/malomobilnye-gruppy-naseleniya-v-transportno-peresadochnykh-uzlakh> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)
5. Korotkova S. G. Metodika razrabotki dostupnoy sredy dlya mGn v eskiznom projekte [Methodology for the development of an accessible environment for PLM in

the draft design]. *Izvestiya KazGASU [Proceedings of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]*, 2017, no. 2, pp. 77–85. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-razrabotki-dostupnoy-sredy-dlya-mgn-v-eskiznom-proekte> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)

6. Belova E. A. & Chernyavskaya S. A. Aspekty organizatsii i realizatsii proyekta «dostupnaya sreda» [Aspects of the organization and implementation of the “accessible environment” project]. *Vestnik Akademii znaniy [Academy of Knowledge Bulletin]*, 2020, no. 5, pp. 41–48. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/aspekty-organizatsii-i-realizatsii-proekta-dostupnaya-sreda> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)

7. *Polozheniye invalidov. Uroven' invalidizatsii v Rossiyskoy Federatsii [Situation of disabled people. Disability rate in the Russian Federation]*. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)], 2021. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964#> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)

8. *Standart OAO “RZHD” STO RZHD 03.001–2019. “Uslugi na zheleznodorozhnom transporte. Trebovaniya k obespecheniyu usloviy dostupnosti dlya passazhirov iz chisla invalidov i malomobil'nykh passazhirov”*. Utv. rasporyazheniyem OAO “RZHD” ot 13 fevralya 2020 g. no. 306r [Standard of JSC “Russian Railways” STO RZD 03.001–2019. “Services in railway transport. Requirements for ensuring accessibility for disabled passengers and passengers with limited mobility”]. Approved by order of JSC “Russian Railways” dated February 13, 2020 N 306r]. Moscow, OAO “RZHD” [JSC “Russian Railways”] Publ., 2020. (In Russian)

9. Federal'nyy zakon ot 03.05.2012 N 46-FZ “O ratifikatsii Konventsii o pravakh invalidov” [Federal Law of May 03 2012 no. 46-FZ “On Ratification of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities”]. *Sobraniye zakonodatel'stva RF [Collected Legislation of the Russian Federation]*, 2012. (In Russian)

10. Safronov K. E. & Mochalin S. M. Obespecheniye dostupnosti razlichnykh vidov passazhirskogo transporta dlya invalidov [Ensuring the availability of various types of passenger transport for disabled people]. *Vestnik SubADU [Bulletin SubADU]*, 2015, iss. 5 (45), pp. 45–52. (In Russian)

11. Shraiber A. A. & Semenova S. A. Uchet ekonomicheskogo faktora pri formirovaniibesbariernoy

sredi zhilyh rayonov goroda [Calculation of economical factor by formation non-barrier environment for dwelling regions of town]. *Vestnik MFYuA [Bulletin of MFYuA]*, 2012, no. 2, pp. 62–70. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-ekonomicheskogo-faktora-pri-formirovani-Bezbariernoy-sredy-zhilyh-rayonov-goroda> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)

12. *Korporativnyy poryadok obespecheniya usloviy dostupnosti dlya malomobil'nykh passazhirov i passazhirov iz chisla invalidov uslug po perevozke passazhirov zheleznodorozhnym transportom*. Utv. rasporyazheniyem OAO “RZHD” ot 26 avgusta 2020 g. no. 1827r [Corporate procedure for ensuring the conditions of accessibility for passengers with limited mobility and disabled passengers of services for the transport of passengers by rail. Approved by order of JSC “Russian Railways” dated August 26, 2020, N 1827r]. Moscow, OAO “RZHD” [JSC “Russian Railways”] Publ., 2020. (In Russian)

13. *Rasporyazheniye OAO “RZHD” ot 15 iyulya 2016 g., no. 1427-r (red. ot 07.12.2017 g.) “Ob utverzhdenii Metodiki otsenki dostupnosti dlya passazhirov iz chisla invalidov ob'yektov passazhirskoy infrastruktury, vagonov, passazhirskikh poyezdov i predostavlyayemykh uslug”* [Order of JSC “Russian Railways” dated July 15, 2016, no. 1427-r (as amended on December 7, 2017) “On approval of the Methodology for assessing the accessibility of passenger infrastructure facilities, carriages, passenger trains and services provided for passengers with disabilities”]. Moscow, OAO “RZHD” [JSC “Russian Railways”] Publ., 2016. (In Russian)

14. *Pasport dostupnosti dlya passazhirov iz chisla invalidov ob'yektov passazhirskoy infrastruktury ot 13 fevralya 2017 g. no. 1/05 (red. ot no. 2 ot 11.03.2021 g.)* [Passport of accessibility for passengers with disabilities of passenger infrastructure facilities dated February 13, 2017, N 1/05 (revised from N 2 dated March 11, 2021)]. Saint Petersburg, OAO “RZHD” [JSC “Russian Railways”] Publ., 2017. (In Russian)

15. Shimolina M. V. Malomobil'nyye gruppy nasele-niya v sovremennoy Rossii: aspekty sotsial'nogo neravenstva [Low-mobile population groups in modern Russia: aspects of social inequality]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 2015, no. 1–1, p. 10. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18984> (accessed: July 27, 2021). (In Russian)

16. Tsybikova S. N. *Otsenka sostoyaniya dostupnosti, razrabotka upravlencheskikh resheniy. Metodicheskoye posobiye [Assessment of the state of accessibility, development of management decisions. Study guide]*. Irkutsk, GAPOU IO ITAM, BPOO, obespetchivayushchaya podderzhku sistemy inklyuzivnogo professional'nogo obrazovaniya invalidov v Irkutskoy oblasti [Irkutsk Technical School of Aircraft Building and Material Processing, basic vocational educational organization providing support for the system of inclusive vocational education for people with disabilities in the Irkutsk region] Publ., 2017, 50 p. (In Russian)

17. Shorokhova I. S. *Statisticheskiye metody analiza. Uchebnoye posobiye [Statistical methods of analy-*

sis. Textbook]. Ekaterinburg, Ural State University Publ., 2015, 300 p. (In Russian)

Received: July 27, 2021

Accepted: July 29, 2021

Authors' information:

Timofey M. SHMANEV – PhD in Engineering, Associate Professor; l_shmanev@orw.rzd, t.schmaniov@yandex.ru

Victoria I. ULYANITSKAYA – l_UlyanitskayaVI@orw.rzd, ulyanickaya_viktoriya@mail.ru

Marina S. PUKHOVA – l_PuhovaMS@orw.rzd, marinka96puhova@gmail.com

Pavel S. PANOV – l_panov@orw.rzd

Alexey Yu. SITNIKOV – aysitnikov@inbox.ru



УДК 656

Результаты маркетингового исследования опций «умной» скоростной платформы*

Ю. П. Бороненко¹, О. Д. Покровская¹, Т. С. Титова¹, Д. В. Шевченко²

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

² Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий (ООО «ВНИЦТТ»), Российская Федерация, 197046, Санкт-Петербург, Петроградская набережная, 22, лит. А

Для цитирования: Бороненко Ю. П., Покровская О. Д., Титова Т. С., Шевченко Д. В. Результаты маркетингового исследования опций «умной» скоростной платформы // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 353–376.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-353-376

Аннотация

Цель: Составить портрет типичного потребителя для различных опциональных линейек оснащения системой бортовой телеметрии скоростного вагона-платформы («умного» вагона). **Методы:** Применяются средства и методы маркетинга, верного анкетирования, статистической обработки информации, сравнения, общей теории систем, системного и экономического анализов, логистики, терминалистики, визуализации. **Результаты:** Разработаны опциональные линейки по каждому варианту технического исполнения вагона, по результатам обработки анкет респондентов составлен портрет типичного потребителя; сформулированы некоторые рекомендации по составу опций в каждой версии скоростной платформы. **Практическая значимость:** Полученные результаты могут применяться при выходе на рынок в части установления опциональных линейек исполнения скоростной платформы и стоимости. Дальнейшие исследования должны быть направлены на более детальное изучение сегментов рынка с выработкой наилучших ценовых и функционально-опционных решений для конечного целевого потребителя.

Ключевые слова: «Умный» вагон, скоростная платформа, инновационный вагон, система бортовой телеметрии, опциональная линейка, техническое исполнение, маркетинговое исследование.

Введение

Увеличение объема контейнерного транзита и количества регулярных контейнерных поездов, курсирующих по «твердым» ниткам графика, определили для платформ второе место по попу-

* Исследование выполнено ПГУПС Императора Александра I по заказу ООО «ВНИЦТТ» в 2019 г.

лярности на рынке грузовых вагонов. По данным годового отчета АО «ВРК-2» за 2019 г.^{*}, платформы как вид подвижного состава занимают порядка 5,6% рынка. При этом на платформы наблюдается достаточно высокий спрос, в абсолютных цифрах они занимают второе место в структуре выпуска после полувагонов (так, в 2019 г. было выпущено порядка 13 тыс. платформ). Ожидается, что ставка на фитинговые платформы к 2021 г. превысит 20%^{**}. Отметим также, что спрос на специализированные платформы увеличивается быстрее, чем на универсальные.

Очевидно, что усиление внутренней конкуренции на рынке железнодорожных перевозок, с одной стороны, и рост производства грузового подвижного состава, с другой – требует от производства новых технических и технологических решений, интересных как железнодорожному бизнесу, так и сбалансированных с потребностями клиентов. На российском рынке железнодорожных грузовых перевозок в настоящее время работают более 1000 собственников и операторов, причем в результате процесса консолидации рынка на долю 30 крупнейших операторов подвижного состава приходится порядка 80% парка в управлении и 78% от общего объема перевозок.

Современные требования к увеличению скоростей доставки и совершенству конструкторских решений способствовали активному применению инноваций в вагоностроении. Так, парк инновационных вагонов в 2019 г. увеличился по отношению к 2018 г. и составил 135,3 тыс. вагонов.

Проведенный анализ транспортно-логистического рынка позволил выделить ряд тенденций.

Во-первых, обретают особую актуальность вопросы клиентоориентированных решений, направленных на совершенствование не только конструктивного технического исполнения вагона, но и его оснащения теми опциями, кото-

рые, с одной стороны, обеспечивали бы потребности клиента, а с другой – повышали бы инвестиционную привлекательность применения таких платформ как «умного» вагона на рынке грузовых перевозок России и мира.

Во-вторых, наблюдаемое усложнение логистических цепей доставки груза, «включение» в них большого количества участников перевозочного процесса, увеличение доли дополнительного сервиса для грузовладельцев, а также волатильность и турбулентность экономической конъюнктуры обусловили активное применение цифровых решений, электронного документооборота и цифровой блокчейн-среды. В таких условиях для всех участников перевозочного процесса приобрели актуальность так называемые «умные» (от англ. smart) решения, направленные на обеспечение тотального контроля за параметрами состояния вагона.

По нашему мнению, формирование облика «умного» вагона является знаковым, качественно новым шагом в развитии отечественного грузового вагоностроения [1]. «Умным» вагоном предлагается именовать грузовой вагон, оснащенный системами бортовой телеметрии и иными техническими средствами, способными в режиме реального времени и «со скоростью клика» предоставить персонифицированный комплекс значимых параметров для тотального контроля состояния вагона и груза, а также прохождения всех звеньев логистической цепи [2, 3]. В свою очередь, такие «умные» технические решения позволят управлять всем жизненным циклом вагона посредством бортовых датчиков и создания «цифрового двойника» вагона.

Очевидно, что техническое оснащение «умного» вагона должно быть максимально персонифицированным. Это позволяет не только обеспечить уникальный функционал для конкретного потребителя, но и выработать стратегию поведения на рынке при выводе нового подвижного состава на продажу. Кроме того, весь жизненный цикл подвижного состава при электронном документообороте и заключении блокчейн-сделок уже давно находится в цифровой smart-среде. Необходим учет мнений клиентов и при фор-

* <https://wagon-cargo.ru>

** <https://vgudok.com>

мировании пакетов комплексного сервиса. Такое агрегирование транспортно-логистических услуг в единый бесшовный сервис является наиболее востребованным инструментом расширения клиентской базы и привлечения на железные дороги высокодоходных грузов [4, 5].

По оценкам экспертов Росбизнесконсалтинг, в ближайшие 2–3 года наиболее перспективным вагоном с точки зрения спроса может стать скоростная платформа, оснащенная «умным» оборудованием с обратной связью. Можно полагать также, что в современных блокчейн-цепях доставки грузов, прежде всего в международном сообщении, такое техническое решение с опциональными «умными» устройствами будет одним из обязательных.

Основой спроса на «умные» скоростные вагоны-платформы может стать наблюдаемое сегодня укрепление тренда на контейнеризацию перевозок. Во-первых, реализуется транзитный потенциал России. Во-вторых, инновационные «умные» платформы необходимы для выполнения планов по экспорту зерна в контейнерах в страны Юго-Восточной Азии, в первую очередь в Китай. Кроме того, продолжается увеличение объема перевозок нефтехимических грузов в танк-контейнерах, а также стимулируется отрасль деревообработки, продукция которой также доставляется на фитинговых платформах и в крытых вагонах.

Перечисленное определило необходимость проведения маркетингового исследования востребованности тех или иных функциональных и технических решений (опций), которые можно успешно реализовать на рынке и повысить конкурентоспособность специализированных платформ в объеме, адекватном развитию рынка.

Известно, что оценку клиентоориентированности того или иного продукта может дать только клиент. Как узнать мнение потребителя – клиента-заказчика перевозки, клиента-пользователя вагоном? Кто из участников транспортно-логистического рынка может стать целевым пользователем нового подвижного состава? Как оценить наличие спроса на те или иные опции, которые будут необходимы и по-

лезны как грузовладельцу, так и оператору подвижного состава?

Ответить на эти и многие другие вопросы изучения рыночных ожиданий типичного потребителя стало возможно, применяя такой маркетинговый метод как анкетирование.

В Петербургском университете путей сообщения совместно с ООО «ВНИЦТТ» было выполнено комплексное исследование потребительских ожиданий и платежеспособного спроса на востребованные опции таких скоростных платформ. Его цель – используя методы верного анкетирования, составить портрет типичного потребителя для различных опциональных линеек оснащения системой бортовой телеметрии (СБТ) скоростного вагона-платформы.

Основными задачами являлись: 1) разработать опциональные линейки; 2) составить портрет типичного потребителя; 3) сформулировать некоторые рекомендации по составу опций в каждой версии СБТ.

Методика и инструментарий проведения исследования

В работе были использованы средства и методы статистической и аналитической обработки информации, средства визуализации, принципы и методы маркетинга, системного анализа, логистики и клиентоориентированности. Проводилось анкетирование потребителей о необходимых опциях, реализуемых в СБТ скоростных вагонов-платформ поэтапно.

Этап 1 – подготовительный:

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

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

Этап 2 – маркетинговый:

3. Анкетирование респондентов по целевым группам, рассылка материалов анкет и прило-

жений к ним, разъяснение особенностей вагона-платформы.

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 опциональных линейек.

9. Составление портрета потребителя.

Этап 4 – итоговый:

10. Формулирование выводов и рекомендаций по проведенному исследованию.

В перечень анкетизируемых вошли компании, входящие в ТОП-20 лидеров операторского рынка, всего 100 адресатов веерной рассылки.

В настоящее время на российском рынке железнодорожных грузовых перевозок в настоящее время работают более 1000 собственников и операторов, причем в результате процесса консолидации рынка на долю 30 крупнейших операторов подвижного состава приходится уже 80% парка в управлении и около 78% от общего объема перевозок.

По данным периодического обзора INFOLINE RAIL RUSSIA TOP за 2018–2019 гг., в частности, по рейтингам операторов подвижного состава и оперлизинговых компаний, в состав анкетизируемых потребителей были включены ведущие компании, занимающие лидирующие позиции на транспортном рынке.

Нами были проведены выборка и группировка значимых респондентов в количестве не менее 30 ответов, сгруппированных следующим образом:

- 1) операторы (не менее 10 компаний);
- 2) собственники вагонов (не менее 10 компаний);
- 3) грузовладельцы (производители, потребители готовой продукции) (не менее 10 компаний), а также эксперты из числа профессорско-преподавательского состава университетов путей сообщения.

Описание концепта скоростной платформы

На рис. 1 представлена общая концепция скоростной платформы с указанием ключевых технических параметров. Оценку экономической эффективности полученных технических



Рис. 1. Вагон-платформа специализированная. Модель 13-994-04 (по проекту ООО «ВНИЦТТ»)

решений возможно выполнить с помощью методики, изложенной, например, в [6].

Рассмотрим особенности конструкции специализированной скоростной платформы, которая предназначена для перевозки трех 20-футовых контейнеров или трех съемных 20-футовых кузовов массой брутто до 40,8 т каждый.

Различные типы кузовов, которые могут быть установлены на платформу, иллюстрирует рис. 2.

Варианты и способы разгрузки съемных кузовов показаны на рис. 3.

Неотъемлемыми конструктивными особенностями платформы являются турникетные опоры откидной конструкции для перевозки контейнера над шарнирным узлом соединения и интегрированная в тележки тормозная система. Это позволяет увеличить грузоподъемность вагона до 122,5 т, погонную нагрузку до 7,7 т/м, а также обеспечить длину вагона по осям автосцепок менее 19,6 м и осевую нагрузку в 25 тс с возможностью понижения.

Основными техническими характеристиками рассматриваемой платформы позволяют считать ее скоростной. Так, конструкционная скорость такого вагона может достигать 120 км/ч, допускаемая эксплуатационная скорость по условиям воздействия на путь и тормозным характеристикам – 120 км/ч (в груженом и порожнем режимах).

Проект скоростной платформы ориентирован на перевозку деликатных дорогостоящих грузов

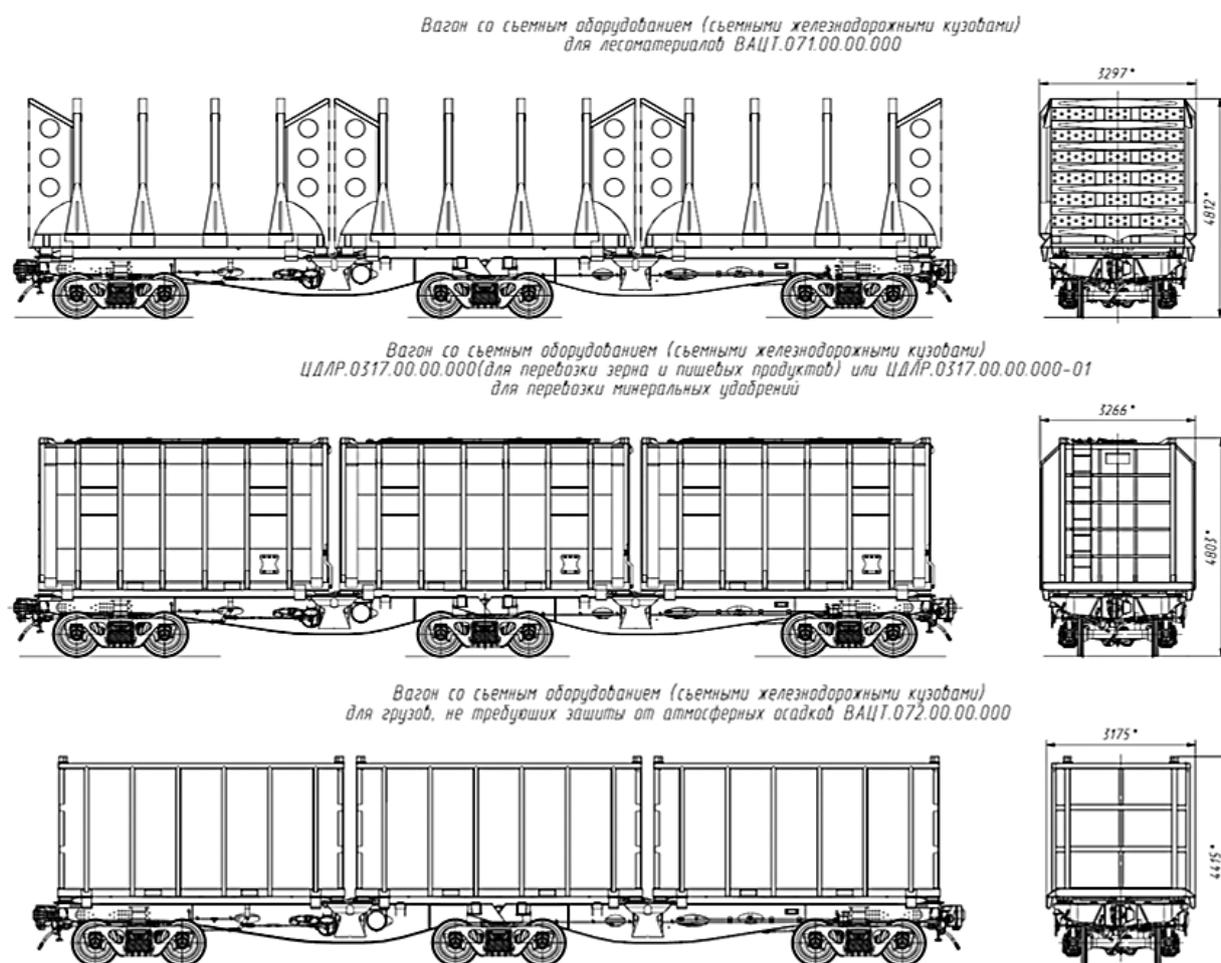


Рис. 2. Вагон-платформа специализированная модели 13-9994-04 с кузовами различного назначения (размеры даны в миллиметрах)



Рис. 3. Варианты и способы разгрузки съемных кузовов

(техника, электроника, автомобильные запасные части), которые могут быть повреждены действующими в процессе перевозки ускорениями. Проект скоростной платформы может применяться на маршрутах Транссибирского транспортного коридора «Восток–Запад», коридора «Север–Юг», а также для связи евроазиатских и панъевропейских транспортных коридоров.

Скоростная платформа дает возможность выполнять:

- контейнерные перевозки;
- перевозки с помощью съемных и сменных кузовов типа «крытый вагон» для перевозки грузов аналогично сухогрузным контейнерам с обеспечением погрузки до грузоподъемности вагона.

Скоростная платформа может быть выполнена на базе:

- 6-осного вагона-платформы сочлененного типа модели 10-630-XX;
- 4-осного вагона-платформы.

Варианты грузоподъемности скоростной платформы:

- 74,5 т;
- 80 т;
- 122,7 т.

Варианты технического исполнения скоростной платформы:

- длиннобазное – 25,6 м (по осям сцепления автосцепок);
- короткобазное – 14,6 м (по осям сцепления автосцепок);
- сочлененное – 19,5 м (по осям сцепления автосцепок).

Примерный состав базовой версии скоростной платформы, который был взят в качестве основного варианта при анкетировании, следующий:

- электронный пневматический тормоз, ЭПТ, – совокупность технических средств для обеспечения скорости движения до 120 км/ч по путям ОАО «РЖД» согласно требованиям

безопасности движения и технической надежности;

- система бортовой телеметрии, СБТ, – совокупность датчиков, позволяющих в режиме реального времени отслеживать ряд параметров состояния и местоположения груза/контейнера/вагона, включающая:

- GSM-датчик определения местоположения вагона с обратной GPS-связью,

- датчик температуры сверхнормативного нагрева буксового узла,

- датчик температуры внутри кузова (сменного, съемного)/контейнера,

- датчик ускорений на необрессоренных частях вагона,

- электронное пломбировочное устройство на грузе/кузове.

Результаты исследования

Анкетированная аудитория (после уточнения и сегментации респондентов) составила 40 участников, из которых:

- 6 – эксперты (3 – «теоретики», представители вузов Росжелдора; 2 – «практики», руководители производственных компаний);

- 7 – грузовладельцы, работающие с различной номенклатурой грузов (сыпучие, металлы, контейнеры, опасные, наливные);

- 11 – операторы подвижного состава, 5 из которых входят в ТОП-20 крупнейших игроков транспортно-логистического рынка;

- 16 – представители перевозчика грузов железнодорожным транспортом, ОАО «РЖД».

Портрет респондента анкетирования показан на рис. 4.

Согласно ответам респондентов, производители продукции и собственники вагонов являются целевыми потребителями скоростных платформ. Эти ответы лидируют в указанных группах и могут рассматриваться в качестве фокусной аудитории при «выходе» на рынок. При этом эксперты указывают целевыми также перевозчика и потребителя готовой продукции, что следует учитывать при «запуске» продаж скоростной платформы.

На рис. 5 показано распределение ответов на вопрос о составе логистической цепи, обслуживаемой скоростным вагоном-платформой. Так, респонденты отмечают цепь «производитель–железнодорожный транспорт–грузовой терминал–автотранспорт–потребитель». Действительно, это самая протяженная и вместе с тем типичная логистическая цепь с участием железнодорожного перевозчика.

Так, представители ОАО «РЖД», наибольшего сегмента анкетирования, указывают на логистическую цепь типа «производитель–железнодорожный транспорт–грузовой терминал–

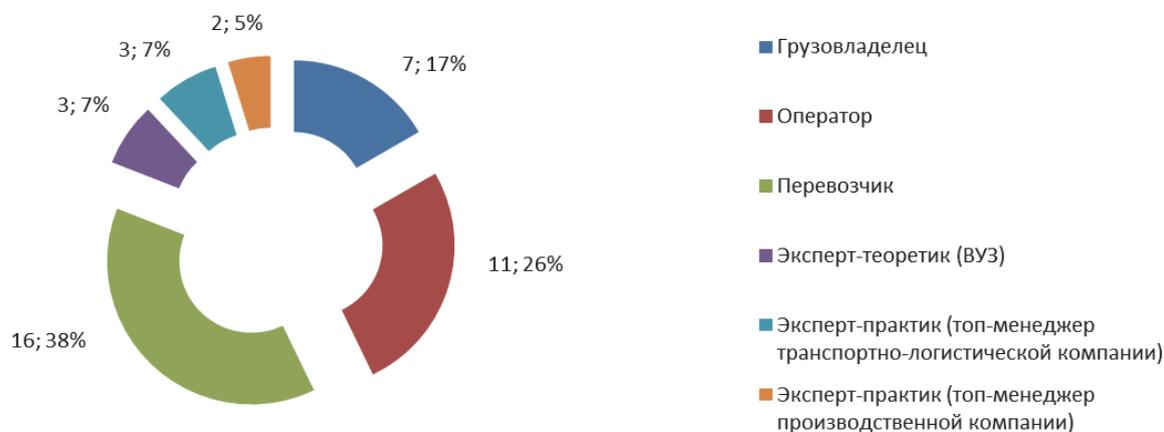


Рис. 4. Портрет респондента

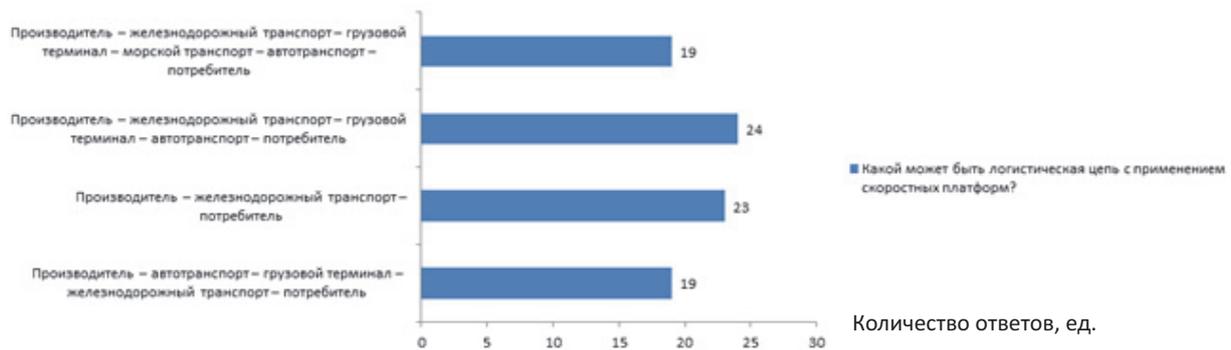


Рис. 5. Состав логистической цепи, обслуживаемой скоростным вагоном-платформой

морской транспорт–автотранспорт–потребитель». Тем самым перевозчиком допускается мультимодальный вариант освоения перевозок с использованием скоростных платформ, что действительно является одним из перспективных направлений их дальнейшей эксплуатации.

Рекомендация: исходя из анализа ответов на четвертый вопрос, наилучшим направлением интеграции нового подвижного состава в логистические цепи может стать «подключение» к мультимодальным перевозкам в рамках транспортных коридоров, например, «Север–Юг». Эта рекомендация соответствует результатам, полученных, например, в работах [7–9].

Респондентам был задан вопрос: «Укажите, пожалуйста, элемент(-ы) вагона, который(-е)

ОБЯЗАТЕЛЬНО ДОЛЖЕН(-Ы) контролироваться СБТ».

Допускалось несколько ответов. По элементам вагона ответы разделились следующим образом: большинство респондентов называет важными колесные пары (38% опрошенных) и в равных долях (по 21%) – тележку и кузов вагона (рис. 6). На рис. 7 показано, как распределены ответы по составу респондентов. Видно, что большинство респондентов называют колесную пару (38%) как наиболее важный элемент вагона, требующий контроля параметров. По 21% получили тележка и кузов. Следует отметить, что тормозную систему называют в равном количестве (по 5 ответов, 18% опрошенных) и перевозчик, и операторы. Наиболее



Рис. 6. Элементы вагона для контроля СБТ

важными элементами вагона можно назвать колесную пару, тележку, тормозную систему, кузов (в порядке убывания их приоритетности для респондентов).

Рекомендация: предлагается уделить максимум внимания к оснащению датчиками колесной пары, тележки и тормозной системы. А также рассмотреть (по предложению 2 ре-

спондентов) вариант скоростной платформы без «умного» оснащения (т. е. без СБТ). Отметим, что наличие двух отрицательных ответов среди респондентов-операторов (2 ответа из 11 опрошенных) позволяют говорить о 18% не лояльных потребителей скоростной платформы среди операторов. Это означает неготовность 18% целевого рынка к «умному» подвижному составу

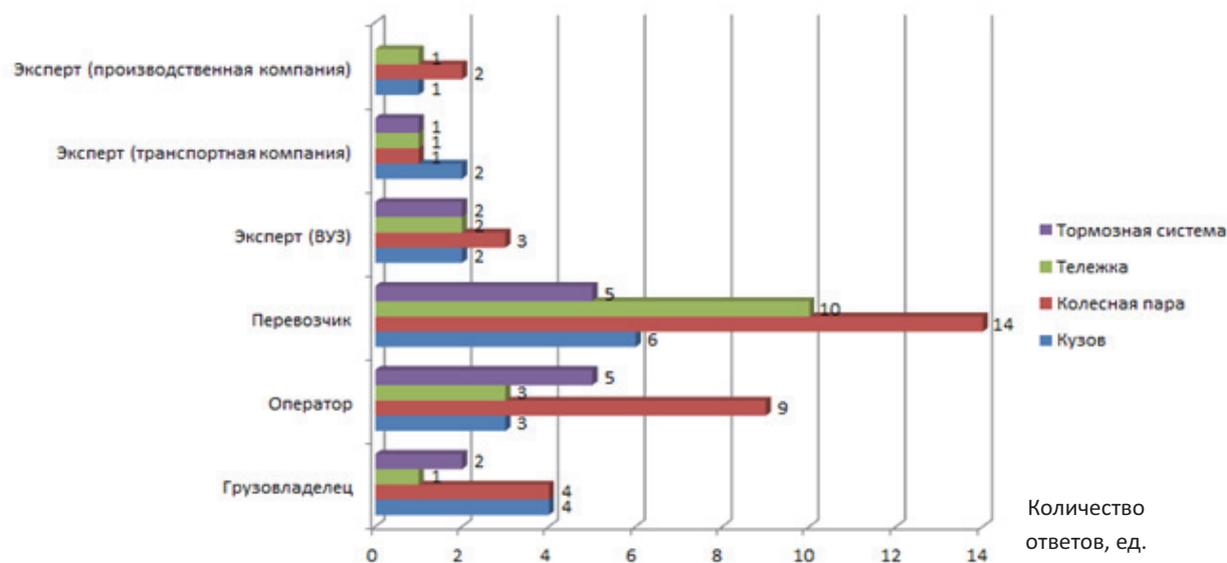


Рис. 7. Ответы, распределенные по составу респондентов

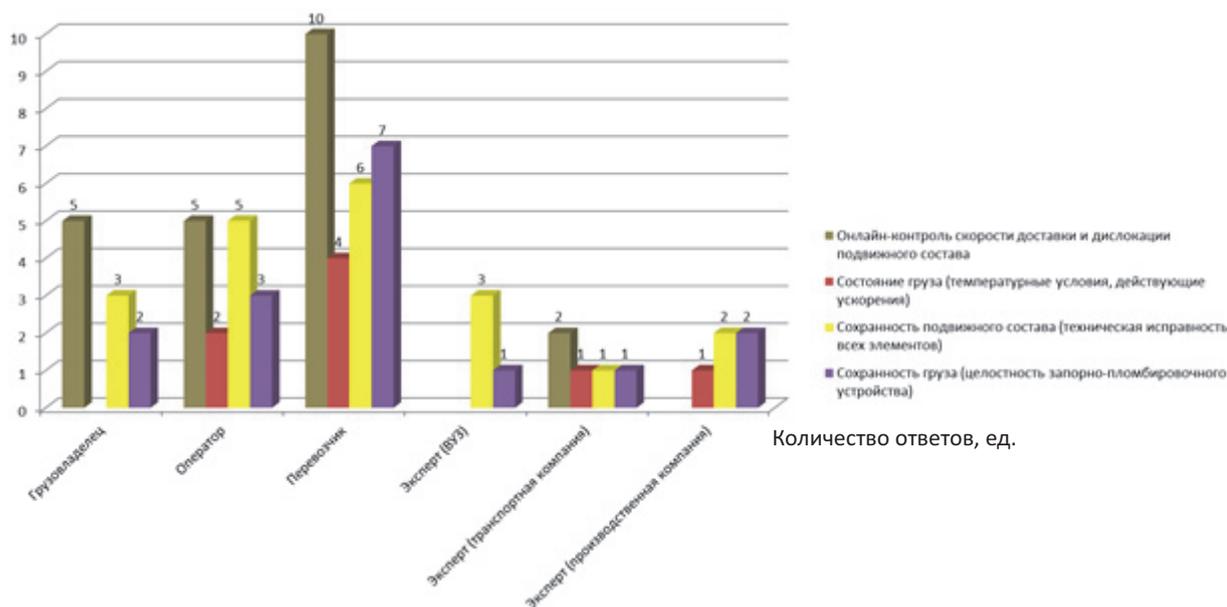


Рис. 8. Важность параметров, отражаемых СБТ, для респондентов

ву, что требует, безусловно, как скорректированной/адаптированной под интересы клиента версии опций, так и учета варианта скоростной платформы без датчиков СБТ, принимая во внимание направления клиентоориентированности холдинга «РЖД» при работе с клиентами в условиях волатильной экономики [10].

Респондентам был задан вопрос: «Какой параметр, отражаемый в СБТ, наиболее важен для Вас?»

Как видно на рис. 8, наибольшие оценки получили такие параметры как онлайн-контроль скорости доставки и дислокации вагона, сохранность подвижного состава и сохранность груза (запорно-пломбировочного устройства). Их необходимо учесть при выработке адаптированных версий опций для каждой группы респондентов.

Респондентам был задан вопрос: «Расставьте, пожалуйста, по убыванию приоритета, начиная с самого важного, параметры элементов вагона, которые **ОБЯЗАТЕЛЬНО ДОЛЖНЫ** контролироваться СБТ с онлайн-привязкой к месту и времени». На рис. 9 показано среднее значение важности параметров одного из элементов вагона – тележки, на рис. 10 – диаграмма распределения ответов респондентов о важности отслеживания того или иного параметра при различных видах эксплуатационной работы. Особую важность это приобретает при организации тяжеловесного движения и требует решения целого комплекса вопросов по оценке стоимости жизненного цикла верхнего строения пути [11–14].

По результатам анализа полученных ответов о функционале вагона были сформулированы четыре варианта линейки опций для скоростной платформы «глазами» каждой группы респондентов в базовом, расширенном и максимальном пакетах.

Приведем полученные по итогам анкетирования версии.

В сводном виде версии линейки опций глазами респондентов представлены в табл. 1, 2. Для сравнения приведены мнения операторов (табл. 1) и экспертов (табл. 2). По итогам пред-

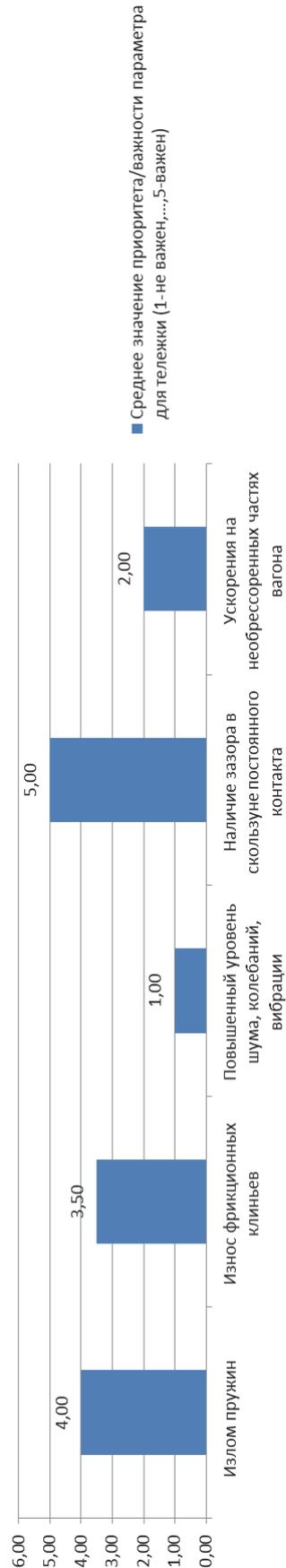


Рис. 9. Среднее значение важности параметров тележки

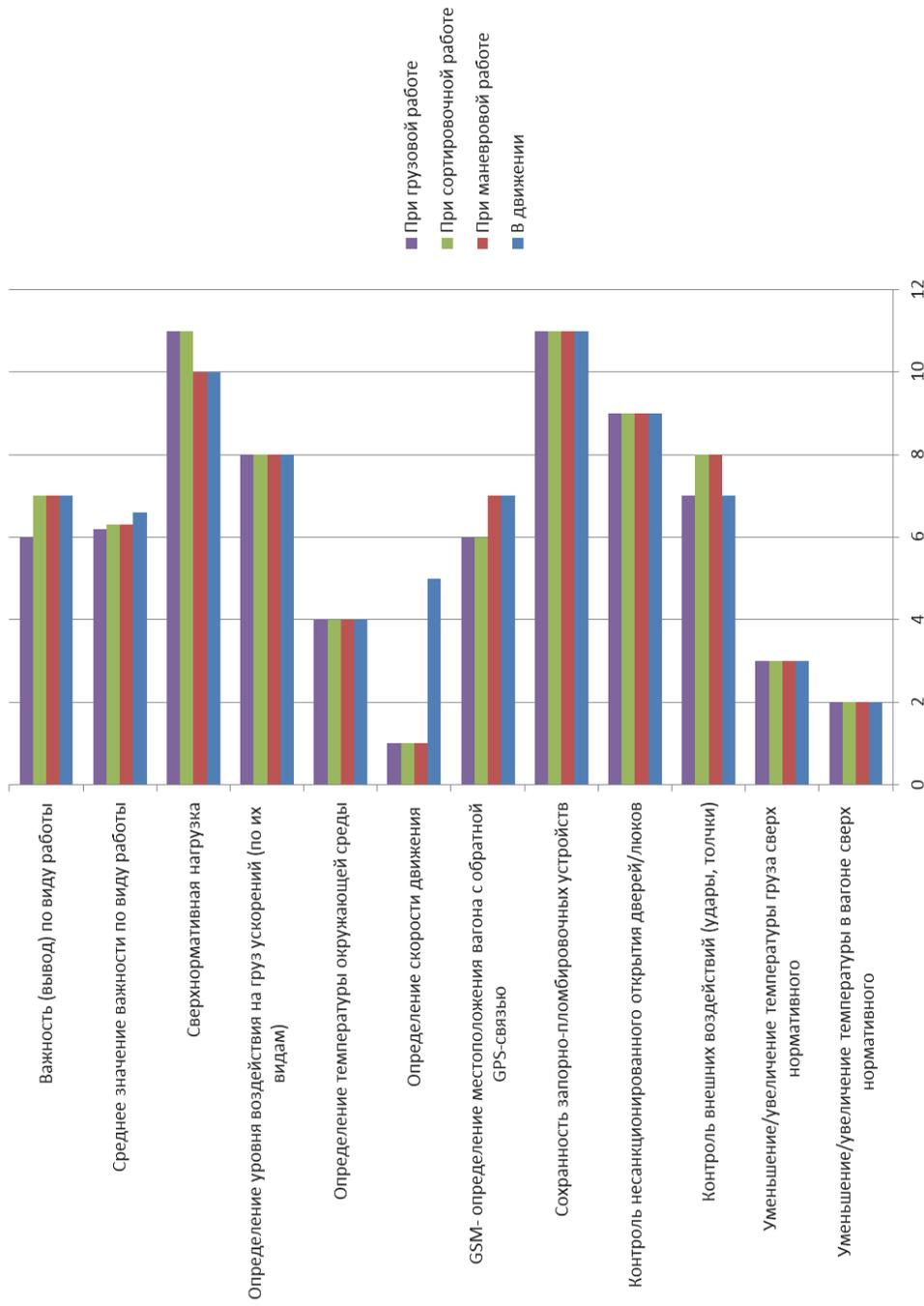


Рис. 10. Важность отслеживания того или иного параметра при различных видах эксплуатационной работы

ТАБЛИЦА 1. Версии линеек опций по мнению операторов

Базовая версия глазами операторов	Расширенная версия глазами операторов	Максимальная версия глазами операторов
Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
Сход с рельсов	Сход с рельсов	Сход с рельсов
	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
	Толщина гребня колеса	Толщина гребня колеса
	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)
		Извилистое движение колесных пар
Оptionальные параметры тележки		
Излом пружин	Излом пружин	Излом пружин
Износ фрикционных клиньев	Износ фрикционных клиньев	Износ фрикционных клиньев
	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
	Наличие зазора в скользуне постоянного контакта	Наличие зазора в скользуне постоянного контакта
		Ускорения на необрессоренных частях вагона
Оptionальный параметр тормозной системы		
		Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
Оptionальный параметр автосцепного устройства		
	Неисправность поглощающего аппарата	Неисправность поглощающего аппарата
Оptionальные параметры кузова		
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков

Продолжение табл. 1

Базовая версия глазами операторов	Расширенная версия глазами операторов	Максимальная версия глазами операторов
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств
Сверхнормативная нагрузка	Сверхнормативная нагрузка	Сверхнормативная нагрузка
	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)
		Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного
		Уменьшение/увеличение температуры груза сверх нормативного
		GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью
		Определение скорости движения
		Определение температуры окружающей среды
		Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)
Оptionальные параметры колесной пары		
Толщина гребня колеса	Толщина гребня колеса	Толщина гребня колеса
Сход с рельсов	Сход с рельсов	Сход с рельсов
	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)
	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
		Извилистое движение колесных пар
Оptionальные параметры тележки		
Излом пружин		Излом пружин
Износ фрикционных клиньев		Износ фрикционных клиньев

Окончание табл. 1

Базовая версия глазами операторов	Расширенная версия глазами операторов	Максимальная версия глазами операторов
		Наличие зазора в скользуне постоянного контакта
		Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
		Ускорения на необрессоренных частях вагона
Опциональный параметр тормозной системы		
	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
Опциональный параметр автосцепного устройства		
	Неисправность поглощающего аппарата	Неисправность поглощающего аппарата
Опциональные параметры кузова		
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств
	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)
		Сверхнормативная нагрузка
		Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного
		Уменьшение/увеличение температуры груза сверх нормативного
		GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью
		Определение скорости движения
		Определение температуры окружающей среды
		Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)

ТАБЛИЦА 2. Версии линеек опций по мнению экспертов – преподавателей вузов Росжелдора

Базовая версия глазами экспертов	Расширенная версия глазами экспертов	Максимальная версия глазами экспертов
Опциональные параметры колесной пары		
Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)	Дефекты поверхности катания (ползунов и др.) и места их образования (при роспуске, маневровой работе, погрузке/выгрузке груза, в движении)
	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
	Сход с рельсов	Сход с рельсов
		Толщина гребня колеса
		Извилистое движение колесных пар
Опциональные параметры тележки		
Излом пружин	Излом пружин	Излом пружин
Износ фрикционных клиньев	Износ фрикционных клиньев	Износ фрикционных клиньев
Ускорения на необрессоренных частях вагона	Ускорения на необрессоренных частях вагона	Ускорения на необрессоренных частях вагона
	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
		Наличие зазора в скользуне постоянного контакта
Опциональный параметр тормозной системы		
	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
Опциональный параметр автосцепного устройства		
Неисправность поглощающего аппарата	Неисправность поглощающего аппарата	Неисправность поглощающего аппарата
Опциональные параметры кузова		
Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков

Окончание табл. 2

Базовая версия глазами экспертов	Расширенная версия глазами экспертов	Максимальная версия глазами экспертов
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств
	Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного	Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного
	Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)	Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)
	Сверхнормативная нагрузка	Сверхнормативная нагрузка
		Уменьшение/увеличение температуры груза сверх нормативного
		GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью
		Определение скорости движения
		Определение температуры окружающей среды

ложены версии максимального и рекомендуемого состава (табл. 3–5).

По полученным результатам и средним оценкам важности каждого опционального параметра были разработаны базовая, расширенная и максимальная опционные пакеты для скоростной платформы в трех рабочих версиях: минимальная, максимальная, сбалансированная, отраженных в табл. 3–5 соответственно.

Анализ наличия платежеспособного спроса показал следующее.

По приведенным оценкам 39% респондентов согласны на увеличение стоимости каждого последующего пакета опций на 3%, 29% опрошенных – на 10%-ное, рис. 11.

Можно полагать, что потенциальный целевой сегмент рынка для скоростной платформы имеется и в дальнейшем при развитии опциональных линеек может быть расширен.

Заключение

Портрет типичного потребителя скоростной платформы, оснащенной СБТ, следующий:

- оператор, оператор-собственник вагонов (по самопозиционированию в группе операторов такое сочетание составляет 71%; дает стабильно высокие оценки; активно отвечает на «свободные» вопросы (открытого типа); лоялен в 3/3 контрольных вопросах);
- средняя стоимость платформы – 2,8 млн руб.;
- средняя стоимость СБТ – 130–150 тыс. руб.;
- предпочитаемая версия опций – версия «глазами оператора», расширенная, с учетом рекомендуемой сбалансированной версии (расширенная);
- масштабы бизнеса – Россия – АТР – ЕС;

ТАБЛИЦА 3. Минимальная линейка опций скоростной платформы

Базовая версия	Расширенная версия	Максимальная версия
Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
Сход с рельсов	Сход с рельсов	Сход с рельсов
Износ фрикционных клиньев	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Износ фрикционных клиньев	Дефекты поверхности катания
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Излом пружин	Износ фрикционных клиньев
	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Излом пружин
	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Наличие зазора в скользуна постоянного контакта
	Сверхнормативная нагрузка	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
		Неисправность поглощающего аппарата
		Контроль несанкционированного открытия дверей/люков
		Сохранность запорно-пломбировочных устройств
		Сверхнормативная нагрузка
		Контроль внешних воздействий (удары, толчки)

ТАБЛИЦА 4. Максимальная линейка опций скоростной платформы

Базовая версия	Расширенная версия	Максимальная версия
Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
Дефекты поверхности катания	Дефекты поверхности катания	Дефекты поверхности катания
Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
Сход с рельсов	Сход с рельсов	Сход с рельсов
Излом пружин	Извилистое движение колесных пар	Извилистое движение колесных пар
Износ фрикционных клиньев	Излом пружин	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
Наличие зазора в скользуна постоянного контакта	Износ фрикционных клиньев	Толщина гребня колеса

Окончание табл. 4

Базовая версия	Расширенная версия	Максимальная версия
Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Наличие зазора в скользуе постоянного контакта	Излом пружин
Неисправность поглощающего аппарата	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации	Износ фрикционных клиньев
Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Наличие зазора в скользуе постоянного контакта
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Неисправность поглощающего аппарата	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Ускорения на необрессоренных частях вагона
GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Неисправность поглощающего аппарата
Сверхнормативная нагрузка	GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)
	Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков
	Сверхнормативная нагрузка	Сохранность запорно-пломбировочных устройств
	Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного	GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью
	Определение скорости движения	Определение уровня воздействия на груз ускорений (по их видам)
		Сверхнормативная нагрузка
		Уменьшение/увеличение температуры в вагоне сверх нормативного
		Определение скорости движения
		Уменьшение/увеличение температуры груза сверх нормативного
		Определение температуры окружающей среды

ТАБЛИЦА 5. Рекомендуемая сбалансированная линейка опций скоростной платформы

Базовая версия	Расширенная версия	Максимальная версия
Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару	Превышение нагрузки на колесную пару
Сход с рельсов	Сход с рельсов	Сход с рельсов
Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла	Сверхнормативный нагрев буксового узла
	Дефекты поверхности катания	Дефекты поверхности катания
	Вариативно: контроль комплекса геометрических параметров	Повышенный уровень шума, колебаний, вибрации
	Вариативно: определение и классификация дефектов поверхности катания	Извилистое движение колесных пар
Износ фрикционных клиньев	Износ фрикционных клиньев	Вариативно: контроль комплекса геометрических параметров
Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Излом пружин	Износ фрикционных клиньев
Неисправность поглощающего аппарата	Вариативно: контроль динамики нагрузок на среднюю тележку	Излом пружин
Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного	Наличие зазора в скользящем постоянном контакте
Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Вариативно: контроль плотности тормозной сети	Вариативно: контроль динамики нагрузок на среднюю тележку
	Вариативно: контроль качества работы электронного пневматического тормоза	Уменьшение/увеличение тормозного нажатия сверх нормативного
	Неисправность поглощающего аппарата	Неисправность поглощающего аппарата
	Вариативно: датчик контроля саморасцепа	Вариативно: датчик контроля саморасцепа
	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков	Контроль несанкционированного открытия дверей/люков
	Сохранность запорно-пломбировочных устройств	Сохранность запорно-пломбировочных устройств
	Сверхнормативная нагрузка	Сверхнормативная нагрузка
	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)	Контроль внешних воздействий (удары, толчки)

Базовая версия	Расширенная версия	Максимальная версия
	Вариативно: датчик образования смерзаемости (для сыпучих грузов)	Уменьшение/увеличение температуры груза сверх нормативного
		GSM-определение местоположения вагона с обратной GPS-связью
		Определение скорости движения
		Вариативно: датчик образования смерзаемости (для сыпучих грузов)

Какая разница в стоимости между разными опционными пакетами приемлема для Вас?



Рис. 11. Оценка респондентов приемлемой разницы в стоимости между разными опциональными версиями

• важные параметры для контроля СБТ – онлайн-контроль скорости доставки и дислокации вагона, сохранность подвижного состава (сход с рельсов, наличие зазора в скользунах постоянного контакта, сверхнормативная нагрузка).

Таким образом, выполненное маркетинговое исследование обладает прикладным значением. Полученные результаты могут применяться при выходе на рынок в части установления опциональных линеек исполнения скоростной платформы и стоимости.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на более детальное изучение сегментов рынка с выработкой наилучших ценовых и функционально-опционных решений для конечного целевого потребителя.

Библиографический список

1. Бороненко Ю.П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии перевозок высокодоходных грузов железнодорожным транспортом / Ю.П. Бороненко

ко // 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 РФ. – 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. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2015. – С. 45–53.

4. Pokrovskaya O. Terminalistics as the methodology of integrated assessment of transportation and warehousing systems / O. Pokrovskaya // MATEC Web of Conferences. 10th International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”, PTS 2018. – 2018. – P. 02014.

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

6. Титова Т. С. Экономическая эффективность увеличения грузоподъемности вагонов / Т. С. Титова, Ю. П. Бороненко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 5. – С. 55–61.

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. Бубнова Г. В. Транспортные коридоры и оси в евразийских коммуникациях / Г. В. Бубнова, А. А. Зенкин, П. В. Куренков // Логистика – евразийский мост : материалы 12-й Междунар. науч.-практич. конференции. – Красноярск : КрасГАУ, 2017. – С. 25–33.

9. Мохонько В. П. Ситуационное управление перевозочным процессом / В. П. Мохонько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Транспорт : наука, техника, управление : сб. ОИ/ВИНИТИ РАН. – 2004. – № 11. – С. 14–16.

10. 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 / Ed. by L. Shlossman. – Vienna, 2014. – P. 154–175.

11. Косенко С. А. Оценка стоимости жизненного цикла верхнего строения пути для различных ремонтных схем и промежуточных рельсовых скреплений / С. А. Косенко, С. С. Акимов, С. В. Богданович, И. К. Соколовский // Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщения. – 2020. – № 2 (53). – С. 92–100.

12. Соколов О. М. Мониторинг эксплуатационной работы дифференцированно термоупрочненных рельсов на Западно-Сибирской железной дороге / О. М. Соколов, С. А. Косенко, С. С. Акимов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VIII Междунар. науч.-практич. конференции. – Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2017. – С. 473–478.

13. Косенко С. А. Оценка влияния промежуточных скреплений на интенсивность износа рельсов в кривых / С. А. Косенко, А. А. Акимов // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика : материалы Междунар. науч.-практич. конференции : в 3 ч. Ч. 1. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2018. – С. 32–40.

14. Косенко С. А. Технич.-экономическое обоснование устройства защитных подбалластных слоев из грунтобетона при тяжеловесном движении поездов / С. А. Косенко, И. А. Котова, С. С. Акимов // Вестн. Томск. архитектурно-строит. ун-та. – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 161–174.

Дата поступления: 29.01.2021

Решение о публикации: 13.06.2021

Контактная информация:

БОРОНЕНКО Юрий Павлович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой; boron49@yandex.ru

ПОКРОВСКАЯ Оксана Дмитриевна – д-р техн. наук, проф.; inisight1986@inbox.ru

ТИТОВА Тамара Семеновна – д-р техн. наук, проф., первый проректор – проректор по научной работе; titova@pgups.ru

ШЕВЧЕНКО Денис Владимирович – канд. техн. наук, директор исследовательского департамента, зам. исполнит. директора;

dshevchenko@tt-center.ru

The results of marketing research on the options of a “smart” high-speed platform*

Yu. P. Boronenko¹, O. D. Pokrovskaya¹, T. S. Titova¹, D. V. Shevchenko²

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

² All-Union Research Center for Transport Technologies (VNICTT LLC), 22, lit. A, Petrogradskaya embankment, Saint Petersburg, 197046, Russian Federation

For citation: Boronenko Yu. P., Pokrovskaya O. D., Titova T. S., Shevchenko D. V. The results of marketing research on the options of a “smart” high-speed platform. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 353–376. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-353-376

Summary

Objective: To compose a portrait of a typical consumer for various optional lines of equipping a high-speed platform car (“smart” car) with an on-board telemetry system. **Methods:** The means and methods of marketing, rolling questioning, statistical processing of information, comparison, general systems theory, systemic and economic analyzes, logistics, terminology, visualization are used. **Results:** Optional lines have been developed for each variant of the technical design of the car, based on the results of processing the questionnaires of the respondents, a portrait of a typical consumer has been compiled; some recommendations on the composition of options in each version of the high-speed platform have been made. **Practical importance:** The results obtained can be applied when entering the market in terms of establishing optional lines for the design of a high-speed platform and cost. Further research should be aimed at a more detailed study of market segments with the development of the best price and functional-option solutions for the final target consumer.

Keywords: “Smart” car, high-speed platform, innovative car, on-board telemetry system, optional line, technical design, marketing research.

References

1. Boronenko Yu. P. Strategicheskiye zadachi vagonostroiteley v razvitii perevozok vysokodokhodnykh gruzov zheleznodorozhnym transportom [Strategic tasks of car builders in the development of high-yield cargo transportation by rail]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty*. Materialy XII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsii, Sankt-Peterburg, 5–9 iyulya 2017 g. [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Materials of the 12th International Scientific and Technical Conference, St. 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 razvitii tyazhelovesnogo dvizheniya [The strategic objectives of car builders in the development of heavy-haul traffic]. *Transport RF [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 swap bodies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty*. Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS

* The investigation is carrying out of the Emperor Alexander I Petersburg State Transport University on order of VNICTT LLC in 2019.

[Petersburg State Transport University] Publ., 2015, pp. 45–53. (In Russian)

4. 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, 2018, p. 02014.

5. Pokrovskaya O. D. *Kompleksnaya otsenka transportno-skladskikh sistem zheleznodorozhnogo transporta*. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk, spetsial’nost’: 05.22.08 [Comprehensive assessment of railway transport and storage systems. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty: 05.22.08]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 377 p. (In Russian)

6. Titova T. S. & Boronenko Yu. P. Ekonomicheskaya effektivnost’ uvelicheniya gruzopod’ymnosti vagonov [Economic efficiency of increasing the carrying capacity of wagons]. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport]*, 2018, no. 5, pp. 55–61. (In Russian)

7. Kurenkov P. V., Preobrazhensky D. A., Astafiev A. V., Kakhriyanova D. G. & Volkova S. A. Sinkhromodal’nyye perevozki i trimodal’nyye terminaly kak perspektivnyye napravleniya razvitiya logisticheskikh tekhnologiy [Synchronomodal transportation and trimodal terminals as promising directions of development of logistics technologies]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye [Transport: science, technology, management]*, 2018, no. 11, pp. 13–17. (In Russian)

8. Bubnova G. V., Zenkin A. A. & Kurenkov P. V. Transportnyye koridory i osi v yevraziyskikh kommunikatsiyakh [Transport corridors and axes in Eurasian communications]. *Logistika – yevraziyskiy most*. Materialy 12-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Logistics – the Eurasian bridge. Materials of the 12th International Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk, KrasGAU [Krasnoyarsk State Agrarian University] Publ., 2017, pp. 25–33. (In Russian)

9. Mokhonko V. P., Isakov V. S. & Kurenkov P. V. Situatsionnoye upravleniye perevozochnym protsessom [Situational management of the transportation process]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*. Sb. OI/VINITI RAN [Transport: science, technology, management], 2004, no. 11, pp. 14–16. (In Russian)

10. Pokrovskaya O. D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of

the regions. *Sustainable economic development of regions*. Ed. by L. Shlossman. Vienna, 2014, pp. 154–175.

11. Kosenko S. A., Akimov S. S., Bogdanovich S. V. & Sokolovskiy I. K. Otsenka stoimosti zhiznennogo tsikla verkhnego stroyeniya puti dlya razlichnykh remontnykh skhem i promezhutochnykh rel’sovykh skrepleny [Estimation of the cost of the life cycle of the track superstructure for various repair schemes and intermediate rail fastenings]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of the Siberian State Transport University]*, 2020, no. 2 (53), pp. 92–100. (In Russian)

12. Sokolov O. M., Kosenko S. A. & Akimov S. S. Monitoring ekspluatatsionnoy raboty differentsirovannogo termouprochnennykh rel’sov na Zapadno-Sibirskoy zheleznoy doroge [Monitoring of operational work of differentially heat-strengthened rails on the West Siberian railway]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of the 8th international scientific and practical conference]. Irkutsk, IrGUPS [Irkutsk State Transport University] Publ., 2017, pp. 473–478. (In Russian)

13. Kosenko S. A. & Akimov A. A. Otsenka vliyaniya promezhutochnykh skrepleny na intensivnost’ iznosa rel’sov v krivykh [Assessment of the influence of intermediate fasteners on the intensity of rail wear in curves]. *Innovatsionnyye faktory razvitiya transporta. Teoriya i praktika*. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 3 ch. Ch. 1 [Innovative factors in the development of transport. Theory and practice. Materials of the International Scientific and Practical conference. In 3 parts. Pt 1]. Novosibirsk, SGUPS [Siberian State Transport University] Publ., 2018, pp. 32–40. (In Russian)

14. Kosenko S. A., Kotova I. A. & Akimov S. S. Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye ustroystva zashchitnykh podballastnykh slojev iz gruntobetona pri tyazhelovesnom dvizhenii poyezdov [Feasibility study for the construction of protective sub-ballast layers of soil concrete during heavy train traffic]. *Vestnik Tomskogo arkhitekturno-stroitel’nogo universiteta [Bulletin of the Tomsk University of Architecture and Civil Engineering]*, 2021, vol. 23, no. 1, pp. 161–174. (In Russian)

Received: January 29, 2021

Accepted: June 13, 2021

Authors' information:

Yuri P. BORONENKO – D. Sci. in Engineering,
Professor, Head of the Department;

boron49@yandex.ru

Oksana D. POKROVSKAYA – D. Sci. in Engineering,
Professor; inisight1986@inbox.ru

Tamila S. TITOVA – D. Sci. in Engineering, Professor,
First Vice-Rector – Vice-Rector for Research;
titova@pgups.ru

Denis V. SHEVCHENKO – PhD in Engineering,
Director of Research Department, Deputy Executive
Director; dshevchenko@tt-center.ru

УДК 75

Междисциплинарность и концептуализация в учебном процессе на кафедре «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения

В. П. Быков¹, В. В. Быков², Г. И. Тихомиров¹

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

² ООО «Ракурс», 198095, Санкт-Петербург, Химический пер., д. 1, корп. 2

Для цитирования: Быков В. П., Быков В. В. Тихомиров Г. И. Междисциплинарность и концептуализация на кафедре: «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3 – С. 377–384.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-377-384

Аннотация

Цель: Рассматривается вопрос совершенствования учебного процесса подготовки инженеров-проектировщиков для машиностроения на основе «Всемирной декларации о высшем образовании для XXI века: подходы и практические меры», рекомендовавшей использование междисциплинарности и трансдисциплинарности, затрагивается и концептуализация проектирования. Повышение качества подготовки специалистов заставляет обращаться к современным методикам построения учебного процесса. Необходимость учета сложных взаимосвязей, в которых существуют объекты проектирования, приводит к необходимости введения междисциплинарного и трансдисциплинарного подходов. **Методы:** Междисциплинарность взаимовосполняет содержания отдельных дисциплин на основе единой методологии. Трансдисциплинарность заключается в оценке того или иного явления вне рамок какой-либо одной научной дисциплины, что способствует полноте познания окружающего мира. **Результаты:** Предлагаемые подходы к образованию способствуют закреплению получаемых знаний или, как говорят в профессиональной среде, увеличивают «остаточные знания», расширяют научное мировоззрение учащихся. **Практическая значимость:** Рассмотренные подходы используются в учебном процессе на кафедре подъемно-транспортных, путевых и строительных машин Петербургского государственного университета путей сообщения. На междисциплинарности уже основаны дисциплины «Основы научных исследований» и «Проектирование подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования». Методически они организованы так, что основы научных исследований рассматриваются в контексте проектирования, а проектирование – в контексте научных исследований. С трансдисциплинарным подходом решаются задачи концептуализации объектов проектирования машин и самой методики проектирования.

Ключевые слова: Междисциплинарность, трансдисциплинарность, концептуализация, учебный процесс, проектирование, теория «С-К», распознавание.

С 5 по 9 октября 1998 г. в Париже состоялась Всемирная конференция ЮНЕСКО «Высшее образование в XXI веке: подходы и практические меры». На конференции была принята «Всемирная декларация о высшем образовании для XXI века: подходы и практические меры». На ней отмечалось, в частности, что для совершенствования учебных процессов «необходимо поощрять и укреплять новаторство, междисциплинарность и трансдисциплинарность программ, преследуя долгосрочную перспективу, ориентированную на достижение целей и удовлетворение потребностей в социальной и культурной сферах. Следует обеспечивать соответствующую сбалансированность между фундаментальными и целевыми исследованиями» (статьи 5 (а) и 6 (b)).

Междисциплинарность образовательного процесса основывается на взаимовосполнении содержания отдельных дисциплин на базе единой методологии. Такой подход способствует закреплению получаемых знаний или, как говорят в профессиональной среде, увеличению «остаточных знаний».

Трансдисциплинарность можно рассматривать как способ расширения научного мировоззрения, заключающийся в рассмотрении того или иного явления вне рамок какой-либо одной научной дисциплины. Трансдисциплинарный подход характеризуется полнотой познаний об окружающем мире. Он позволяет исследователям выходить за рамки своих профессиональных знаний, не будучи обвиненными в дилетантизме, полезен для рассмотрения малоизученных этапов проектирования – технического задания и технического предложения.

Термины «концепция», «концепт», «концептуальность» приобрели в настоящее время широкое распространение из-за необходимости мировоззренческого и ценностного самоопределения субъекта деятельности в условиях множественности возможных точек зрения на процесс и объект проектирования (ОП).

Подготовка инженеров-проектировщиков на кафедре «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения

строится на междисциплинарности, трансдисциплинарности и концептуализации. Создается онтология учебного процесса, дающая возможность установить наглядную связь основных понятий специальности, рассматриваемых в разных учебных дисциплинах.

Дисциплины «Основы научных исследований» (ОНИ) и «Проектирование подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования» уже построены на междисциплинарности. Методически они организованы так, что основы научных исследований рассматриваются в контексте проектирования, а проектирование – в контексте научных исследований. По учебному плану дисциплина ОНИ читается на IV курсе, «Проектирование...» – на V. В ОНИ, в частности, для оценки эмпирического, теоретического и логического методов исследования используются объекты из дисциплины «Проектирование...», в которой эти методы применяются. В обоих курсах затрагивается теория проектирования. До настоящего времени единой общепризнанной такой теории нет. Есть различные к ней подходы. В ОНИ показываются требования к некоторой совокупности знаний для образования из нее теории, а в курсе проектирования эти требования предъявляются к совокупности рассматриваемых в нем знаний. Таким образом, оба курса взаимно проникают и дополняют друг друга. В результате создаются условия для исследовательского проектирования [1], характеризующегося проведением научных исследований на всех стадиях разработки проекта. Так, на стадии технического задания анализируются требования к ОП, проводятся их систематизация и ранжирование по важности, формируются цели проектирования и на их основе устанавливаются признаки ОП. Затем на стадии технического предложения выполняются научный поиск вариантов ОП, принятие решения и его анализ. Для анализа используются знания, полученные при изучении основ научных исследований. На стадиях эскизного и технического проектов, рабочей документации применяется весь арсенал полученных студентами знаний. Конструирование проводится с помощью системы автоматизиро-

ванного проектирования с включением операций исследовательского характера.

1. Курс «Проектирование...» по действующему в университете учебному плану оказывается в числе завершающих учебный процесс. В нем используются знания всех пройденных общеобразовательных и специальных дисциплин. Конечно, такая трансдисциплинарность не претендует на полноту познания окружающего мира, ограничена объемом знаний, приобретаемых в университете по учебному плану, но в то же время она не исключает применение учащимися для рассмотрения тех или иных вопросов знаний, полученных ими в результате самостоятельной подготовки за рамками учебного плана.

2. Концептуализация в проектировании [2] в настоящее время стала труднейшей проблемой на пути создания объектов техники, отвечающих требованиям научно-технического прогресса. На решение этой проблемы направлены усилия многих ученых и инженеров во всем мире. На лекциях по проектированию учащиеся узнают о международных конференциях ICED (International Conference on Engineering Design), проходящих с периодичностью раз в два года в разных городах мира. В одной из них, прошедшей в 1993 г. в Гааге, принимали участие авторы статьи с докладом «The basic concepts of a methodology of designing technical objects». Уделялось внимание работе группы DT SIG (Special Interest Group) внутри дизайнерского сообщества, объединенной интересами в области теории проектирования.

Исследования в области методологии проектирования интенсивно развиваются, разрабатываются вычислительные средства для автоматизированной выработки концепций. Для этого применяются, в частности, коэволюционные подходы к генерации концепций с использованием генетического алгоритма*, динамическое программирование, модели Маркова и алгорит-

* Коэволюционный генетический алгоритм – это несколько параллельно действующих стандартных генетических алгоритмов с различными настройками основных параметров. Генетический алгоритм – это алгоритм ре-

мы, использующие архивные дизайнерские знания. Продолжаются работы по формированию специализированного языка проектирования, который должен определять функциональную и компонентную основы будущего объекта [3]. Большие возможности для концептуализации начальных стадий проектирования открывает теория «С-К».

Теория «С-К» (Concept- Knowledge), или теория Идей и Знаний, – общая теория инновационного проектирования, предложенная Армандом Хатчуелом в 1996 г. и доработанная им вместе с коллегами в 2002–2009 гг. [4] для создания новых идей (в пространстве Идей). Следует отметить, что в основе этой теории лежит утверждение о изначальной (неопределенности) конечного результата проектирования [5]. Фундаментальным инструментом такой теории можно назвать графическое представление пространств Идей и Знаний и их взаимосвязей. Одно из основных достоинств этой теории заключается в формальном описании творческих процессов при проектировании различных объектов, в том числе и ранее не существующих. Это позволяет формализовать методологию преодоления барьеров творческого мышления проектировщиков, которые заключаются в стереотипах, шаблонах и когнитивном диссонансе мышления [6]. Таким образом, «С-К» теория предлагает определенный алгоритм реализации «нестандартного» мышления при решении задач проектирования, чем она кардинально отличается от теорий и методов проектирования, основанных на «правилах». В этом отношении теория «С-К» наследует традиции Баухауса (*школа промышленного дизайна в Германии, 1919–1933*). Изучение курсов в Баухаусе, в частности вводных курсов, данных Иттенем, Клее и Кандинским, показали изощренность средств, используемых в процессе обучения молодых художников путем преодоления творческих барьеров и стереотипов в мышлении [7]. Один из ожидаемых результа-

шения задач с использованием методов естественной эволюции в природе.

тов использования теории заключается в понимании логики и формализации этих методов.

Математический аппарат теории основывается на методе «вынуждения», или, как его сегодня чаще всего называют в русскоязычной литературе, «форсинге». Метод был предложен американским математиком П. Коэном в 1960 г. в качестве особого способа доказательства существования моделей аксиоматических теорий в теории множеств [8]. В дальнейшем на основе метода Д. Скотом и Р. Соловеем была создана теория «булевозначных моделей», позволяющая упростить использование метода, предложенного П. Коэном [9].

Применительно к теории «С-К» форсинг реализует универсальный метод проектирования нового собрания множеств, которые отвечают желаемым свойствам, т. е. проектирования новых Идей (концепций) в отношении желаемого ОП [10].

Полноценных программных реализаций теории «С-К» в настоящее время не существует. Это связано с тем, что она работает с информацией на семантическом уровне, подразумевает «понимание» области функционирования ОП, предусматривает корреляции со смежными предметными областями, требует наличия баз знаний с семантическими интерфейсами доступа и систем, логической обработки информации, основанных на современных подходах к логике и теории множеств. Все это выходит за рамки текущего подхода к алгоритмам искусственного интеллекта и машинного обучения. В качестве перспективных направлений в области программной реализации теории «С-К» можно назвать ряд современных наработок по реализации когнитивных информационных систем – вопросно-ответные системы, «понимающих» не только семантику обрабатываемых данных, но и «смысл» обрабатываемой информации в конкретном контексте данных. Такие системы обеспечивают определение денотата (объект, ситуация...) в соответствии с доменом (предметной областью) и концептом (понятие, смысл...) [11]. Они позволяют, кроме обработки существующих данных и знаний, создавать новые данные и

знания, используя механизмы логического и статистического выводов. В качестве примера подобных систем возможно назвать комплекс IBM Watson – когнитивную систему поддержки принятия решений корпорации IBM, языки описания онтологий (OWL), стандартизованные модели представления данных (RDF – Resource Description Framework), семантическую сеть данных (Semantic Web), алгоритмы для автоматизированного построения моделей «случайного леса» решений и генеративные нейронные сети (например, GPT-3, DALL·E).

Сейчас «С-К» – практически единственная методология, формализующая «творчество» в процессе проектирования. Все это позволяет оценить ее перспективность для использования в проектировании. Кроме того, эта теория дает теоретическую платформу для создания автоматизированной системы проектирования в будущем на основе автоматизации когнитивных функций и элементов искусственного интеллекта. Теория «С-К» и многие другие подходы направлены на концептуализацию начальных стадий проектирования.

Ведутся исследования по концептуализации проектирования и в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I. К настоящему времени достигнуты обширные знания в области проектирования, которые следует систематизировать. Без этого невозможно ни готовить должным образом специалистов, ни повышать уровень автоматизации проектирования.

Знания становятся теорией тогда, когда имеют основополагающую концепцию, основные понятия, аксиомы.

Будем рассматривать концептуализацию методики проектирования и концептуализацию ОП. Для учебного процесса концептуализация методики проектирования должна дать целостное представление о ней, быть путеводной нитью, связующей все разделы учебной дисциплины, концептуализация ОП должна помочь выбору его структуры.

Что же может стать основополагающей концепцией проектирования? Ответ на этот вопрос

нужно искать в теории познания. В ходе проектирования познается, а лучше сказать распознается то, что должно существовать для удовлетворения определенной потребности. Отнесение проектирования к распознаванию может стать фундаментальным принципом (основополагающей концепцией) системы соответствующих знаний.

Распознающие системы широко используются в военном деле, медицине, геологии. В отличие от этих систем в проектировании распознается не то, что существует, а то, что должно существовать для удовлетворения определенной потребности. Традиционное распознавание и проектирование имеют общее в том, что и то, и другое построено на исследовании признаков ОП.

Большие системы распознавания, в том числе и система проектирования, имеют многоуровневую структуру. На каждом уровне (в проектировании на каждой стадии) действуют локальные подсистемы распознавания. Многоуровневое распознавание в проектировании лежит в основе Единой системы конструкторской документации.

На лекциях по дисциплине «Проектирование подъемно-транспортных, строительных и дорожных средств и оборудования» рассматриваются различные подходы к концептуализации: ассоциативные методы, метод контрольных вопросов, мозговой штурм, синектика, систематические методы (морфологический анализ, АРИЗ, обобщенный эвристический алгоритм), уделено внимание работе группы DT SIG, конференциям ICED.

Распознавание в проектировании начинается с определения и анализа требований к ОП. Они формируются исходя из общественных интересов на разном их уровне. Это могут быть интересы общечеловеческие, государственные, отраслевые, заказчика, проектной организации, личные. Наиболее важные требования образуют цели проектирования. Для их достижения ОП должен обладать признаками (свойствами), соответствующими целям проектирования. Признаки направляют поиск вариантов техническо-

го решения и формируют критерии для выбора лучшего из них, в наибольшей степени отвечающего целям проектирования.

На этапах многоуровневого проектирования ОП получает описание на языке признаков, образующее некоторое пространство. На последовательных этапах это пространство сужается, и поэтому проектирование можно рассматривать как процесс последовательных приближений. Каждый этап характеризуется собственным оператором, содержащим анализ и синтез.

Концептуализация ОП связана с определением его функциональной основы, потока функций, компонентной основы. Функциональная основа ОП состоит из его главной и частных функций. Главная выражает то, что должен выполнять ОП, частные – то, что даст возможность это делать. Если главная функция устанавливается сразу исходя из назначения ОП, то частные связаны с их распознаванием исходя из аналогов, приемов ТРИЗ, фондов функциональных основ, изобретательства конструкторов или в дальнейшем искусственного интеллекта. Поток функций выражается последовательным или параллельным выполнением частных функций. Под компонентной основой подразумеваются возможные средства реализации частных функций. Поскольку средства реализации каждой частной функции могут быть различны, возникают варианты ОП.

Дисциплина проектирования по учебному плану изучается в последнем учебном семестре. Учащиеся получили весь набор предусмотренных знаний. Это позволяет ставить в курсовой работе по дисциплине проектирования задачи, относящиеся к реальной инженерной деятельности. Студенты должны в ней выполнить концептуализацию ОП, заданного преподавателем или выбранного ими, самостоятельно с расчетом использовать его в последующей дипломной работе. Исходное задание таково, что предполагает многовариантность ОП. Каждый учащийся должен предложить не менее десяти различных вариантов технического решения, прибегая к любому из известных ему методов поиска технических решений. Чаще всего применяется морфологический метод. Из разрабо-

танных вариантов необходимо выбрать лучший, в большей степени отвечающий целям проектирования, по вытекающим из них критериям, используя матрицу решения.

Концептуализации посвящены работы расположенной на кафедре лаборатории «Методическое обеспечение САПР». В ней на основе исследований, проводимых авторами статьи и силами студентов старших курсов, создается программно-методический комплекс (ПМК) [12] для автоматизации начальных стадий проектирования: технического задания и технического предложения. Именно на них вырабатывается концепция ОП.

В последние годы все заметнее становится тенденция изготовления продукции «под заказ» вместо поставки ее «со склада», что заставляет использовать средства управления конфигурацией изделий. Однако многие компании предпочитают нанимать специалистов лишь на срок разработки производственной темы, сводя к минимуму штат постоянных сотрудников. В этих условиях проектные организации должны обладать способностью перенастраиваться на разработку новой продукции, не имея для нее квалифицированных специалистов. Такой способностью может обладать Гибкое автоматизированное конструкторское бюро (ГАКОБ), использующее трансформацию интуитивных знаний специалистов в явные. Это делает опыт немногих достоянием всего коллектива. Реализовать такие способности ГАКОБ можно с помощью ПМК, состоящей из операционной среды, независимой от предметной области и воплощающей методику проектирования на основе распознавания и базы знаний, входящей в экспертную систему. В ПМК используются нечеткие математические модели для построения алгоритмов начальных стадий проектирования, выполняемых в условиях многочисленных «не» факторов: недостаточная, недостоверная, неопределенная, нечеткая и другая подобная информация. Концептуализация ОП в ПМК построена на основе морфологического подхода.

В настоящее время в лаборатории методического обеспечения САПР ведутся работы по

созданию «Системы автоматизированного исследовательского проектирования (САИПР)» на основе САПР.

Библиографический список

1. Быков В. В. Исследовательское проектирование в машиностроении / В. В. Быков, В. П. Быков. – М. : Машиностроение, 2011. – 256 с.
2. Колесникова И. А. Педагогическое проектирование : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / И. А. Колесникова, М. П. Горчакова-Сибирская ; под ред. И. А. Колесниковой. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 288 с.
3. Bryant C. An interactive morphological matrix computational design tool: A hybrid of two methods / C. Bryant, M. Bohm, R. Stone, D. Mcadams // Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. – 2007. – Vol. 3: 19th International Conference on Design Theory and Methodology. 1st International Conference on Micro- and Nanosystems and 9th International Conference on Advanced Vehicle Tire Technologies. Pt A and B. Las Vegas, Nevada, USA. 4–7 September, 2007. – P. 249–261. <https://doi.org/10.1115/DETC2007-35583>
4. Hatchuel A. La théorie C–K: Fondements et usages d’une théorie unifiée de la conception / A. Hatchuel, B. Weil // Colloque Sciences de la conception. – Lyon. – 15–16 Mart, 2002. – URL: <http://www.spatialcomputing.org/~michel/lib/exe/fetch.php?media=documents-ro:hatchuelweil2002latheorieick.pdf> (дата обращения : 27.07.2021).
5. Brunet L. TRIZ, ASIT, CK connections and disconnections between three major theoretical frameworks on creativity / L. Brunet // Current opinion in creativity, innovation and entrepreneurship. – 2012. – Vol. 1. – N 2. – 1.10.11565/cuocient.v1i2.10
6. Le Masson P. Design theory – methods and organization for innovation / P. Le Masson, B. Weil, A. Hatchuel // Springer Nature. – 2017.
7. Le Masson P. Teaching at Bauhaus: improving design capacities of creative people? From modular to generic creativity in design-driven innovation / P. Le Masson, A. Hatchuel, B. Weil // 10th European Academy of Design

Conference : Crafting the Future, April 2013. – Gothenburg, Sweden : University of Gothenburg, 2013. – P. 23.

8. Коэн П. Дж. Теория множеств и континуум-гипотеза / П. Дж. Коэн. – М. : Мир, 1969. – 347 с.

9. Scott D. Boolean models and nonstandard analysis // Applications of model theory to algebra, analysis, and probability / D. Scott; ed. by W. Luxemburg. – New York : Holt, Rinehart, and Winston, 1969. – P. 87–92.

10. Hatchuel A. Towards an ontology of design: Lessons from C-K design theory and forcing / A. Hatchuel, B. Weil, P. Le Masson // Research in Engineering Design. – 2013. – Vol. 24. – P. 147–163.

11. Лаврищева Е. М. Теория объектно-компонентного моделирования программных систем / Е. М. Лаврищева. – М. : ИСП РАН, 2016. – 52 с.

12. Быков В. П. Программно-методический комплекс на начальных стадиях проектирования машин: учеб. пособие / В. П. Быков, В. В. Быков, Е. О. Пастуховский, А. Г. Иванов. – СПб. : ПГУПС, 2010. – 28 с.

Дата поступления: 17.05.2021

Решение о публикации: 15.06.2021

Контактная информация:

БЫКОВ Владислав Павлович, – канд. техн. наук, доц.; vlad_bykov@mail.ru

БЫКОВ Владимир Владиславович – директор по развитию; bykov@bk.ru

ТИХОМИРОВ Геннадий Иванович – канд. техн. наук, доц.; vlad_bykov@mail.ru

Interdisciplinarity and conceptualization in the educational process at the Department of “Hoisting-and-transport, track and construction machines” of Petersburg State Transport University

V. P. Bykov¹, V. V. Bykov², G. I. Tikhomirov¹

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

² LLC “Rakurs”, 1, korp. 2, Khimicheskiy lane, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

For citation: Bykov V. P., Bykov V. V., Tikhomirov G. I. Interdisciplinarity and conceptualization in the educational process at the Department of “Hoisting-and-transport, track and construction machines” of Petersburg State Transport University. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 377–384. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-377-384

Summary

Objective: The issue of improving the educational process of training design engineers for mechanical engineering is considered on the basis of the “World Declaration on Higher Education for the 21st century: Approaches and Practical Measures”, which recommended the use of interdisciplinarity and transdisciplinarity, the conceptualization of design is also touched upon. Improving the quality of training of specialists requires turning to modern methods of building the educational process. The need to take into account the complex relationships in which design objects exist leads to the need to introduce interdisciplinary and transdisciplinary approaches. **Methods:** Interdisciplinarity complements the content of individual disciplines based on a unified methodology. Transdisciplinarity consists in the assessment of a particular phenomenon outside the framework of any particular scientific discipline, which contributes to the completeness of the world perception. **Results:** The proposed approaches to education contribute to the consolidation of the acquired knowledge or, as they say in the professional environment, increase the “retained knowledge”, widen students’ scientific worldview. **Practical importance:** The approaches considered are used in the educational process at the Department of Hoisting-and-Transport, Track and Construction Machines of Petersburg State Transport University. The following disciplines are already based on interdisciplinarity: “Basics of Scientific Research” and “Design of Hoisting-and-Transport,

Construction, Road Means and Equipment”. Methodologically, they are organized in such a way that the basics of scientific research are considered in the context of designing, and designing – in the context of scientific research. With a transdisciplinary approach, the tasks of conceptualizing machine design objects and the design methodology itself are solved.

Keywords: Interdisciplinarity, transdisciplinarity, conceptualization, educational process, design, theory “C-K”, recognition.

References

1. Bykov V.V. & Bykov V.P. *Issledovatel'skoye proyektirovaniye v mashinostroyeniye* [Research design in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2011, 256 p. (In Russian)

2. Kolesnikova I.A. & Gorchakova-Sibirskaya M.P. *Pedagogicheskoye proyektirovaniye*. Uchebnoye posobiye dlya vysshikh uchebnykh zavedeniy [Pedagogical design. Textbook for higher educational institutions]. Ed. by I. A. Kolesnikova. Moscow, Publishing Center “Academy” Publ., 2005, 288 p. (In Russian)

3. Bryant C., Bohm M., Stone R. & Mcadams D. An interactive morphological matrix computational design tool: A hybrid of two methods. *Proceedings of the ASME International Design Engineering Conference*, 2007, vol. 3: *19th International Conference on Design Theory and Methodology, 1st International Conference on Micro- and Nanosystems and 9th International Conference on Advanced Vehicle Tire Technologies. Pt A and B*. Las Vegas, Nevada, USA, 4–7 September, 2007, pp. 249–261. <https://doi.org/10.1115/DETC2007-35583>

4. Hatchuel A. & Weil B. La théorie C-K: Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. *Colloque Sciences de la conception*. Lyon, 15–16 March, 2002. Available at: <http://www.spatialcomputing.org/~michel/lib/exe/fetch.php?media=documents-ro:hatchuel-weil2002latheorieck.pdf> (accessed: July 27, 2021).

5. Brunet L. TRIZ, ASIT, CK connections and disconnections between three major theoretical frameworks on creativity. *Current opinion in creativity, innovation and entrepreneurship*, 2012, vol. 1, no. 2. 1. 10.11565/cuo-cient.v1i2.10.

6. Le Masson P., Weil B. & Hatchuel A. Design theory – methods and organization for innovation. *Springer Nature*, 2017.

7. Le Masson P., Hatchuel A. & Weil B. Teaching at Bauhaus: improving design capacities of creative people?

From modular to generic creativity in design-driven innovation. *10th European Academy of Design Conference: Crafting the Future*, April 2013. Gothenburg, Sweden, University of Gothenburg Publ., 2013, p. 23.

8. Cohen P.J. *Teoria mnozhestv i continuum-gipoteza* [Set theory and continuum hypothesis]. Moscow, Mir Publ., 1969, 347 p. (In Russian)

9. Scott D. Boolean models and nonstandard analysis. *Applications of Model Theory to Algebra, Analysis, and Probability*. Ed. by W. Luxemburg. New York, Holt, Rinehart, and Winston Publ., 1969, pp. 87–92.

10. Hatchuel A., Weil B. & Le Masson P. Towards an ontology of design: Lessons from C-K design theory and forcing. *Research in Engineering Design*, 2012, vol. 24, pp. 147–163.

11. Lavrishcheva E.M. *Teoriya ob'yektno-komponentnogo modelirovaniya programmnykh sistem* [Theory of object-component modeling of software systems]. Moscow, ISP RAN [Institute for System Programming RAS] Publ., 2016, 52 p. (In Russian)

12. Bykov V.P., Bykov V.V., Pastukhovskiy E.O. & Ivanov A.G. *Programmno-metodicheskiy kompleks na nachal'nykh stadiyakh proyektirovaniya mashin*. Uchebnoye posobiye [Software-methodical complex at the initial stages of machine design. Study guide]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2010, 28 p. (In Russian)

Received: May 17, 2021

Accepted: June 15, 2021

Authors' information:

Vladislav P. BYKOV – PhD in Engineering, Associate Professor; vlad_bykov@mail.ru

Vladimir V. BYKOV – Development Director; bykov@bk.ru

Gennady I. TIKHOMIROV – PhD in Engineering; Associate Professor; vlad_bykov@mail.ru

УДК 656.22

Исследование характера процесса доставки партии контейнеров с тылового терминала в порт

Г. М. Groшев¹, А. Г. Котенко¹, Н. В. Климова², Н. Б. Федорова¹

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

² Санкт-Петербургский информационно-вычислительный центр, структурное подразделение Главного вычислительного центра филиала ОАО «РЖД», Российская Федерация, 192007, Боровая ул., 57

Для цитирования: Groшев Г. М., Котенко А. Г., Климова Н. В., Федорова Н. Б. Исследование характера процесса доставки партии контейнеров с тылового терминала в порт // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 385–392. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-385-392

Аннотация

Цель: Оценка необходимости исследования процесса доставки партии контейнеров с тылового терминала в порт для обеспечения бесперебойной связи тылового терминала и морского порта, подвода партии контейнеров точно в установленный срок. В качестве первоочередной задачи решается проблема анализа факторов, влияющих на характер процесса доставки. **Методы:** Применялись методы теории вероятности и математической статистики в части определения факторов, влияющих на характер процесса доставки. Использовался метод построения процессных моделей для создания технологической модели доставки контейнеров блок-поездом в порт. **Результаты:** Представлена технологическая модель доставки контейнеров блок-поездом. Построены диаграммы с долей основных отклонений от расписания контейнерных поездов по типам операций по службам движения, тяги, фирменного транспортного обслуживания. Выявлены основные факторы, влияющие на продолжительность отдельных операций с контейнерными блок-поездами в пути следования и увеличение срока доставки партии контейнеров с тыловых терминалов в морской порт в целом. Установлен случайный характер продолжительности доставки контейнеров блок-поездами, следующими по расписанию. **Практическая значимость:** Показана необходимость доработки методики выбора способа доставки контейнеров с тылового терминала в порт с помощью имитационного моделирования на основе выявленных факторов, оказывающих влияние на отдельные элементы технологической модели доставки контейнеров блок-поездом, отклонения от сроков доставки контейнеров, следование блок-поездов по расписанию.

Ключевые слова: Тыловой логистический терминал, блок-поезд, припортовая станция, контейнер, транспортно-логистический терминал, морской торговый порт, фитинговая платформа.

Введение

Согласно технологии организации движения контейнерных блок-поездов, перевозчик предоставляет собственникам подвижного состава специально выделенное для оператора расписание поезда и обязуется гарантированно доставить его вагоны до станции назначения по

ускоренному графику [1–5]. Данная услуга имеет ряд преимуществ для грузоотправителей, так как обеспечивает гарантированный завоз в морской порт или вывоз с его территории контейнерных партий в минимальный срок [6, 7]. Выполнение этого условия накладывает на исполнителя услуги – перевозчика – жесткие требования по выполнению сроков доставки.

Для обеспечения бесперебойной связи тылового терминала и морского порта для подвоза партии контейнеров точно в установленный срок требуется исследование характера процесса доставки.

Технология обработки состава при организации движения контейнерного блок-поезда

Цикл работы состава контейнерного блок-поезда включает в себя операции, производимые на путях тылового логистического терминала (ТЛТ) погрузки и отправления блок-поезда, станции примыкания терминала, в пути следования по железнодорожным участкам, на припортовой станции прибытия блок-поезда и на путях морского торгового порта (МТП) (рисунк).

Продолжительность цикла работы состава складывается из времени нахождения состава в груженом и порожнем состояниях на путях ТЛТ ($T_{б/п}^{ТЛТ}$), железнодорожной станции примыкания ТЛТ ($T_{грб/п}^{ст.ТЛТ}$, $T_{порб/п}^{ст.ТЛТ}$), припортовой станции ($T_{грб/п}^{прип.ст}$, $T_{порб/п}^{прип.ст}$), на путях МТП ($T_{б/п}^{МТП}$);

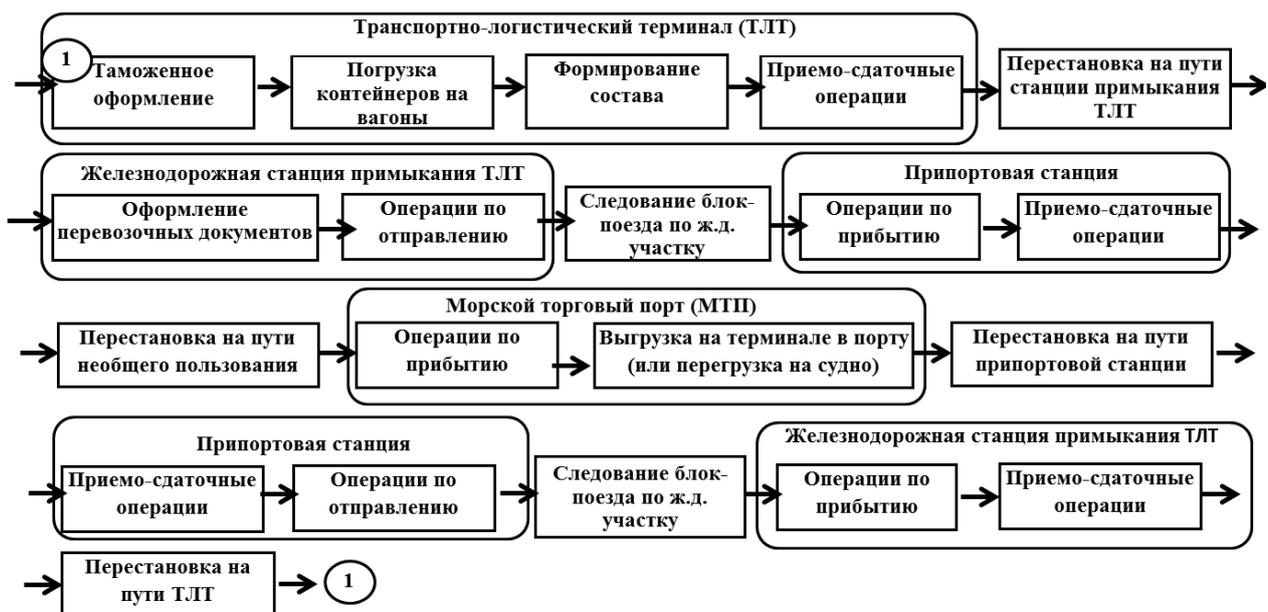
времени на перестановку с путей станции на пути ТЛТ, МТП и обратно ($T_{грб/п}^{ТЛТ пер}$, $T_{порб/п}^{ТЛТ пер}$, $T_{грб/п}^{МТП пер}$, $T_{порб/п}^{МТП пер}$), а также времени на перемещение между железнодорожными станциями ($T_{грб/п}^{уч}$, $T_{порб/п}^{уч}$) [8]:

$$T_{б/п}^{ц} = T_{б/п}^{ТЛТ} + T_{грб/п}^{ТЛТ пер} + T_{грб/п}^{ст.ТЛТ} + T_{грб/п}^{уч} + T_{грб/п}^{прип.ст} + T_{грб/п}^{МТП пер} + T_{б/п}^{МТП} + T_{порб/п}^{МТП пер} + T_{порб/п}^{прип.ст} + T_{порб/п}^{уч} + T_{порб/п}^{ст.ТЛТ} + T_{порб/п}^{ТЛТ пер}.$$

Для качественного и экономически выгодного для всех участников перевозки партии контейнеров блок-поездом предоставления такой услуги требуется четкое прогнозирование времени доставки [9].

Факторы, влияющие на характер процесса доставки

Одним из факторов, влияющих на характер процесса доставки, являются сбои (отклонения от установленного графика) в пропуске поездов



Существующая технологическая модель доставки контейнеров блок-поездом

по расписанию на железнодорожных станциях. Сбои возникают по вине различных подразделений.

По текущим данным наибольшее количество отклонений в движении приходится на операции по ожиданию отправления со станции – 47% и неприем станцией – 33% (табл. 1).

В основе непроизводительного простоя лежат определенные причины:

1) в ожидании отправления – неявка, подмена, ожидание и смена локомотивной бригады, превышение нормы времени нахождения на станции, ожидание отправления, сбой графика движения, не выдача локомотивов из эксплуатационного депо, ожидание прибытия (смена локомотивов и локомотивных бригад);

2) неприем станцией – поступление с опозданием, сгущение потока после «окон»;

3) непроизводительный простой на станции в ожидании нитки вариантного графика – сбой графика движения, удаление грузовых поездов и смена локомотивных бригад;

4) ввод недостоверной информации в автоматизированные системы – изменение маршрута следования поезда, как следствие привязка к другой нитке (некорректное, неверное нормативное расписание).

По текущим данным 50% отклонений в тяговом хозяйстве приходится на операции по несвоевременной явке локомотивной бригады ко времени отправления поезда (табл. 2).

К причинам такого непроизводительного простоя в тяговом хозяйстве относятся:

– неграфиковая смена локомотивных бригад и связанный с ней поздний выход бригады на контрольный пункт, что ведет к сбою как движения, так и его графика;

– невыдержка времени хода/остановка по вине локомотивной бригады – проба тормозов более нормы в связи с неравномерностью крана машиниста, изменение порядка пропуска, позднее прибытие, сбой в движении;

– невыдача локомотива из эксплуатационного депо – из-за изменения порядка пропуска на участке, задержка на станции по причине неявки локомотивной бригады ко времени отправления поезда, не своевременная выдача локомотива, сбой в движении благодаря неисправности локомотива и ввиду оказания помощи поезду, ремонт локомотива.

По текущим данным наибольшее количество отклонений в зоне ответственности системы фирменного транспортного обслуживания приходится на неприем станцией и превышение нормы времени коммерческого осмотра – по 37% (табл. 3).

Причины отклонений от расписания контейнерных поездов по причине сбоев в системе фирменного транспортного обслуживания следующие:

1) неприем станцией – неравномерная погрузка в адрес получателя, станция отсутствует

ТАБЛИЦА 1. Доля основных отклонений от расписания контейнерных поездов по типам операций

Наименование операций	Количество случаев	Доля, %
Ожидание отправления	1504	47
Неприем станцией	1066	33
Непроизводительный простой на станции в ожидании нитки вариантного графика	122	4
Ввод недостоверной информации в автоматизированные системы	110	3
Прочее	415	13
Итого	3217	100

ТАБЛИЦА 2. Доля основных отклонений от расписания контейнерных поездов по типам операций

Наименование операций	Количество случаев	Доля, %
Неявка локомотивной бригады ко времени отправления поезда	516	50
Не выдержка времени хода/остановка по вине локомотивной бригады	338	33
Невыдача локомотива из эксплуатационного депо на график	180	17
Итого	1034	100

ТАБЛИЦА 3. Доля основных отклонений от расписания контейнерных поездов по типам операций в зоне ответственности системы фирменного транспортного обслуживания

Наименование операций	Количество случаев	Доля, %
Неприем станцией	10	37
Превышение нормы времени коммерческого осмотра	10	37
Ожидание отправления	7	26
Итого	27	100

в плане подвода поездов (отставлен от движения);

2) превышение норм времени коммерческого осмотра – позднее выставление состава локомотивом грузоотправителя, ожидание окончания коммерческого осмотра, несвоевременное выставление маршрута грузоотправителем;

3) ожидание отправления – неравномерная погрузка в адрес получателя, позднее выставление маршрута грузоотправителем.

Определение влияния факторов на элементы математической модели доставки контейнеров с ТЛТ в порт

Рассмотрим влияние факторов на доставку партии контейнеров в порт (следование в грузе в состоянии).

Время нахождения состава блок-поезда на путях (ТЛТ) в грузе в состоянии представим следующим выражением [10, 11]:

$$T_{гр.б/п}^{ТЛТ} = t_{б/п}^{погр} + t_{б/п}^{ф\ ТЛТ} + t_{б/п}^{оф\ ТЛТ} + t_{б/п}^{пр-сд\ ТЛТ},$$

где $t_{б/п}^{погр}$ – время погрузки контейнеров на фитинговые платформы на путях ТЛТ; $t_{б/п}^{ф\ ТЛТ}$ – время на формирование блок-поезда на путях ТЛТ; $t_{б/п}^{оф\ ТЛТ}$ – время на оформление документов, в том числе завершение таможенного оформления, при нахождении блок-поезда на путях ТЛТ; $t_{б/п}^{пр-сд\ ТЛТ}$ – время на приемо-сдаточные операции на путях ТЛТ.

На продолжительность операций, производимых на путях ТЛТ, может оказывать влияние вынужденное превышение норм времени на коммерческий осмотр состава в зоне ответственности системы фирменного транспортного обслуживания, так как на путях ТЛТ производятся приемо-сдаточные операции.

По причине сбоев в системе фирменного транспортного обслуживания также может возникать непроизводительный простой при отправлении состава с путей ТЛТ на пути станции его примыкания.

Время нахождения состава блок-поезда на путях станции примыкания ТЛТ определим по формуле

$$T_{гр.б/п}^{ст.ТЛТ} = t_{б/п}^{оф.ст.ТЛТ} + t_{б/п}^{ост.ТЛТ},$$

в которой $t_{б/п}^{оф.ст.ТЛТ}$ – время на оформление перевозочных документов на станции примыкания ТЛТ; $t_{б/п}^{ост.ТЛТ}$ – время на операции по отправлению блок-поезда со станции примыкания ТЛТ.

Были выявлены задержки времени нахождения состава на путях станции примыкания ТЛТ по вине подразделений службы движения (простой в ожидании отправления, задержка на станции в ожидании нитки вариантного графика) и тягового хозяйства (неявка локомотивной бригады ко времени отправления поезда, невыдача локомотива из эксплуатационного депо на график).

Найдем затраты времени на следование блок-поезда по железнодорожным участкам в узле между станцией примыкания ТЛТ и припортовой станцией:

$$T_{б/пгр}^{уч} = \frac{L_{б/пгр}^M}{v_{б/п}^{уч}} + n_{ст} \cdot t_{б/п}^{тех\ ср},$$

здесь $L_{б/пгр}^M$ – длина маршрута следования блок-поезда в груженом состоянии, км; $v_{б/п}^{уч}$ – участковая скорость движения блок-поезда, км/ч; $n_{ст}$ – количество технических станций на участках следования блок-поезда; $t_{б/п}^{тех\ ср}$ – среднее время на операции на технической станции, ч.

На время следования оказывают влияние ошибки при вводе недостоверной информации в автоматизированные системы диспетчерским аппаратом и не выдержка времени хода/остановка по вине локомотивной бригады.

Время нахождения состава блок-поезда на путях припортовой станции определим по формуле

$$T_{гр.б/п}^{прип.ст} = t_{б/п}^{приб\ прип.ст} + t_{б/п}^{пр-сд\ прип.ст},$$

ТАБЛИЦА 4. Факторы, влияющие на увеличение срока доставки партии контейнеров в порт

Операции с составом блок-поезда	Время совершения операций	Факторы, влияющие на увеличение продолжительности операций	Ответственные подразделения
Приемо-сдаточные операции на путях ТЛТ	$t_{б/п}^{пр-сд\ ТЛТ}$	Превышение норм времени коммерческого осмотра	ТЦФТО
Перемещение состава между ТЛТ и станцией	$T_{гр\ б/п}^{ТЛТ\ пер}$	Ожидание отправления	ТЦФТО
Операции по отправлению блок-поезда со станции примыкания ТЛТ	$t_{б/п}^{ост.ТЛТ}$	В ожидании отправления. Непроизводительный простой на станции в ожидании нитки вариантного графика	Д
		Неявка локомотивной бригады ко времени отправления поезда; невыдача локомотива из эксплуатационного депо на график	Т
Следование блок-поезда по железнодорожным участкам в узле между станцией примыкания ТЛТ и припортовой станцией	$T_{б/пгр}^{уч}$	Ввод недостоверной информации в автоматизированные системы	Д
		Не выдержка времени хода/остановка по вине локомотивной бригады	Т
Операции по прибытию	$t_{б/п}^{приб\ прип.ст}$	Неприем станцией	Д

Примечание. Подразделения: ТЦФТО – территориальный центр фирменного транспортного обслуживания, Д – служба движения, Т – служба тяги.

где $t_{\delta/\Pi}^{\text{приб.ст}}$ – время на операции по прибытию; $t_{\delta/\Pi}^{\text{пр-сд.прип.ст}}$ – время на приемо-сдаточные операции.

На путях припортовой станции часто происходит непроизводительный простой проведения операций по прибытию из-за неготовности станции к приему поезда.

В табл. 4 приведены все основные факторы, влияющие на увеличение срока доставки партии контейнеров в порт контейнерными блок-поездами.

Заключение

На протяжении маршрута следования контейнерного поезда возможно увеличение времени выполнения технологических операций с его составом за счет различных факторов. Их наличие позволяет судить о том, что продолжительность доставки носит случайный характер.

Для обеспечения бесперебойной связи тылового ТЛТ и морского порта для подвода партии контейнеров точно в установленный срок требуется доработка методики выбора способа доставки контейнеров с ТЛТ в порт с учетом случайных факторов на основе использования инструментов имитационного моделирования, которые позволят изучаемую систему заменить моделью, описывающей реальную систему, с которой производятся эксперименты для получения информации о ней. Таким образом, данный метод дает возможность учесть основные отклонения от технологических норм выполнения операций с составом.

Библиографический список

1. Колупаев В. РЖД отрабатывают технологии по формированию «твердых ниток» графика для грузовых поездов / В. Колупаев. – URL : <http://www.trans->

port.com.ua/index.php?newsid=17077 (дата обращения : 10.05.2020).

2. Плетнев С. К вашим услугам / С. Плетнев, А. Панченко // Гудок. – 2010. – № 2. – С. 1.

3. Ставка на точность «Гудок». – URL : http://www.gudok.ru/transport/zd/?pub_id=357460 (дата обращения : 10.05.2020).

4. Котенко А.Г. Потенциал применения твердого графика движения грузовых поездов при использовании различных моделей рынка железнодорожных перевозок / А.Г. Котенко, Г.М. Грошев, В.И. Ковалев, И.В. Кашицкий // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2012. – Вып. 2 (31). – С. 31–36.

5. Новости филиалов и ДЗО. Сайт пресс-центра ОАО «РЖД». – URL : http://press.rzd.ru/news/public/rz?STRUCTURE_ID=656&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=85736 (дата обращения : 10.05.2020).

6. Транспортные продукты. Сайт Октябрьской железной дороги. – URL : http://ozd.rzd.ru/static/public/rz?STRUCTURE_ID=4787&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=2530 (дата обращения : 10.05.2020).

7. Климова Н. В. Организация движения контейнерных блок-поездов как одна из прогрессивных форм железнодорожных транспортных услуг при мультимодальных экспортно-импортных перевозках / Н. В. Климова // Вестн. транспорта Поволжья. – 2013. – Вып. 2 (38). – С. 58–66.

8. Климова Н. В. Обоснование технологии доставки контейнеров из тыловых логистических терминалов в морские порты транспортных узлов : автореф. дис. ... канд. тех. наук, специальность : 05.22.08 / Н. В. Климова. – СПб. : ПГУПС, 2018. – 16 с.

9. Климова Н. В. Стабилизация отправления контейнерных блок-поездов по расписанию на станциях примыкания тыловых логистических терминалов в транспортном узле / Н. В. Климова, Г. М. Грошев, А. Г. Котенко, И. Ю. Романова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Вып. 3 (48). – Т. 13. – С. 410–420.

10. Белозеров В.Л. Использование прогрессивных форм транспортных услуг при организации работы припортовой станции / В. Л. Белозеров, Г. М. Грошев, В. И. Ковалев, Н. В. Климова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2013. – Вып. 2 (35). – С. 31–43.

11. Грошев Г.М. Потребная емкость контейнерной площадки тылового терминала морского торгового порта / Г.М. Грошев, Н.В. Климова, А.В. Сугоровский, Н.Б. Федорова // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6. – С. 39–41.

Дата поступления: 29.01.2021

Решение о публикации: 19.02.2021

Контактная информация:

ГРОШЕВ Геннадий Максимович – д-р техн. наук, проф.; spbgroshev@gmail.com

КОТЕНКО Алексей Геннадьевич – д-р техн. наук, проф.; kotenko@pgups.ru

КЛИМОВА Надежда Викторовна – зам. начальника отдела; idaliay@mail.ru

ФЕДОРОВА Наталия Борисовна – ст. преподаватель; natbor65@mail.ru

Investigation of the nature of the process of delivering a batch of containers from the rear terminal to the port

G. M. Groshev¹, A. G. Kotenko¹, N. V. Klimova², N. B. Fedorova¹

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

² St. Petersburg Information and Computing Center, a structural subdivision of the Main Computing Center, a branch of Russian Railways, Saint Petersburg, 57, Borovaya ul., 192007, Russian Federation

For citation: Groshev G. M., Kotenko A. G., Klimova N. V., Fedorova N. B. Investigation of the nature of the process of delivering a batch of containers from the rear terminal to the port. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 385–392. (In Russian)

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-385-392

Summary

Objective: Assessment of the need to study the process of delivering a batch of containers from the rear terminal to the port to ensure uninterrupted communication between the rear terminal and the seaport and delivery a batch of containers exactly on time. As a primary task, the problem of analyzing the factors affecting the nature of the delivery process is solved. **Methods:** The methods of the theory of probability and mathematical statistics were applied in terms of determining the factors that affect the nature of the delivery process. The method of constructing process models was used to create a technological model for the delivery of containers by a block train to the port. **Results:** A technological model of container delivery by block train is presented. Diagrams were built showing the share of the main deviations from the schedule of container trains by types of operations for traffic, traction, corporate transport services. The main factors influencing the duration of individual operations with container block trains en route and the increase in the delivery time for a batch of containers from rear terminals to the seaport as a whole are identified. The random nature of the duration of the delivery of containers by block trains following the schedule has been established. **Practical importance:** The need to improve the methodology for choosing a method for delivering containers from the rear terminal to the port using simulation based on the identified factors influencing individual elements of the technological model of container delivery by a block train, deviations from the delivery time of containers, scheduled running of block trains is shown.

Key words: Rear logistics terminal, block train, port railway station, container, transport and logistics terminal, commercial seaport, fitting platform.

References

1. Kolupaev V. RZHD otrabatyvayut tekhnologii po formirovaniyu “tvordykh nitok” grafika dlya gruzovykh poyezdov [Russian Railways are working out technologies for the formation of “solid route schedules” for freight trains]. Available at: <http://www.trans-port.com.ua/index.php?newsid=17077> (accessed: May 10, 2020). (In Russian)
2. Pletnev S. & Panchenko A. K vashim uslugam [At your service]. *Gudok [Honk]*, 2010, no. 2, p. 1. (In Russian)
3. *Stavka na tochnost’ “Gudok” [Bet on accuracy “Honk”]*. Available at: http://www.gudok.ru/transport/zd/?pub_id=357460 (accessed: May 10, 2020). (In Russian)
4. Kotenko A. G., Groshev G. M., Kovalev V. I., Kashitskiy I. V. Potentsial primeniya tverdogo grafika dvizheniya gruzovykh poyezdov pri ispol’zovanii razlichnykh modeley rynka zheleznodorozhnykh perevozk [Potential of the use of a rigid schedule for the movement of freight trains when using various models of the market of railway transportation]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2012, iss. 2 (31), pp. 31–36. (In Russian)
5. *Sayt press-tsentra OAO «RZHD»: Novosti filialov i DZO [Website of the Russian Railways Press Center: News from branches and subsidiaries and affiliates]*. Available at: http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=656&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=85736 (accessed: May 10, 2020). (In Russian)
6. *Transportnyye produkty. Sayt Oktyabr’skoy zheleznoy dorogi [Transport products. Site of the Oktyabrskaya Railway]*. Available at: http://ozd.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=4787&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=2530 (accessed: May 10, 2020). (In Russian)
7. Klimova N. V. Organizatsiya dvizheniya konteynernykh blok-poyezdov kak odna iz progressivnykh form zheleznodorozhnykh transportnykh uslug pri mul’timodal’nykh eksportno-importnykh perevozkakh [Organization of the movement of container block trains as one of the progressive forms of railway transport services in multimodal export-import transportation]. *Vestnik transporta Povolzh’ya [Volga Transport Bulletin]*, 2013, iss. 2 (38), pp. 58–66. (In Russian)
8. Klimova N. V. *Obosnovaniye tekhnologii dostavki konteynerov iz tylovykh logisticheskikh terminalov v morskiye porty transportnykh uzlov*. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of the technology of delivery of containers from rear logistic terminals to seaports of transport hubs]. Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, 16 p. (In Russian)
9. Klimova N. V., Groshev G. M., Kotenko A. G. & Romanova I. Yu. Stabilizatsiya otpravleniya konteynernykh blok-poyezdov po raspisaniyu na stantsiyakh primykaniya tylovykh logisticheskikh terminalov v transportnom uzle [Stabilization of the departure of container block trains according to the schedule at the abutment stations of the rear logistics terminals in the transport hub]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, iss. 3 (48), vol. 13, pp. 410–420. (In Russian)
10. Belozеров V. L., Groshev G. M., Kovalev V. I. & Klimova N. V. Ispol’zovaniye progressivnykh form transportnykh uslug pri organizatsii raboty priportovoy stantsii [The use of progressive forms of transport services in organizing the work of the port station]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2013, iss. 2 (35), pp. 31–43. (In Russian)
11. Groshev G. M., Klimova N. V., Sugorovskiy A. V., Fedorova N. B. Potrebnaya yemkost’ konteynernoy ploshchadki tyloвого terminala morskogo torgovogo porta [Required capacity of the container site of the rear terminal of the sea trade port]. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport]*, 2020, no. 6, pp. 39–41. (In Russian)

Received: January 29, 2021

Accepted: February 19, 2021

Author’s information:

Gennadiy M. GROSHEV – D. Sci. in Engineering, Professor; spbgroshev@gmail.com

Alexey G. KOTENKO – D. Sci. in Engineering, Professor; kotenko@pgups.ru

Nadezhda V. KLIMOVA – Deputy Head of the Department; idaliay@mail.ru

Natalia B. FEDOROVA – Senior Lecturer; natbor65@mail.ru

УДК 629.423.31.083

Оптимизация норм межремонтных пробегов тяговых электродвигателей локомотивов на основе результатов исследования распределения отказов на полигоне Дальневосточной железной дороги

Д. Ю. Дроголов, П. В. Соколов, А. С. Кушнирук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47

Для цитирования: Дроголов Д. Ю., Соколов П. В., Кушнирук А. С. Оптимизация норм межремонтных пробегов тяговых электродвигателей локомотивов на основе результатов исследования распределения отказов на полигоне Дальневосточной железной дороги // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 393–401.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-393-401

Аннотация

Цель: Оптимизация норм межремонтных пробегов на основании результатов исследования распределения отказов тяговых электродвигателей, вызванных критическим снижением сопротивления изоляции обмоток, для сокращения затрат на устранение последствий unplanned ремонтов локомотивов. **Методы:** Применяются методы математической статистики, теории вероятностей, теории надежности технических систем. **Результаты:** Проведен причинно-следственный анализ случаев постановки локомотивов на unplanned ремонт за 2019–2020 гг. Определен элемент, лимитирующий нормы межремонтных пробегов тяговых электродвигателей локомотивов. Получено теоретическое распределение отказов тяговых электродвигателей вследствие критического снижения сопротивления изоляции его обмоток. Осуществлена оптимизация норм межремонтных пробегов локомотивов по условиям проведения текущего ремонта в объеме ТР-2 относительно тяговых электродвигателей. Выявлено, что в основном отказы связаны с первым периодом эксплуатации тяговых электродвигателей. В результате анализа причин отказов тяговых электродвигателей установлено, что большинство случаев постановки на unplanned ремонт приходится на первый интервал пробега локомотивов из-за низкого качества ремонта. При этом первый нормальный пик отказов приходится на пробег в модальном интервале от 156 до 234 тыс. км, когда межремонтный пробег по ТР-2 составляет 250 тыс. км, что обуславливает необходимость его оптимизации в пределах предшествующего модальному интервала. **Практическая значимость:** Представленный вариант оптимизации межремонтных пробегов возможно использовать при определении рациональности установления норм периодов проведения обслуживающих и ремонтных операций по узлам локомотивов в условиях планово-предупредительной системы управления их техническим состоянием.

Ключевые слова: Межремонтные пробеги, распределение отказов, тяговые электродвигатели, локомотив, сопротивление изоляции, unplanned ремонт.

Введение

Своевременное выполнение ремонта и обслуживания узлов локомотивов является осно-

вой безопасного и эффективного перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

В настоящее время на отечественном подвижном составе используется планово-предупреди-

тельная система ремонта и обслуживания локомотивов, которая характеризуется дискретным выполнением ремонтных работ в зависимости от пробега в определенном объеме по отдельным узлам [1].

При высоких значениях межремонтных пробегов возрастает вероятность отказов узлов локомотивов, что отрицательно сказывается на динамике отказов и количестве сверхцикловых видов ремонта; при низких – становятся больше затраты на ремонт, обслуживание и простои локомотивов.

С учетом перехода отечественного железнодорожного транспорта на реализацию перевозочного процесса в условиях рыночной экономики (конец XX в.) одной из ведущих тенденций стало увеличение экономического эффекта за счет снижения затрат на обслуживание и ремонт инфраструктуры, в том числе путем повышения норм межремонтных пробегов для узлов локомотивов. Данная тенденция привела к трансформации экономических затрат на обслуживание и ремонт, проявляющихся в:

- потерях от устранения последствий отказов узлов локомотивов в пути следования;
- затратах от производства сверхцикловых видов ремонта;
- неучтенных убытках от выплат грузополучателям за задержку груза.

Эти аспекты обуславливают важную и актуальную задачу, связанную с необходимостью оптимизации норм межремонтных пробегов узлов локомотивов для снижения их отказов.

Метод оптимизации межремонтных пробегов узлов локомотивов

В качестве метода оптимизации норм межремонтных пробегов применяется теория математической статистики – раздел исследований гипотез о законах распределения [2, 3]. Его суть заключается в установлении или опровержении соответствия теоретического распределения практическим частотам отказов, согласно кри-

терию Пирсона [4, 5]. Процесс исследования гипотезы о распределении отказов состоит из следующих этапов:

- определение параметров распределения;
- расчет теоретического распределения отказов;
- построение гистограммы практического и теоретического распределения;
- расчет коэффициента критерия Пирсона;
- расчет критического коэффициента Пирсона в зависимости от количества интервалов пробега и параметров закона распределения;
- вывод о соответствии практического распределения отказов теоретическому распределению;
- анализ практического распределения и возможности адаптации практических частот;
- оптимизация норм межремонтных пробегов или заключение о ее невозможности.

Рассмотрим процесс оптимизации межремонтных пробегов на примере одного из лимитирующих узлов локомотивов – тягового электродвигателя (ТЭД) по отношению к одной из известных и проблемной причине отказа – критическому уменьшению сопротивления изоляции обмоток якоря и возбуждения [6, 7].

Исследование гипотезы о нормальном распределении отказов ТЭД вследствие критического уменьшения сопротивления изоляции обмоток

Эксплуатация ТЭД локомотивов обусловлена знакопеременными температурными воздействиями, влажностью и запыленностью. Представленные факторы оказывают повсеместное воздействие как в летний, так и в зимний периоды эксплуатации. При эксплуатации ТЭД в летний период значительное влияние оказывает температурный фактор, что зачастую приводит к недопустимым циклическим перегревам изоляции и ее разрушению. В зимний период на состоянии изоляции ТЭД отрицательно сказываются знакопеременные температурные воздействия, свя-

занные с их нагревом в тяговом режиме работы и последующим обледенением в простое. Данные факторы отрицательно влияют на состояние изоляции обмоток ТЭД, способствуя снижению их сопротивления изоляции и возникновению короткого замыкания, что в конечном счете приводит к выходу ТЭД из строя [8, 9].

Рассмотрим распределение отказов ТЭД по выбранной причине на полигоне эксплуатации Дальневосточной железной дороги. Распределение отказов ТЭД в соответствии с законом Стёрджеса [10] представлено в табл. 1, где i – порядковый номер интервала пробега локомотивов, Δl_i – интервал пробега локомотивов, Δr_i – количество отказов ТЭД на интервале Δl_i .

Проведем исследование данного распределения и проверку его на гипотезу о нормальном законе. Для этого необходимо определить математическое ожидание отказов в зависимости от пробега следующим образом:

$$\bar{l} = \frac{1}{r} \cdot \sum_{i=1}^{11} (\Delta \bar{l}_i \cdot \Delta r_i), \quad (1)$$

где r – суммарное количество отказов, $r = 527$ ед.; $\Delta \bar{l}_i$ – выборочные средние интервалов пробегов, которые находятся по формуле

$$\Delta \bar{l}_i = \frac{\Delta l_i - \Delta l_{i-1}}{2}. \quad (2)$$

Результаты расчетов выборочных средних представлены в табл. 2.

На основании этих результатов по уравнению (1) вычислим значение математического ожидания \bar{l} отказов:

$$\bar{l} = \frac{1}{527} \cdot 116\,231 = 220,55 \text{ тыс. км.}$$

Помимо математического ожидания, для исследования гипотезы о нормальном распределении необходимо вычислить среднеквадратическое отклонение S по формуле о нахождении дисперсии S^2 :

$$S^2 = \frac{1}{r-1} \cdot \sum_{i=1}^{11} ((\bar{l} - \Delta l_i)^2 \cdot \Delta r_i),$$

$$S = 159,07.$$

В соответствии с полученными величинами параметров нормального распределения рассчитаем значения частот отказов теоретического распределения Δr_{ii} :

$$\Delta r_{ii} = \frac{r \cdot \Delta l_i}{S} \cdot \varphi(b)_i.$$

Здесь $\varphi(b)_i$ – плотность вероятности нормального распределения

ТАБЛИЦА 1. Распределение отказов ТЭД

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Δl_i , тыс. км	78	156	234	312	390	469	547	625	703	781	784
Δr_i , ед.	131	80	87	71	84	46	16	3	7	1	1

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета по выборочным средним (см. (2))

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta \bar{l}_i$, тыс. км	39	117	195	273	351	430	508	586	664	742	783
Δr_i , ед.	131	80	87	71	84	46	16	3	7	1	1
$\Delta \bar{l}_i \cdot \Delta r_i$	5124	9376	16990	19409	29522	19759	8122	1757	4647	742	783
$\sum_{i=1}^{11} (\Delta \bar{l}_i \cdot \Delta r_i)$	116231										

$$\varphi(b)_i = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{b_i^2}{2}},$$

где b_i – нормированная переменная

$$b_i = \frac{\Delta l_i - \bar{l}}{S}.$$

На основании полученных данных определим коэффициент Пирсона χ_i^2 на каждом i -м интервале:

$$\chi_i^2 = \frac{\Delta r_i - \Delta r_{ii}}{\Delta r_{ii}}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

На основании расчетных данных коэффициент Пирсона $\chi^2 = 123,45$, что опровергает нормальный закон распределения отказов, так как данное значение превышает критический коэффициент Пирсона для нормального закона распределения $\chi_{\text{крит}}^2 = 15,51$ [9]. Распределение отказов ТЭД иллюстрирует рис. 1.

Если провести анализ распределения отказов, то большинство из них приходится на первый период эксплуатации. На основании изучения причин отказов, происходящих на рассматри-

ваемый период, установлено, что значительное количество случаев неплановых ремонтов связано с низким качеством реализации ремонтных и диагностических операций по данному узлу. Первый нормированный максимум отказов приходится на третий интервал с пробегом 156–234 тыс. км, что совпадает с межремонтными пробегами отдельных серий локомотивов по объему ТР-2, где реализуются работы по восстановлению сопротивления изоляции ТЭД. Второй максимум приходится на пятый интервал с пробегом 312–390 тыс. км, что приблизительно совпадает с проведением работ в объеме ТР-3. Затем число отказов снижается, что в основном вызвано небольшим количеством локомотивов эксплуатирующихся с перепробегом по ТР-3.

Для оценки возможности оптимизации норм межремонтных пробегов представленное распределение отказов необходимо разделить на три вещественные части:

- пик отказов в начальный период эксплуатации Δl_1 (0–78 тыс. км);
- первый нормированный максимум отказов относительно ТР-2 Δl_3 (156–234 тыс. км);
- второй нормированный максимум отказов относительно ТР-3 Δl_5 (312–390 тыс. км).

ТАБЛИЦА 3. Распределение теоретических частот отказов ТЭД согласно нормальному закону распределения

Δl_i , тыс. км	b_i	$\varphi(b)_i$	Δr_{ii}	Δr_i	χ_i^2
78	–0,895	0,267	69,268	131	55,01
156	–0,404	0,368	95,287	80	2,45
234	0,087	0,397	103,013	87	2,48
312	0,577	0,338	87,519	71	3,11
390	1,068	0,225	58,435	84	11,18
469	1,559	0,118	30,662	46	7,67
547	2,050	0,049	12,644	16	0,89
625	2,541	0,016	4,097	3	0,29
703	3,032	0,004	1,044	7	33,99
781	3,523	0,001	0,209	1	2,99
784,19	3,543	0,001	0,194	1	3,34
					$\sum_{i=1}^{11} \chi_i^2 = 123,45$

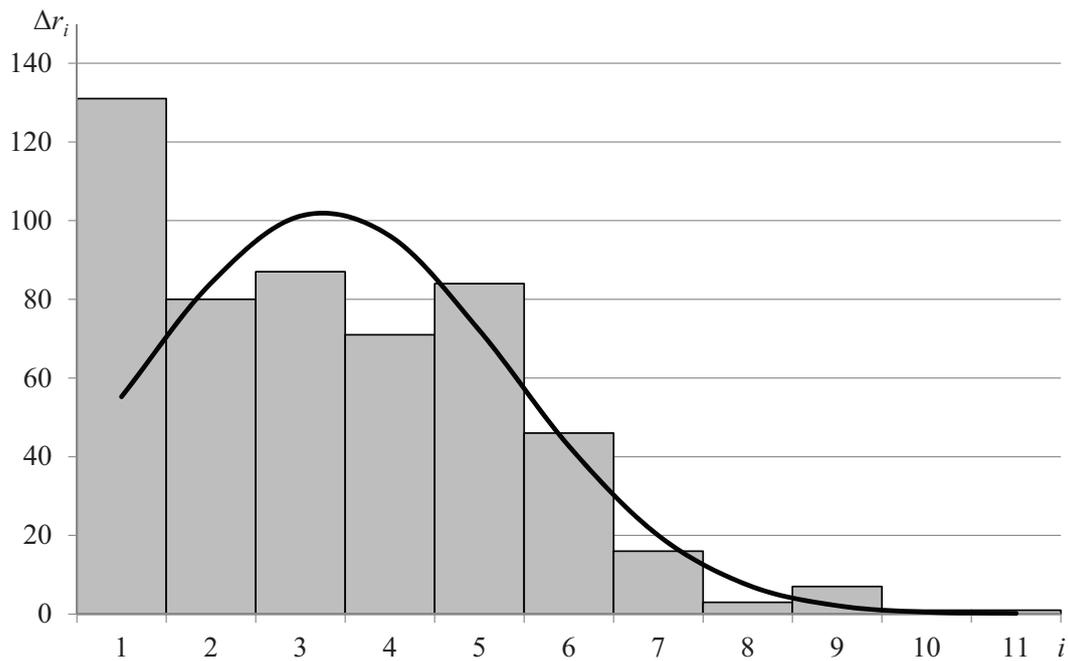


Рис. 1. Распределение отказов ТЭД по критическому снижению сопротивления изоляции обмоток: гистограмма – практическое распределение, график – теоретическое распределение

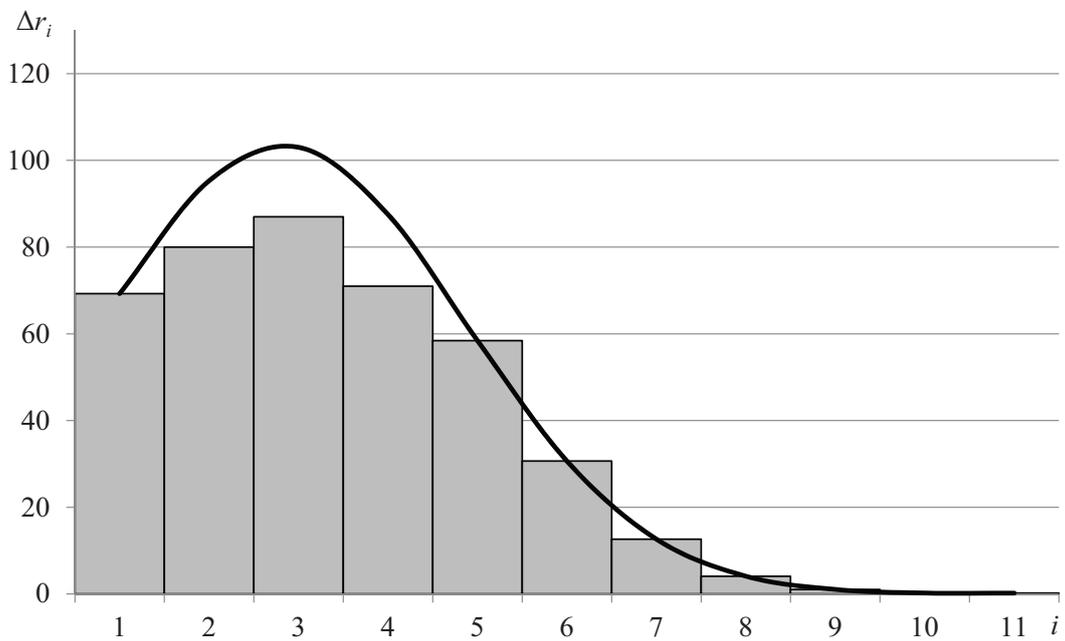


Рис. 2. Распределение отказов ТЭД по критическому снижению сопротивления изоляции обмоток: гистограмма – оптимизированное практическое распределение, график – теоретическое распределение

При этом исследование возможности оптимизации норм межремонтных пробегов следует проводить отдельно по каждой вещественной части.

Оптимизация межремонтных пробегов объема ТР-2 на основании анализа результатов исследования гипотезы о нормальном распределении отказов

Первая вещественная часть оптимизации связана с влиянием человеческого фактора и не входит в спектр задач оптимизации норм межремонтных пробегов. Целевыми вещественными частями являются вторая и третья. Оценим возможность оптимизации таких норм в объеме ТР-2 путем приравнивания несвязанных распределений к частотам установленного теоретического закона (рис. 1, график).

Так, при рассмотрении оптимизации межремонтных пробегов по ТР-2 адаптации подвергнутся практические частоты отказов 1, 5–11 интервалов. Тогда теоретическое распределение примет вид, представленный на рис. 2.

Коэффициент Пирсона при этом равен 8,05, что доказывает нормальное распределение отказов на данных интервалах с уровнем доверия в 0,95, а также обеспечивает возможность оптимизации норм межремонтных пробегов локомотивов в объеме ТР-2 относительно лимитирующего элемента ТЭД – изоляции электрических цепей в пределах рассматриваемых интервалов наработки $i = 2-4$. На основании факта о нормальном распределении отказов на этих интервалах можно сделать вывод о необходимости оптимизации норм межремонтных пробегов в объеме ТР-2 локомотивов применительно к ТЭД в пределах предшествующего модальному интервала пробега Δl_3 .

Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о нерациональном увеличении

норм межремонтных пробегов локомотивов в объеме ТР-2, согласно [1]. Это подтверждается предшествующим распоряжением о системе технического обслуживания и ремонта локомотивов [11], где нормы межремонтных пробегов для большинства эксплуатирующихся серий локомотивов на Дальневосточной железной дороге составляют 150–200 тыс. км, что приходится на рассчитанный модальный интервал пробега $\Delta l_3 = 156-234$ тыс. км (рис. 2). В связи с этим обоснованным решением будет оптимизация норм межремонтных пробегов в объеме ТР-2 до 150–200 тыс. км пробега.

В дальнейшем планируется провести подробный анализ интервалов Δl_2 , Δl_3 и Δl_4 с более низким периодом дискретизации по пробегу с целью уточнения параметров нормального закона распределения отказов ТЭД для Дальневосточной железной дороги.

Библиографический список

1. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». Распоряжения. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов : Распоряжение № 2796р. – Принято ОАО «РЖД» 21 сентября 2018 г. – М. : ОАО «РЖД», 2018. – 23 с.
2. Агишева Д. К. Математическая статистика : учеб. пособие / Д. К. Агишева, С. А. Зотова, Т. А. Матвеева, В. Б. Светличная. – Волгоград : ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2010. – 160 с.
3. Савастенко Н. А. Математическая статистика : учеб.-метод. пособие / Н. А. Савастенко. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2015. – 72 с.
4. Крохалев В. Я. Статистика : учеб. пособие / В. Я. Крохалев, С. А. Скопинов, В. А. Телешев. – Екатеринбург : УГМУ, 2018. – 114 с.
5. Ивин Е. А. Учебно-методическое пособие по математической статистике: для социально-экономических специальностей / Е. А. Ивин, А. Н. Курбацкий, Д. В. Артамонов. – Вологда : ИСЭРТ РАН, 2017. – 141 с.
6. Дульский Е. Ю. Система мониторинга состояния изоляции / Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов, А. А. Хам-

наева, М. А. Дивинец, А. А. Корсун // Железнодорожный транспорт. – М. : Центр науч.-технич. информации и библиотек ОАО «РЖД», 2021. – № 3. – С. 50–52.

7. Дульский Е. Ю. Анализ отказов тяговых двигателей электровозов серии «Ермак» / Е. Ю. Дульский // Региональный центр инновационных технологий. – URL : <http://www.rcit.su/article074.html> (дата обращения : 04.05.2021).

8. Четвергов В. А. Анализ факторов, определяющих надежность тепловозов на различных стадиях жизненного цикла / В. А. Четвергов, Д. В. Балагин, О. В. Балагин // Изв. Транссиба. – Омск : ОмГУПС, 2014. – № 4 (20). – С. 72–78.

9. Головаш А. Н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов / А. Н. Головаш, Н. Б. Куршакова // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : Материалы третьей Всерос. науч.-технич. конференции с меж-

дународным участием. – Омск : ОмГУПС, 2016. – С. 52–58.

10. Sturges H. The choice of a class-interval / H. Sturges // Journal of American Statistical Association. – Boston, USA. – 1926. – N 21. – P. 65–66.

11. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». Распоряжения. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» : Распоряжение № 3р. – Принято ОАО «РЖД» 17 января 2005 г. – М. : ОАО «РЖД», 2005. – 12 с.

Дата поступления: 17.05.2021

Решение о публикации: 13.06.2021

Контактная информация:

ДРОГОЛОВ Денис Юрьевич – преподаватель; chesser@ya.ru

СОКОЛОВ Павел Валерьевич – канд. техн. наук, доц.; 617032@gmail.com

КУШНИРУК Алексей Сергеевич – ст. преподаватель; alexey.kushniruk@mail.ru

Optimization of the norms of overhaul runs for traction electric motors of locomotives based on the results of the distribution of failures at the range of the Far Eastern Railway

D. Yu. Drogolov, P. V. Sokolov, A. S. Kushniruk

Far Eastern State Transport University, 47, Serysheva, Khabarovsk, 680021, Russian Federation

For citation: Drogolov D. Yu., Sokolov P. V., Kushniruk A. S. Optimization of the norms of overhaul runs for traction electric motors of locomotives based on the results of the distribution of failures at the range of the Far Eastern Railway. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 399–401. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-393-401

Summary

Objective: Optimization of the rates of overhaul runs on the basis of the results of the study of the distribution of failures of traction motors caused by a critical decrease in the insulation resistance of the windings to reduce the cost of eliminating the consequences of unscheduled repairs of locomotives.

Methods: Mathematical statistics, probability theory, theory of reliability of technical systems are applied. **Results:** A cause-and-effect analysis was carried out of cases when locomotives were placed for unscheduled repairs in 2019–2020. An element has been determined that limits the rates of overhaul mileage of traction electric motors of locomotives. The theoretical distribution of failures of traction electric motors due to a critical decrease in the insulation resistance of its windings is obtained. The optimization of the norms of overhaul runs of locomotives was carried out according to the conditions of current repairs in the amount of TR-2 relative to traction electric motors. It was revealed that the failures are mainly associated with the first period of operation of traction motors. As a result of the analysis of the

reasons for the failure of traction electric motors, it was found that most cases of unscheduled repairs fall on the first interval of locomotive runs due to the poor quality of repairs. In this case, the first normal peak of failures falls on the mileage in the modal interval from 156 to 234 thousand kilometers, when the overhaul mileage on TP-2 is 250 thousand kilometers, which necessitates its optimization within the preceding modal interval. **Practical importance:** The presented version of optimization of overhaul runs can be used to determine the rationality of establishing the norms for the periods of maintenance and repair operations on locomotive units under the conditions of a planned preventive control system for their technical condition.

Keywords: Overhauls runs, failure distribution, traction motors, locomotive, insulation resistance, unscheduled repairs.

References

1. *Otkrytoye aktsionernoye obshchestvo "Rossiyskiye zheleznyye dorogi"*. *Rasporyazheniya. O sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov: Rasporyazheniye no. 2796r. Prinyato OAO "RZHD" 21 sentyabrya 2018 g.* [Open Joint Stock Company Russian Railways. Orders. On the system of maintenance and repair of locomotives: Order N 2796r. Accepted by Russian Railways on September 21, 2018]. Moscow, JSC "Russian Railways" Publ., 2018, 23 p. (In Russian)
2. Agisheva D. K., Zotova S. A., Matveyeva T. A. & Svetlichnaya V. B. *Matematicheskaya statistika. Uchebnoye posobiye* [Mathematical statistics. A tutorial]. Volgograd, VPI (filial) VolgGTU [Volzhsky Polytechnic Institute (branch of Volgograd State Technical University) Publ., 2010, 160 p. (In Russian)
3. Savastenko N. A. *Matematicheskaya statistika. Uchebnoye posobiye* [Mathematical statistics. A tutorial]. Minsk, A. D. Sakharov Moscow State University for the Humanities and Economics Publ., 2015, 72 p. (In Russian)
4. Krokhaliev V. Ya., Skopinov S. A. & Teleshev V. A. *Statistika. Uchebnoye posobiye* [Statistics. A tutorial]. Yekaterinburg, UGMU [Ural State Medical University] Publ., 2018, 114 p. (In Russian)
5. Ivin E. A., Kurbatskiy A. N. & Artamonov D. V. *Uchebno-metodicheskoye posobiye po matematicheskoy statistike: dlya sotsial'no-ekonomicheskikh spetsial'nostey* [Teaching aid on mathematical statistics: for socio-economic specialties]. Vologda, ISERT RAN [Institute of Socio-Economic Development of Territories of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2017, 141 p. (In Russian)
6. Dulsky E. Yu., Ivanov P. Yu., Khamnaeva A. A., Divinets M. A. & Korsun A. A. *Sistema monitoringa sostoyaniya izolyatsii* [System for monitoring the state of insulation]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. Moscow, Tsentr nauchno-tekhnicheskoy informatsii i bibliotek OAO "RZHD" [Center for Scientific and Technical Information and Libraries of JSC "Russian Railways"] Publ., 2021, no. 3, pp. 50–52. (In Russian)
7. Dulsky E. Yu. *Analiz otkazov tyagovykh dvigateley elektrovozov serii "Yermak"* [Analysis of failures of traction motors of electric locomotives of the "Ermak" series]. *Regional'nyy tsentr innovatsionnykh tekhnologiy* [Regional Center for Innovative Technologies]. Available at: <http://www.rcit.su/article074.html> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)
8. Chetvergov V. A., Balagin D. V. & Balagin O. V. *Analiz faktorov, opredelyayushchikh nadezhnost' teplovozov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla* [Analysis of factors that determine the reliability of diesel locomotives at different stages of the life cycle]. *Izvestiya Transsiba* [Trans-Siberian railway bulletin]. Omsk, OmGUPS [Omsk State Transport University] Publ., 2014, no. 4 (20), pp. 72–78. (In Russian)
9. Golovash A. N. & Kurshakova N. B. *Sovershenstvovaniye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov* [Improvement of the system of maintenance and repair of locomotives]. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povysheniye effektivnosti tyagi poyezdov*. Materialy tret'yey Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Operational reliability of the locomotive fleet and increasing the efficiency of train traction. Materials of the third All-Russian scientific and technical conferences with international participation]. Omsk,

OmGUPS [Omsk State Transport University] Publ., 2016, pp. 52–58. (In Russian)

10. Sturges H. The choice of a class-interval. *Journal of American Statistical Association*. Boston, USA, 1926, no. 21, pp. 65–66. (In Russian)

11. *Otkrytoye aktsionernoye obshchestvo “Rossiyskiye zheleznyye dorogi”*. *Rasporyazheniya. O sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov OAO “RZHD”*. *Rasporyazheniye no. 3r. Prinyato OAO “RZHD” 17 yanvarya 2005 g. [Open Joint Stock Company Russian Railways. Orders. On the system of maintenance and repair of locomotives of JSC Russian Railways. Order N 3r]*. Accepted by JSC Russian Railways

on January 17, 2005. Moscow, JSC “Russian Railways” Publ., 2005, 12 p. (In Russian)

Received: May 17, 2021

Accepted: June 13, 2021

Authors’ information:

Denis Yu. DROGOLOV – Lecturer;
chesser@ya.ru

Pavel V. SOKOLOV – PhD in Engineering, Associate Professor; 617032@gmail.com

Alexey S. KUSHNIRUK – Senior Lecturer;
alexey.kushniruk@mail.ru



УДК 001.38

Алгоритмы модифицированных индексов Хирша для формирования рейтингов преподавателей вуза по числу публикаций и их цитированиям

П. В. Герасименко

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

Для цитирования: Герасименко П. В. Алгоритмы модифицированных индексов Хирша для формирования рейтингов преподавателей вузов по числу публикаций и их цитированиям // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 402–409. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-402-409

Аннотация

Цель работы: Предложить алгоритм оценки результатов научной деятельности преподавателя по опубликованным работам и их цитированиям, который должен позволить учесть суммарные цитирования значимых публикаций, определяемых с помощью алгоритма Хирша. Создать более совершенный подход оценивания эффективной публикационной деятельности ученых по сравнению с индексом Хирша. **Методы:** Использован подход систематизации суммарного массива цитирований путем разделения его на следующие массивы цитирований: 1) базовый, определяемый индексом Хирша; 2) значимых публикаций; 3) интенсивной работы. Полученные массивы легли в основу создания трех индексов: h – индекса Хирша, g – индекса значимых публикаций и p – индекса интенсивной работы. Эти индексы позволили определить евклидовы нормы gh – индекс базовых значимых публикаций и hp – индекс интенсивной работы преподавателя. Приведенные индексы дают возможность дифференцированно оценивать публикации преподавателей и производить более качественно их ранжирование в коллективе. **Результаты:** Выполнено построение рейтингов коллектива авторов, сформированного выборкой из РИНЦ с помощью индекса Хирша и индекса gh . Показано, что более эффективным по сравнению с индексом Хирша является предложенный подход. **Практическая значимость:** Описанный подход формирования рейтингового положения авторов публикаций в творческом коллективе базируется на простом вычислении и сравнении модифицированных индексов Хирша.

Ключевые слова: Индекс, цитирование, научные труды, ученый, творческая деятельность, векторные компоненты, евклидова норма, квадрат, рейтинг.

Введение

Для решения задач эффективного управления научной деятельностью преподавателей вузов РФ внедряют различные системы количествен-

ных оценок, которые позволяли бы оценивать их по публикациям и цитированиям.

Из числа используемых количественных библиометрических показателей, характеризующих научную результативность ученого, вы-

деляются индексы цитируемости. Среди них наиболее широко применяется индекс Хирша или h -индекс [1].

Как известно, индекс Хирша основан на совокупном учете части публикаций исследователя и такой же части их цитирований. Другими словами, индекс выступает целочисленным показателем в виде свертки базового числа наиболее значимых на рассматриваемое время публикаций автора и равного числа их цитируемости. Несмотря на существующие недостатки, индекс Хирша широко применяется при формировании рейтингов в высшей школе, выделяя по ним поощрительную финансовую поддержку преподавателям.

К настоящему времени разработан, исследован и предложен на основе индекса Хирша ряд модификаций оценки творческой деятельности ученого и организации в целом [2–10].

При внимательном изучении как h -индекса, так и его модификаций у них можно выявить немало недостатков. Например, некоторые из них практически поощряют в большом количестве публикацию работ умеренного качества. Отдельные провоцирует стремление ученого добиться высокого положения в науке за счет слабых научных работ при успешной организации их цитирования. Несовершенство всех индексов, опирающихся на количественную оценку научной деятельности преподавателя, остается проблемным до настоящего времени.

Задачей автора этой статьи было не обобщить все опубликованные работы, которые посвящены оценке индекса Хирша, его достоинствам и недостаткам, а предложить для формирования рейтингов преподавателей вузов алгоритм на основе модификации индекса Хирша, разработанной и предложенной в [11–13].

Структура алгоритма на основе модификации индекса Хирша [12]

Как известно, в качестве исходных данных, необходимых для формирования индекса, который должен характеризовать трудовую дея-

тельность ученого, принято включать два массива числовой информации, а именно научные опубликованные работы и цитирования каждой из них.

Своим индексом Хирш предложил наиболее распространенный подход к оценке творческой деятельности ученого, который базируется на свертке части массива опубликованных автором значимых публикаций и их цитирований. Часть статей, в количестве h , определяющих индекс, в [11–13] принято за ядро или базовое число массива значимых публикаций. Из алгоритма, предложенного Хиршем, следует, что индекс основан на совокупном учете только части публикаций исследователя и такой же части их цитирований.

Другими словами, рассматривая публикации и цитирования как двумерный массив чисел, Хирш предложил свертку его к одному числу, названному « h -индекс» или «индекс Хирша».

Самым существенным недостатком h -индекса является то, что он одинаков и у ученого с одной работой мирового уровня, и у автора многих публикаций, которые цитировались не более одного раза. Понятно, что большое количество незначимых работ не может заменить одной значимой для науки работы. Следует заметить, что индекс h с геометрической точки зрения представляет собой натуральное число, равное длине стороны квадрата размером в h единиц. Этот квадрат, как отмечалось, включает не все публикации ученого, а так называемое базовое количество работ. Его целесообразно назвать «квадрат Хирша». Тогда, если ученый имеет S цитирований, то количество цитирований, равное $(S - h^2)$, согласно его алгоритму, не будут участвовать в формировании «квадрата Хирша».

В дальнейшем для описания структуры массива исходных данных будем через i обозначать порядковый номер N , расположенных в ряд публикаций автора в порядке невозрастания числа их цитирований. Изменение числа цитирований в зависимости от порядкового номера публикации следует рассматривать как дискретную функцию распределения цитирований [11]. Принятое расположение публикаций и цитирований

целесообразно называть также рядом распределения цитирований [12].

График изменения функции цитирований от номера публикации представлен на рис. 1.

Очевидно, что если у каждой i -той опубликованной работы иметь s_i цитирований, то у ученого будет общее число цитирований $S = \sum_{i=1}^N s_i$. С учетом расположения работ в структурированный ряд для его элементов будет справедливо неравенство $s_i \geq s_{i+1}$, а индекс Хирша тогда можно определить как $h = i$, если $s_i \geq h$, а $s_{i+1} \leq h$.

В статье [11] предложен алгоритм, позволивший устранить один из важных недостатков h -индекса, а именно «равенство индекса Хирша при n публикациях, каждая из которых имеет большое число цитирований и много работ с n цитированиями». Особенно это важно, когда число n является незначительной величиной. К возможным направлениям устранения данного недостатка относится применение дифференцированной оценки публикационной деятельности ученых. Оно реализовано за счет разработки алгоритма модифицированного индекса [12].

Перед введением алгоритмов модификаций индекса Хирша [11–13] целесообразно структурировать суммарное количество цитирований S , представив его в виде трех слагаемых. Первое слагаемое соответствует количеству цитирований h^2 , т. е. тому количеству цитирований, которые входят в «квадрат Хирша» (рис. 1).

Второе слагаемое включает те цитирования, которые располагаются над «квадратом Хирша». Их число обозначим через g^2 . Условно по аналогии с h -индексом, который соответствует «квадрату Хирша», имеет смысл полагать, что число g^2 формирует квадрат значимых цитирований со сторонами $\sqrt{g^2}$, и, следовательно, нужно ввести g – индекс значимых цитирований. Величину g следует рассматривать как приведенную длину стороны «квадрата значимых цитирований базовых работ» преподавателя. Тогда

$$g^2 = \sum_{i=1}^h s_i - h^2, \quad g = \sqrt{\sum_{i=1}^h s_i - h^2}.$$

Наконец, третье слагаемое включает те цитирования, которые не относятся к базовым публикациям, т. е. располагаются на схеме справа относительно «квадрата Хирша». Их число

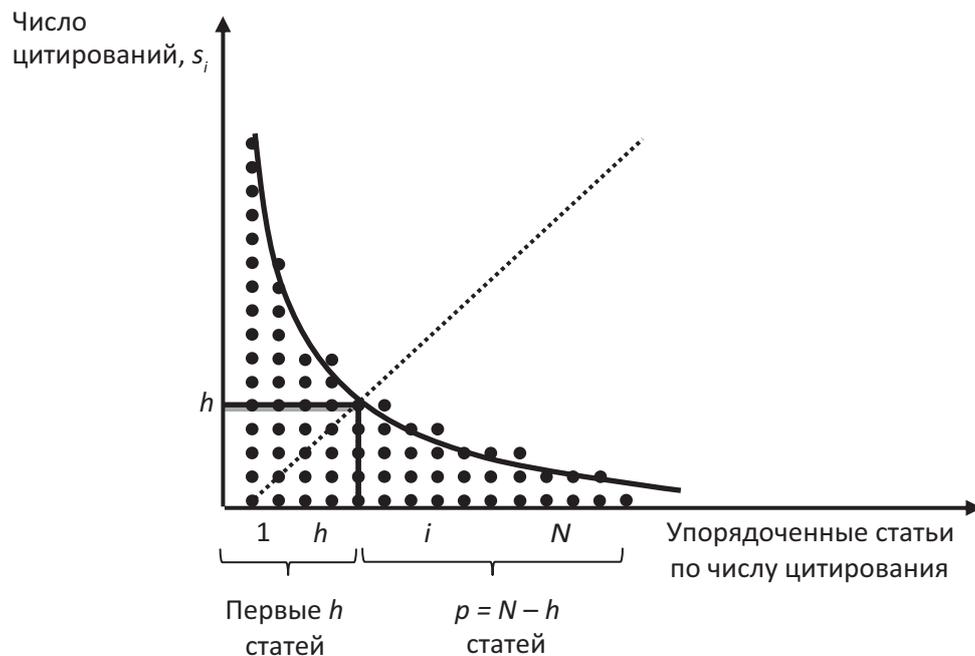


Рис. 1. Схема ряда распределения цитирований

можно обозначить как p^2 и соответственно аналогично ввести p – индекс интенсивной работы преподавателя.

$$\text{Тогда } p^2 = \sum_{h+1}^N s_i, \quad p = \sqrt{\sum_{h+1}^N s_i}.$$

Очевидно, что общее число цитирований $S = h^2 + g^2 + p^2$, где слагаемые суммы есть количества цитирований, которые соответственно формируют индексы h, g, p .

Геометрически введенные индексы будут характеризовать следующие элементы: h -индекс – натуральное число, равное длине стороны квадрата цитирования работ, заключенных в квадрат Хирша; g -индекс – вещественное положительное число, равное длине стороны квадрата значимых цитирований базовых публикаций преподавателя; p -индекс – вещественное положительное число, равное длине стороны квадрата цитирований интенсивной работы преподавателя.

Квадраты введенных индексов будут соответствовать следующим числам цитирований: h^2 -индекс – натуральное число, равное количеству цитирований, включенных в базовый квадрат или квадрат Хирша; g^2 -индекс – натуральное число, равное количеству цитирований, включенных в квадрат значимых публикаций, которой на схеме 1 расположен над квадратом Хирша; p^2 -индекс – натуральное число, равное количеству цитирований, включенных в квадрат цитирований интенсивной работы преподавателя, который расположен справа от квадрата Хирша.

Тогда можно сформулировать следующие определения: модифицированный gh -индекс представляет собой евклидову норму вектора цитирования, компонентами которого являются h -индекс и g -индекс. Очевидно, что ученые, которые имеют выдающие работы, т. е. работы, у которых огромное число цитирований, согласно gh -индексу, должны занимать более высокий рейтинг в научном коллективе.

Для ученых, которые интенсивно работают над публикациями и не имеют значимых цитирований, целесообразно вводить оценивание их публикаций на более низком уровне с помощью hp -индекса. Геометрически hp -индекс представ-

ляет собой евклидову норму вектора цитирования, компонентами которого являются h -индекс и p -индекс.

Из определения gh -индекса следует, что у преподавателя учитываются все цитирования, которые будут формировать наибольший квадрат, длины сторон которого равны корню квадратному от общего числа цитирований базовых публикаций.

Геометрическая интерпретация gh -индекса представляет собой длину диагонали прямоугольника, построенного на сторонах, длины которых g и h соответственно квадрата значимых цитирований g^2 и квадрата Хирша h^2 . Другими словами, геометрически gh -индекс – вещественное положительное число, равное длине диагонали прямоугольника значимых цитирований, построенного на стороне квадрата значимых цитирований базовых публикаций ученого и на стороне квадрата Хирша (рис. 2).



Рис. 2. Схема формирования gh -индекса

Пример оценивания выборки преподавателей из РИНЦ

В качестве примера выполнена оценка базовых публикаций по выборке преподавателей из РИНЦ, в основу которой положена величина индекса Хирша не менее 10. Исходные данные и результаты оценок приведены в таблице.

Основные показатели ведущих ученых

Номер автора	Число научных работ	Число цитирований	h -индекс	g -индекс	gh -индекс	Рейтинг по h -индексу	Рейтинг по gh -индексу	Смена рейтинга, $gh-h$
1	651	4033	39	50,13	63,51	1	1	0
2	371	2615	27	43,43	51,14	2	2	0
3	206	1525	25	30,00	39,05	3	6	3
4	361	2271	24	41,18	47,66	4	3	-1
5	193	986	22	22,40	31,40	5	1	6
6	326	1956	21	38,93	44,23	6	4	-2
7	180	1054	20	25,58	32,47	7	8	1
8	161	995	20	24,39	31,54	8	10	2
9	195	1055	19	26,34	32,48	9	7	-2
10	114	1002	18	26,03	31,65	10	9	-1
11	208	811	17	22,85	28,48	11	16	5
12	170	959	17	25,89	30,97	12	13	1
13	422	537	16	16,76	23,17	13	19	6
14	212	900	15	25,98	30,00	14	15	1
15	136	534	14	18,39	23,11	15	20	5
16	103	416	14	14,84	20,40	16	27	11
17	161	904	14	26,61	30,07	17	14	-3
18	95	419	13	15,81	20,47	18	25	7
19	41	392	13	14,93	19,80	19	29	10
20	89	453	12	17,57	21,28	20	24	4
21	129	1639	12	38,66	40,48	21	5	-16
22	80	591	12	21,14	24,31	22	18	-4
23	91	383	12	15,46	19,57	23	30	7
24	167	406	12	16,19	20,15	24	28	4
25	48	490	12	18,61	22,14	25	21	-4
26	77	462	11	18,46	21,49	26	23	-3
27	116	418	11	17,24	20,45	27	26	-1
28	164	743	11	24,94	27,26	28	17	-11
29	65	478	11	18,89	21,86	29	22	-7
30	52	973	10	29,54	31,19	30	12	-18

Из таблицы следует, что из всех цитирований базовых публикаций не поменяли рейтинговое положение в коллективе только два преподавателя, семь заняли от 1 до 3 мест, а остальные от

4 до 18 мест. Анализ представленных результатов показал существенные отличия положений преподавателей, у которых базовые публикации есть значимые работы.

Так, автор с порядковым номером по h -индексу Хирша 30 имеет всего 52 работы, но у 10 из них индекс gh равен 31,19. Он перемещается с 30-го места рейтинга по индексу Хирша на 12-е по индексу gh . Вместе с тем автор с порядковым номером по индексу Хирша 16 перемещается с 16-го места на 27-е. Происходит это за счет невысокой значимости базовых публикаций. Таким образом, выполненные оценки по модифицированным индексам позволили более качественно по сравнению с индексом Хирша установить рейтинг ученых.

Заключение

Таким образом, предложенные индексы позволяют проводить оценку рейтингового положения авторов публикаций в вузе, базируясь на простом вычислении и сравнении модифицированных индексов. Методически задача решается в пять этапов. На первом этапе производится формирование функций распределения цитирований для каждого преподавателя, на втором – оценка индекса Хирша, на третьем – выполняется структурирование общего объема цитирований работ всех авторов, на четвертом – осуществляется вычисление gh - и hp -индексов, на пятом проводится формирование рейтингов.

В результате проведенных исследований показано, что следует ввести понятия «квадрат значимых цитирований» h базовых работ ученого и «квадрат интенсивной работы» преподавателя. Индекс gh будем считать индексом базовых публикаций, так как он устанавливает значимость работ ученого, индекс hp – полагать индексом внебазовых публикаций, который необходимо связывать с характеристикой интенсивности работы ученого.

На основании введенных индексов целесообразно оценивать публикации преподавателей дифференцированно, разделяя их при формировании рейтингов по значимости публикаций и интенсивной работе над ними.

Библиографический список

1. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output / J. E. Hirsch // Proc. Nat. Sci. – 2005. – Vol. 102. – N 46. – P. 16569–16572. – <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
2. Egghe L. Theory and practice of the g -index / L. Egghe // Scientometrics. – 2006. – Vol. 69. – N 1. – P. 131–152. – <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>
3. Гусев А. Б. Мониторинг и оценка результатов научно-технической деятельности: зарубежный опыт и российская практика / А. Б. Гусев [и др.] // Наука. Инновации. Образование. – 2018. – № 1 (27). – С. 65–91.
4. Холодов А. С. Об индексах цитирования научных работ / А. С. Холодов // Вестн. Рос. академии наук. – 2015. – Т. 85. – № 4. – С. 310–320. – <https://doi.org/10.7868/S0869587315010053>
5. Молини А. Библиометрия как оружие массового цитирования / А. Молини, Д. Боденхаузен // Вестн. Рос. академии наук. – 2017. – Т. 87. – № 1. – С. 70–77. – <https://doi.org/10.7868/S0869587317010066>
6. Паршин А. Н. Наука или библиометрия: кто кого? / А. Н. Паршин // Вестн. Рос. академии наук. – 2018. – Т. 88. – № 11. – С. 982–991. – <https://doi.org/10.31857/S086958730002330-1>
7. Иванчик А. И. Особенности оценки исследователей и исследовательских программ в гуманитарных вузах / А. И. Иванчик // Вестн. Рос. академии наук. – 2018. – Т. 88. – № 11. – С. 985–991. – <https://doi.org/10.31857/S086958730002331-2>
8. Гринев А. В. Научные публикации и наукометрические показатели как объект нечистоплотного бизнеса / А. Б. Гусев // Вестн. Рос. академии наук. – 2018. – Т. 88. – № 10. – С. 908–917. – <https://doi.org/10.31857/S086958730002147-9>
9. Финкельштейн А. В. Хирш и РАН / П. В. Финкельштейн // Вестн. Рос. академии наук. – 2015. – Т. 85. – № 2. – С. 177. – <https://doi.org/10.7868/S0869587315020048>
10. Михайлов О. В. Новая версия индекса Хирша – j -индекс / О. В. Михайлов // Вестн. Рос. академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 6. – С. 532. – <https://doi.org/10.7868/S0869587314060085>
11. Герасименко П. В. Модификация h -индекса Хирша / П. В. Герасименко // Вестн. Приднестровск.

гос. ун-та. Сер. Физико-математические и технические науки. – 2019. – № 3 (63). – С. 52–54.

12. Герасименко П. В. Модификация индекса Хирша для дифференцированной оценки результатов творческой деятельности ученых / П. В. Герасименко // Управление наукой и наукометрия. – 2020. – Т. 15. – № 1. – С. 55–71. –

<https://doi.org/10.33873/2686-6706.2020.15-1.55-71>

13. Герасименко П. В. Сравнительный анализ алгоритмов формирования индекса Хирша и его моди-

фикаций / П. В. Герасименко // Управление наукой и наукометрия. – 2020. – Т. 15. – № 3. – С. 307–331. – <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2020.15-3.307-331>

Дата поступления: 19.05.2021

Решение о публикации: 17.06.2021

Контактная информация:

ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич – д-р техн. наук, проф.; pv39@mail.ru

Algorithms of modified Hirsch index for the formation of ratings of university teachers in terms of publications and their quotes

P. V. Gerasimenko

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

For citation: Gerasimenko P. V. Algorithms of modified Hirsch index for the formation of ratings of university teachers in terms of publications and their quotes. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss.3, pp. 402–409. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-402-409

Summary

Objective: To suggest an algorithm for assessing the results of the scientific activity of a teacher drawing on published works and their quotes, which should make it possible to consider the total quoting of significant publications determined by the Hirsch algorithm. To create a more advanced approach to the effective assessment of scientists' publication activities compared to the Hirsch number. **Methods:** A systematization approach is used to systematize the total citation array, by separating it into the following citation arrays: 1) the basic, defined Hirsch index; 2) significant publications; 3) intensity of work. The resulting arrays formed the basis of the creation of three indices: h – Hirsch's index, g – an index of significant publications and p – intensive work index. These indexes allowed us to determine the Euclidean norms gh – the index of basic significant publications and hp – the intensive work index of a teacher. The above indices make it possible to differentiate the teachers' publication activities and produce better ranking in the team. **Results:** The ratings of a team of authors formed by the sample from Russian Science Citation Index using the Hirsch index and the gh -index are built. It is shown that more efficient compared to the Hirsch index is the proposed approach. **Practical importance:** The described approach to the formation of the rating position of the authors of publications in the creative team is based on a simple calculation and comparison of the modified Hirsch indices.

Keywords: Index, quoting, scientific works, scientist, creative activity, vector components, Euclidean norm, square, rating.

References

1. Hirsch J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proc. Nat. Sci.*, 2005, vol. 102, no. 46, pp. 16569–16572. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>

2. Egghe L. Theory and practice of the g -index. *Scientometrics*, 2006, vol. 69, no. 1, pp. 131–152. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>
3. Gusev A. B. Monitoring i otsenka rezul'tatov nauchno-tekhnicheskoy deyatel'nosti: zarubezhnyy opyt i rossiyskaya praktika [Monitoring and assessment of the results of scientific and technical activities: foreign experience and russian practice]. *Nauka. Innovatsii. Obrazovaniye* [Science. Innovation. Education], 2018, no. 1 (27), pp. 65–91. (In Russian)
4. Kholodov A. S. Ob indeksakh tsitirovaniya nauchnykh rabot [On science citation indices]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 85, no. 4, pp. 310–320. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869587315010053>. (In Russian)
5. Molini A. & Bodenkhaufen D. Bibliometriya kak oruzhiye massovogo tsitirovaniya [Bibliometry as weapons of mass citation]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2017, vol. 87, no. 1, pp. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869587317010066>. (In Russian)
6. Parshin A. N. Nauka ili bibliometriya: kto kogo? [Science or bibliometry: who will win?] *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 88, no. 11, pp. 982–991. DOI: <https://doi.org/10.31857/S086958730002330-1>. (In Russian)
7. Ivanchik A. I. Osobennosti otsenki issledovately i issledovatel'skikh programm v gumanitarnykh vuzakh [Features of the evaluation of researchers and research programs in humanitarian universities]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 88, no. 11, pp. 985–991. DOI: <https://doi.org/10.31857/S086958730002331-2>. (In Russian)
8. Grinev A. V. Nauchnyye publikatsii i naukometricheskiye pokazateli kak ob'yekt nechistoplotnogo biznesa [Scientific publications and scientometric indicators as an object of shady business]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 88, no. 10, pp. 908–917. DOI: <https://doi.org/10.31857/S086958730002147-9>. (In Russian)
9. Finkelstein A. V. Khirsh i RAN [Hirsch and RAS]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 85, no. 2, p. 177. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869587315020048>. (In Russian)
10. Mikhailov O. V. Novaya versiya indeksa Khirsha – j -indeks [New version of the Hirsch index – j -index]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 84, no. 6, p. 532. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869587314060085>. (In Russian)
11. Gerasimenko P. V. Modifikatsiya h -indeksa Khirsha [Modification of the h -index of Hirsch]. *Vestnik Pridnestrovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Fiziko-matematicheskiye i tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of Transnistrian State University. Ser. Physical and Mathematical and Technical Sciences], 2019, vol. 3 (63), pp. 52–54. (In Russian)
12. Gerasimenko P. V. Modifikatsiya indeksa Khirsha dlya differentsirovannoy otsenki rezul'tatov tvorcheskoy deyatel'nosti uchenykh [Modification of the Hirsch index for a differentiated assessment of the results of scientists' creative activities]. *Upravleniye naukoj i naukometriya* [Management of science and scientometrics], 2020, vol. 15, no. 1, pp. 55–71. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2020.15-1.55-71>. (In Russian)
13. Gerasimenko P. V. Sravnitel'nyy analiz algoritmov formirovaniya indeksa Khirsha i yego modifikatsiy [Comparative analysis of algorithms for the formation of index Hirsch and its modifications]. *Upravleniye naukoj i naukometriya* [Management of science and scientometrics], 2020, vol. 15, no. 3, pp. 307–331. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2020.15-3.307-331>. (In Russian)

Received: May 19, 2021

Accepted: June 17, 2021

Author's information:

Petr V. GERASIMENKO – D. Sci. in Engineering, Professor; pv39@mail.ru

УДК 69.035.4

Оценка технического состояния подземных сооружений крупнейшей гидроэлектростанции Северного Кавказа Чиркейской ГЭС

В. Н. Кавказский¹, Я. В. Мельник¹, А. П. Лейкин¹, А. В. Бенин¹, В. В. Бондаренко²

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

² Акционерное общество «Ленгидропроект», Российская Федерация, 197227, Санкт-Петербург, пр. Испытателей, 22

Для цитирования: Кавказский В. Н., Мельник Я. В., Лейкин А. П., Бенин А. В., Бондаренко В. В. Оценка технического состояния подземных сооружений крупнейшей гидроэлектростанции Северного Кавказа Чиркейской ГЭС // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 410–420. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-410-420

Аннотация

Цель: Оценка состояния Чиркейской ГЭС, которая на сегодняшний день является самой мощной гидроэлектростанцией на Северном Кавказе с самой высокой в России арочной плотиной и второй по высоте плотиной в стране после Саяно-Шушенской ГЭС. Не даром ее называют жемчужиной Кавказа. **Методы:** Для эксплуатации и обслуживания этого уникального сооружения построен масштабный комплекс подземных сооружений различного назначения, техническое состояние которого необходимо постоянно контролировать. Для проведения работ по обследованию подземных сооружений руководством проектно-изыскательского института АО «Ленгидропроект» было принято решение привлечь специалистов кафедры «Тоннели и метрополитены» и испытательного центра «Прочность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, которые были успешно осуществлены в конце 2015 г. **Результаты:** Объективно оценена сохранность подземных сооружений. Разработаны рекомендации по ремонту и дальнейшей комплексной реконструкции Чиркейской ГЭС. **Практическая значимость:** Проведение обследования подземных сооружений Чиркейской ГЭС позволит разработать комплекс мер по сохранности самой ГЭС.

Ключевые слова: Чиркейская ГЭС, автодорожный транспортный тоннель, гидротехнический тоннель, комплекс подземных сооружений, обследование состояния конструкций.

Введение

Чиркейская ГЭС расположена в живописном районе Северного Кавказа в Буйнакском районе Республики Дагестан на самой крупной в регионе реке Сулак, которая берет свое начало на северо-восточных склонах Главного Кавказского хребта и относится к многоводным рекам, протекая в основном в глубоких горных каньонах [1, 2].

Чиркейская ГЭС входит в состав Сулакского каскада гидроэлектростанций и является его основной, верхней, регулирующей весь каскад, ступенью.

Она предназначена для выдачи мощности и энергии в объединенную энергетическую систему Северного Кавказа при комплексном использовании стока р. Сулак.

Гидротехнические сооружения Чиркейской ГЭС относятся к I классу.



Рис. 1. Вид арочной плотины с нижнего бьефа (фото с <http://www.rushydro.ru>)

В состав гидротехнических сооружений Чиркейского гидроузла входят:

- 1) арочная плотина (рис. 1);
- 2) водоприемник;
- 3) здание ГЭС;
- 4) эксплуатационный водосброс;
- 5) корпус управления, производственные корпуса № 1 и 2;
- 6) комплекс подземных сооружений (цементационная, кабельная, вентиляционные шахты, штольни, подходные пути, галереи).

Основные титульные сооружения Чиркейского гидроузла расположены в узкой части каньенообразного Чиркейского ущелья, прорезанного горной рекой глубиной более 200 м. Борты ущелья имеют практически вертикальные скальные откосы со сложными инженерно-геологическими условиями с выходами на поверхность потенциально неустойчивых скальных блоков, отсеченных от основного массива, и множества различной глубины и раскрытия, а также направлений трещин.

По шкале MSK-64 сейсмичность района составляет 9 баллов.

С момента пуска первого агрегата в 1974 г. Чиркейская ГЭС эксплуатируется более 40 лет и 35 лет после официального подписания акта приемки гидроузла в промышленную эксплуатацию 9 февраля 1981 г. Ведется постоянный мониторинг состояния сооружений ГЭС [3–6].

За долгие годы эксплуатации Чиркейская ГЭС исправно выдает электроэнергию стране, но, как любому живому организму или механизму, наступает время, когда требуется лечение либо ремонт. Не обошла стороной программа по модернизации и техническому перевооружению и Чиркейскую ГЭС (рис. 1). В частности, компанией ПАО «РусГидро» запланированы основные работы по техническому перевооружению и реконструкции ГЭС на 2017–2025 гг., а масштабная модернизация гидроузла с реконструкцией основного оборудования еще впереди.

В рамках намеченной модернизации гидроузла с реконструкцией АО «Ленгидропроект» привлекло специалистов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I для обследования подземных сооружений Чиркейской ГЭС и



Рис. 2. Расположение автодорожного транспортного тоннеля № 1
(скриншот google.ru/maps)



Рис. 3. Перспектива автодорожного транспортного тоннеля № 1

уточнения технического фактического состояния подземных сооружений и их соответствия проектным параметрам.

Описание объекта исследования

В состав обследуемых сооружений Чиркейской ГЭС входил комплекс титульных подземных сооружений, которые можно разделить по назначению на три группы туннелей: транспортные; гидротехнические; вспомогательные.

Автодорожный транспортный тоннель – автодорожный тоннель № 1 (рис. 2, 3) построен в 1968–1970 гг., эксплуатируется более 50 лет. По отношению к пересекаемому горному массиву автодорожный тоннель № 1 расположен на правом берегу гидроузла, в северном склоне лога Калудалкал на внутриплощадочной подъездной автомобильной дороге, соединяющей верхний бьеф ГЭС с нижним.

В состав основных титульных подземных сооружений Чиркейской ГЭС входит **гидротехнический туннель** – эксплуатационный водосброс, назначение которого – предотвратить возможную аварию в результате критического подъема воды в водохранилище. Крити-

ческий уровень воды в водохранилище может быть связан с действием паводков, образованием волны при обрушении в водохранилище потенциально неустойчивого грунтового массива большого объема или при сейсмическом воздействии. В результате этих явлений может произойти перелив воды через гребень плотины и вызвать воздействие нагрузок, близких или превышающих предельно допустимые значения. Для предотвращения таких последствий и служит эксплуатационный водосброс. На Чиркейской ГЭС эксплуатационный водосброс расположен на левом берегу гидроузла, в 85 м от арочной плотины и обеспечивает пропуск в безнапорном режиме максимальных сбросных расходов до 2900 м³/с. На рис. 4 представлен план расположения эксплуатационного водосброса, а на рис. 5 – его вид с верхнего бьефа.

Комплекс подземных сооружений (цементационная, кабельная, вентиляционные шахты, штольни, подходные штольни, галереи)

В состав комплекса подземных сооружений Чиркейской ГЭС входят следующие выработ-



Рис. 4. План эксплуатационного водосброса (авторское фото с использованием картинки google.ru/maps)



Рис. 5. Вид эксплуатационного водосброса с верхнего бьефа

ки: 1) левобережная и правобережная вентиляционные шахты; 2) кабельная шахта и кабельный туннель; 3) шахты арочной плотины; 4) дренажно-цементационные штольни левого и правого берегов на отметках 331,0; 265,6; 220,6; 163,0 и 131,5 м; 5) штольни крепления левобережного откоса котлована ГЭС. Они необходимы для обеспечения безопасной эксплуатации и надежной работы арочной плотины и гидроузла в целом.

Плотина Чиркейской ГЭС имеет неординарные геометрические и конструктивные параметры. Она состоит из арочной части, клинообразной русловой «пробки» и правобережного устоя. Максимальная строительная высота – 232,5 м, длина по гребню – 338,0 м, ширина гребня – 6,0 м, отметка гребня плотины – 359,5 м.

Арочная плотина – бетонная арка, уложенная горизонтально в глубокий горный каньон, перекрывающая всю мощь речного потока р. Сулак от одного берега до другого, которая позволяет

выдерживать значительные нагрузки, несмотря на свою изящную конструкцию. Арочная плотина выдерживает напор воды, благодаря трем важным свойствам, в совокупности обеспечивающим ее устойчивость:

- сопротивлению вертикальных элементов ее конструкции (которые действуют как консоли, заделанные в основание);
- массе сооружения;
- особенностям арочной конструкции, которая опирается своими береговыми гранями на береговые устои и передает на них основную нагрузку от воды в виде распора.

Таким образом, безаварийная и надежная работа конструкции плотины зависит от сохранности физико-механических свойств скальных пород в зоне береговых устоев и сопряжения плотины. Поскольку береговые участки бортов плотины со стороны верхнего бьефа подвержены воздействию воды, а многочисленные трещины и природная слоистость осадочных пород способствуют обводнению горного массива, то



Рис. 6. Вид на анкерную штольню с распределенными по сечению тяжами – анкерами

происходит снижение прочностных свойств в зоне примыкания плотины с массивом.

Чтобы контролировать негативное воздействие воды и препятствовать ему, по левой и правой сторонам арочной плотины предусмотрены дренажные и цементационные штольни: первые – для сбора и отвода в нижний бьеф фильтрационной воды, а также для снижения гидростатического давления в массиве; вторые – для укрепления горной породы путем бурения скважин и нагнетания через них в горный массив мелкодисперсных цементных составов, обладающих большой проникающей способностью.

Особого внимания заслуживают штольни крепления левобережного откоса котлована ГЭС. Они выполнены для обеспечения устойчивости левобережного склона, рассеченного сколами и тектоническими трещинами, разрушение (оползание) которого может повлиять на работоспособность здания ГЭС и отводящего канала. Выполненное анкерное крепление охватывает 170-метровый участок по высоте склона (отм. 331 м – отм. 161,0 м).

На наружной поверхности склона располагаются железобетонная облицовка и удерживающая балка, а параллельно ей в глубине сохранного скального массива в специально пройденных штольнях возведены анкерные балки, между которыми установлена система штолен (рис. 6), напряженные тяжи – анкера из высокопрочной стали на шести горизонтах по высоте борта (откоса), имеющих подходы из дренажных штолен левобережного примыкания плотины. На каждом горизонте в каждой штольне размещены по 32 тяжа – анкера диаметром 56 мм из стали марки 40Х. Расчетное усилие натяжения – 52 тс.

Методы оценки технического состояния подземных сооружений Чиркейской ГЭС

Для оценки технического состояния различных по назначению подземных сооружений Чиркейской ГЭС применялась методика ком-

плексного обследования туннельных конструкций и заобделочного пространства, разработанная специалистами ПГУПС и апробированная на объектах Петербургского и Московского метрополитенов, а также на объектах транспортной инфраструктуры ОАО «РЖД» [7–10].

Данная методика предполагает выполнение работ в пять этапов [11, 12].

На первом этапе георадаром «ОКО-2» определялось наличие арматуры, аномалий в бетонной конструкции и пустот за обделкой, а также оценивалось состояние заобделочного пространства в целом и структура вмещающих пород вблизи обделки, в частности. Примеры радарограмм с результатами исследований представлены на рис. 7.

На втором этапе с помощью ультразвукового томографа А1040 М ПОЛИГОН обнаруживались зоны пустот за обделкой и уточнялись их границы, а также глубина их простираения (рис. 8).

На третьем этапе методом отрыва со скалыванием (прямой метод) определялась прочность тоннельной обделки с шагом 20–50 м в зависимости от протяженности тоннеля. Такая плотная сетка точек испытания позволила оперативно получить максимальную информацию о прочностных характеристиках бетона в полевых условиях и выявить зоны, где они низкие. Дополнительно на данном этапе устанавливалась водонепроницаемость обделки подземных сооружений.

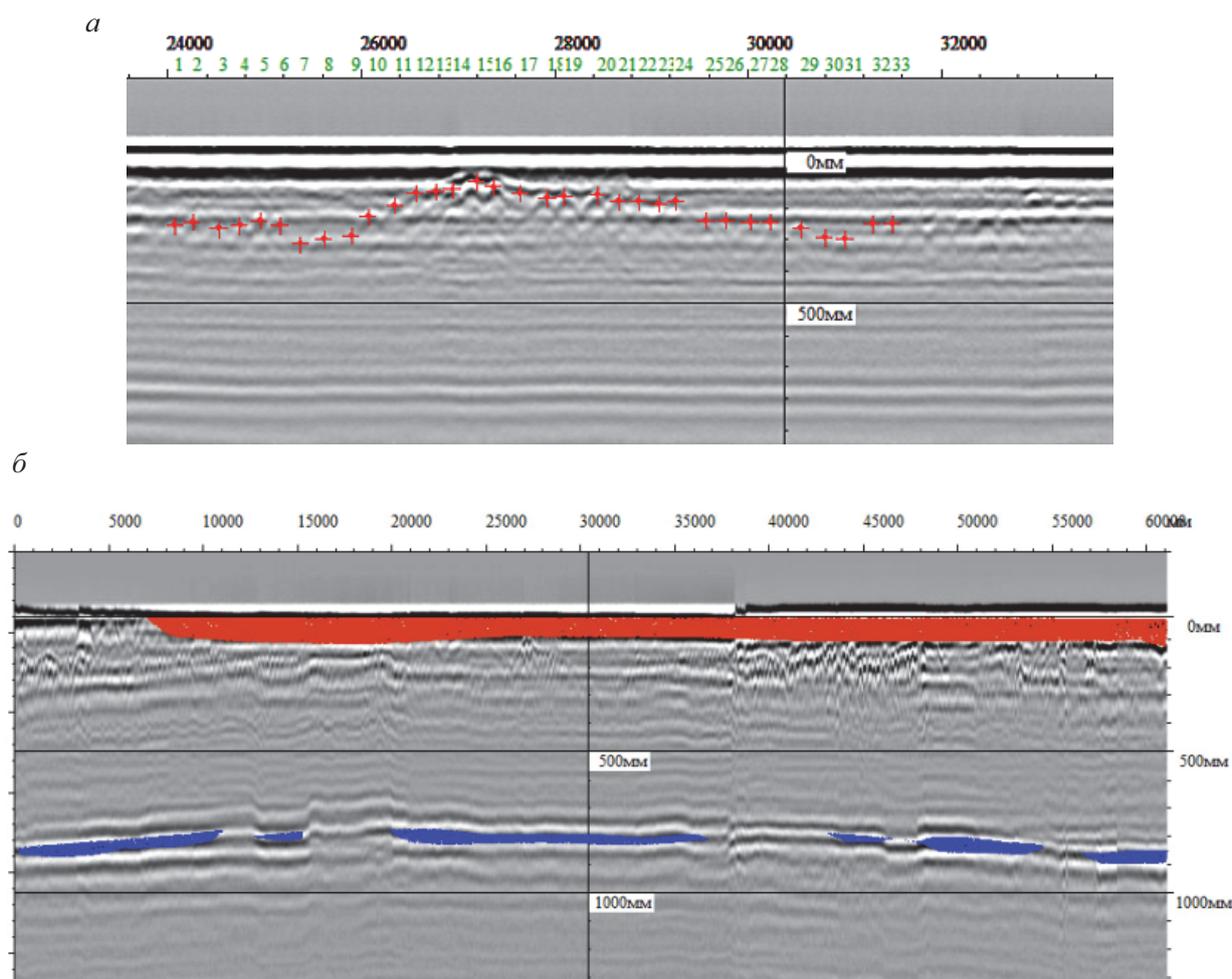


Рис. 7. Примеры радарограмм:
а – результаты армирования обделки; *б* – обводненность контакта обделки и грунта

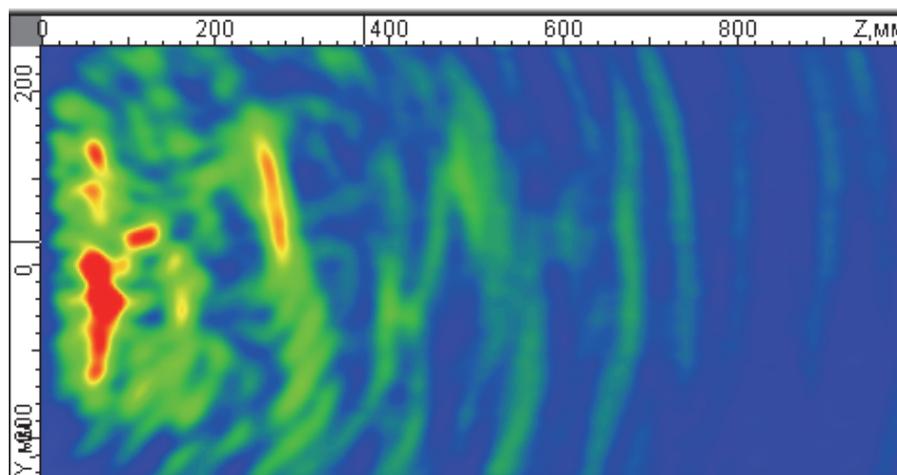


Рис. 8. Обследование обделки ультразвуковым методом: дефекты в структуре бетона представлены на радарограмме (выделены красным цветом)

Для более точного расчета прочности в лабораторных условиях и уточнения данных геофизических исследований о наличии пустот за обделкой на четвертом этапе выполнялась проверка полученных результатов путем непосредственного выбуривания кернов бетона обделки и породы. Места отбора кернов были обследованы с помощью эндоскопа с функцией фотофиксации, что позволило иметь исчерпывающую информацию о контакте с породой и структурных нарушениях бетона.

Пятый этап – лабораторные испытания по определению прочностных характеристик бетона, которые были выполнены в Испытательном центре «Прочность» ПГУПС.

Предложенную методику можно адаптировать под объекты, отличающиеся как по назначению, так и по классу ответственности сооружения. Описанные методы позволили получить данные об армировании бетонных конструкций туннеля и изучить структуру грунта в заобделочном пространстве массива.

Заключение

Проведенные исследования обделки бетона в подземных выработках Чиркейской ГЭС показали, что бетонные работы выполнены на

высоком техническом уровне, а прочностные характеристики на большей части сооружений превышают проектные значения как по прочности, так и по водонепроницаемости.

Выполненное комплексное обследование подземных сооружений Чиркейской ГЭС и установлению технического состояния выработок позволили объективно оценить сохранность титульных подземных сооружений. В техническом отчете о комплексном обследовании разработаны рекомендации по ремонту и дальнейшей эксплуатации сооружений, которые были учтены при разработке проектной документации по реконструкции Чиркейской ГЭС. Описанный комплекс подземных сооружений Чиркейской ГЭС является важнейшей составной частью огромного комплекса гидротехнических сооружений Чиркейской ГЭС, которая большей частью скрыта в глубине скального массива, сформированного за миллионы лет, но от этой части зависит сохранность самой ГЭС – шедевра инженерной мысли, уникального сооружения, жемчужины Северного Кавказа.

Библиографический список

1. Чиркейская ГЭС. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения : 26.01.2021).

2. <https://www.dagestan.rushydro.ru/hpp/chirkey> (дата обращения : 26.01.2021).
3. <https://www.rushydro.ru> (дата обращения : 26.01.2021).
4. Люцко Е. А. Мониторинг состояния плотины Чиркейской ГЭС по перемещениям / Е. А. Люцко // Изв. Всерос. науч.-исслед. ин-та гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2010. – Т. 259. – С. 41–48.
5. Дурчева В. Н. Оценка состояния отечественных водоводов по данным натуральных наблюдений / В. Н. Дурчева, Л. Э. Беллендир // Изв. Всерос. науч.-исслед. ин-та гидротехники им. Б. Е. Веденеева. – 2016. – Т. 282. – С. 48–54.
6. Дурчева В. Н. Состояние арочной плотины Чиркейской ГЭС по данным натуральных наблюдений за 2000–2010 гг. / В. Н. Дурчева, Е. И. Варламова, С. М. Пучкова // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 6. – С. 30–35.
7. Абакаров А. Р. Исследование водовода плотины Чиркейской ГЭС методом инфракрасного дистанционного зондирования / А. Р. Абакаров, Ш. Г. Идармачев, С. Г. Корниенко // Гидротехническое строительство. – 2000. – № 5. – С. 5–7.
8. Фролов Ю. С. Исследование деформированного состояния обделки эскалаторного тоннеля станции метро / Ю. С. Фролов, А. Н. Коньков, В. Н. Кавказский // Транспортное строительство. – 2012. – № 4. – С. 34–36.
9. Бенин А. В. Оценка влияния строительства в охранной зоне метрополитена на подземные сооружения / А. В. Бенин, А. Н. Коньков, В. Н. Кавказский, А. Л. Новиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 5. – С. 23–26.
10. Куликова Е. Ю. Оценка условий работы бетонных обделок канализационных коллекторных тоннелей / Е. Ю. Куликова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 8. – С. 21–28.
11. Ледяев А. П. Факторы, влияющие на особенности проектирования тоннелей на высокоскоростных магистралях / А. П. Ледяев, В. Н. Кавказский, О. О. Шелгунов // Августин Бетанкур : от традиций к будущему инженерного образования: материалы Международ. науч.-практич. конференции. – СПб. : ПГУПС, 2018. – С. 108–113.
12. Бенин А. В. Экспериментальные методы контроля качества строительных материалов и конструкций : учеб. пособие / А. В. Бенин, А. П. Лейкин, С. В. Николаев. – СПб. : ПГУПС, 2015. – 227 с.
- Дата поступления: 29.01.2021
Решение о публикации: 11.02.2021

Контактная информация:

КАВКАЗСКИЙ Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доц.; kavkazskiy_vn@mail.ru
МЕЛЬНИК Яна Владленовна – канд. техн. наук, доц.; tunnels@pgups.ru
ЛЕЙКИН Алексей Павлович – канд. техн. наук, доц.; sm@pgups.ru
БЕНИН Андрей Владимирович – канд. техн. наук, доц.; nich@pgups.ru
БОНДАРЕНКО Виктор Викторович – инженер; bondarenkovv@lhp.ru

Assessment of the technical condition of underground structures of the largest hydroelectric power station in the North Caucasus, the Chirkeyskaia HPP

V. N. Kavkazsky¹, Ya. V. Mel'nik¹, A. P. Leikin¹, A. V. Benin¹, V. V. Bondarenko²

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

² Lengidproekt, Joint-Stock Company, 22, pr. Ispytateley, Saint Petersburg, 197227, Russian Federation

For citation: Kavkazsky V. N., Mel'nik Ya. V., Leikin A. P., Benin A. V., Bondarenko V. V. Assessment of the technical condition of underground structures of the largest hydroelectric power station in the North

Caucasus, the Chirkeyskaaya HPP. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 410–420. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-410-420

Summary

Objective: Chirkeyskaaya HPP is by far the most powerful hydroelectric power plant in the North Caucasus with the highest arched dam in Russia and the second highest dam in the country after the Sayano-Shushenskaya HPP. This explains why it is called the pearl of the Caucasus. **Methods:** For the operation and maintenance of this unique structure, a large-scale complex of underground structures for various purposes was built, the technical condition of which must be constantly monitored. To carry out work on the survey of underground structures, the management of the design and survey institute of JSC “Lengidroproekt” decided to attract specialists from the Department of Tunnels and Subways and the Test Center “Strength” of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University. The work was successfully carried out at the end of 2015. **Results:** The safety of underground structures was objectively assessed. Recommendations for the repair and further comprehensive reconstruction of the Chirkeyskaaya HPP have been developed. Practical importance: Carry out work on the survey of underground structures of Chirkeyskaaya HPP is allows elaborate of complex measures on safety from Chirkeyskaaya HPP.

Keywords: Chirkeyskaaya HPP, road transport tunnel, hydraulic tunnel, complex of underground structures, inspection of the state of structures.

References

1. *Chirkeyskaaya GES* [Chirkeyskaaya HPP]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed: January 26, 2021). (In Russian)
2. <https://www.dagestan.rushydro.ru/hpp/chirkey/> (accessed: January 26, 2021). (In Russian)
3. <https://www.rushydro.ru> (accessed: January 26, 2021). (In Russian)
4. Lyutsko E. A. Monitoring sostoyaniya plotiny Chirkeyskaoy GES po peremeshcheniyam [Monitoring the state of the dam of the Chirkeyskaaya HPP by displacements]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedenev* [Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev], 2010, vol. 259, pp. 41–48. (In Russian)
5. Durcheva V. N. & Bellendir L. E. Otsenka sostoyaniya otechestvennykh vodovodov po dannym naturnykh nablyudeniy [Assessment of the state of domestic water pipelines according to field observations]. *Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedenev* [Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev], 2016, vol. 282, pp. 48–54. (In Russian)
6. Durcheva V. N., Varlamova Ye. I. & Puchkova S. M. Sostoyaniye arochnoy plotiny Chirkeyskaoy GES po dannym naturnykh nablyudeniy za 2000–2010 gg. [State of the arch dam of the Chirkei hydroelectric power station according to field observations for 2000–2010]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo* [Hydraulic engineering], 2010, no. 6, pp. 30–35. (In Russian)
7. Abakarov A. R., Idarmachev Sh. G. & Korniyenko S. G. Issledovaniye vodovoda plotiny Chirkeyskaoy GES metodom infrakrasnogo distantsionnogo zondirovaniya [Investigation of the water conduit of the dam of the Chirkeyskaaya HPP by the method of infrared remote sensing]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo* [Hydraulic engineering], 2000, no. 5, pp. 5–7. (In Russian)
8. Frolov Yu. S., Kon'kov A. N. & Kavkazsky V. N. Issledovaniye deformirovannogo sostoyaniya obdelki eskalatornogo tonnellya stantsii metro [Study of the deformed state of the lining of the escalator tunnel of the metro station]. *Transportnoye stroitel'stvo* [Transport construction], 2012, no. 4, pp. 34–36. (In Russian)
9. Benin A. V., Kon'kov A. N., Kavkazsky V. N. & Novikov A. L. Otsenka vliyaniya stroitel'stva v okhranoy zone metropolitena na podzemnyye sooruzheniya [Assessment of the impact of construction in the buffer zone of the metro on underground structures]. *Pro-myshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial

and civil construction], 2011, no. 5, pp. 23–26. (In Russian)

10. Kulikova E. Yu. Otsenka usloviy raboty betonnykh obdelok kanalizatsionnykh kollektornykh tonneley [Assessment of working conditions of concrete lining of sewer collector tunnels]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2007, no. 8, pp. 21–28. (In Russian)

11. Ledyayev A.P., Kavkazsky V.N. & Shelgunov O.O. Faktory, vliyayushchiye na osobennosti proyektirovaniya tonneley na vysokoskorostnykh magistralyakh [Factors affecting the design features of tunnels on high-speed lines]. *Avgustin Betankur: ot traditsiy k budushchemu inzhenernogo obrazovaniya. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Augustine Bettencourt: From traditions to the future of engineering education. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2018, pp. 108–113. (In Russian)

12. Benin A. V., Leikin A. P. & Nikolaev S. V. *Eksperimental'nyye metody kontrolya kachestva stroitel'nykh materialov i konstruktsiy. Uchebnoye posobiye* [Experimental methods of quality control of building materials and structures. A tutorial]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2015, 227 p. (In Russian)

Received: January 29, 2021

Accepted: February 11, 2021

Authors' information:

Vladimir N. KAVKAZKY – PhD in Technics, Associate Professor; kavkazskiy_vn@mail.ru

Yana V. MEL'NIK – PhD in Technics, Associate Professor; tunnels@pgups.ru

Alexey P. LEIKIN – PhD in Technics, Associate Professor; sm@pgups.ru

Andrey V. BENIN – PhD in Technics, Associate Professor; nich@pgups.ru

Victor V. BONDARENKO – Engineer; bondarenkovv@lhp.ru

УДК 628.144

Техническое регулирование значений гидравлических параметров неновых металлических труб для продления периода их использования

О. А. Продоус¹, Л. Д. Терехов², П. П. Якубчик², А. С. Черных²

¹ ООО «ИНКО-эксперт», Российская Федерация, 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1, лит. А

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Продоус О. А., Терехов Л. Д., Якубчик П. П., Черных А. С. Техническое регулирование значений гидравлических параметров неновых металлических труб для продления периода их использования // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 421–427. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-421-427

Аннотация

Цель: Сравнить характеристики гидравлического потенциала изношенных стальных труб с внутренними отложениями, подвергнутых очистке двумя способами – механическим и химическим.

Методы: Используются расчетные зависимости для гидравлического расчета неновых металлических труб и труб с внутренними отложениями. **Результаты:** Получена расчетная зависимость для определения значения внутреннего диаметра труб с любой толщиной слоя внутренних отложений. Введено понятие «эффективный трубопровод». Проведено сравнение значений потерь напора в новых трубах и в трубах с внутренними отложениями. Рассмотрен конкретный практический пример. Для приведенного примера сравнены энергозатраты насосного оборудования для двух способов очистки внутренней поверхности труб. Указаны мероприятия, обеспечивающие эффективность эксплуатации сетей водоснабжения. **Практическая значимость:** Показано, что химический способ технического регулирования гидравлических характеристик неновых стальных труб обеспечивает продление периода их дальнейшего использования.

Ключевые слова: Стальной трубопровод, внутренние отложения, потери напора, энергозатраты насоса, техническое регулирование.

Введение

Техническое регулирование – понятие, установленное Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», предусматривающее комплекс действий, направленных на изменение характеристик системы (изделий, товаров, услуг и т. д.) для повышения их эффективности и продления периода использования [1]. Это понятие относится в полной мере и к трубопроводам систем водо-

снабжения из стальных и чугунных труб без внутренних покрытий.

Под **техническим регулированием** характеристик трубопроводов следует понимать такой комплекс действий, который направлен на изменение их гидравлических параметров, регламентированных действующими нормативными документами (ГОСТами или СП) [2–4]. Напорные трубопроводы систем водоснабжения являются энергозатратными системами, для которых всегда существует зависимость энерго-

затрат насосного оборудования от фактических гидравлических параметров ($d_{\text{вн}}^{\Phi}$, V_{Φ} , i_{Φ}), характеризующих состояние внутренней (рабочей) поверхности трубопровода, определяемая по формуле [5–8]

$$N_{\text{дв}}^{\Phi} = 10^6 \cdot i_{\Phi} \cdot (d_{\text{вн}}^{\Phi})^2 \cdot V_{\Phi} \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \quad (1)$$

где $N_{\text{дв}}^{\Phi}$ – фактические энергозатраты насоса(ов), кВт/ч; $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ – фактический внутренний диаметр труб с учетом толщины слоя отложений на их внутренней поверхности, м (рисунок); V_{Φ} – фактическая скорость потока, м/с; i_{Φ} – фактические потери напора по длине с учетом толщины фактического слоя отложений, м/м; η – коэффициент полезного действия насоса, для расчетов принимают $\eta = 0,7$; Δ_{Φ} – фактическая толщина слоя отложений, м (см. рисунок):

$$\Delta_{\Phi} = S_{\Phi} - S_{\text{р}}, \quad (2)$$

здесь S_{Φ} – фактическая толщина стенки трубы с отложениями, м; $S_{\text{р}}$ – расчетная толщина стенки новой трубы по стандарту, м, принимается по табл. 1.1 справочного пособия [9].

Методика расчетов

Эффективными называются трубопроводы из металлических труб, характеризующиеся минимальными величинами фактических потерь напора $h_{\Phi} = i_{\Phi} \cdot \ell$, м, и величинами фактических энергозатрат насосного оборудования $N_{\text{дв}}^{\Phi}$ при пе-

ремещении по трубопроводу заданного объема воды к потребителю.

Значения фактических потерь напора h_{Φ} равны величине фактического гидравлического уклона i_{Φ} при длине трубопровода $\ell = 1$ п. м. Поэтому на практике чаще используются вместо понятия «фактический гидравлический уклон» «фактические потери напора на сопротивление по длине»: $h_{\Phi} = i_{\Phi}$.

Будем определять расчетные и фактические потери напора $i_{\text{р}(\Phi)}$, м/м, для неновых металлических труб по формуле проф. Ф. А. Шевелева [9]:

$$i_{\text{р}(\Phi)} = 0,00107 \cdot \frac{(V_{\text{р}(\Phi)})^2}{(d_{\text{вн}}^{\text{р}(\Phi)})^{1,3}}, \quad (3)$$

в которой $V_{\text{р}(\Phi)}$ – расчетная (фактическая) скорость потока, м/с, зависящая от фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^{\text{р}(\Phi)}$, м, с внутренними отложениями $\Delta_{\text{р}(\Phi)}$ (см. рисунок):

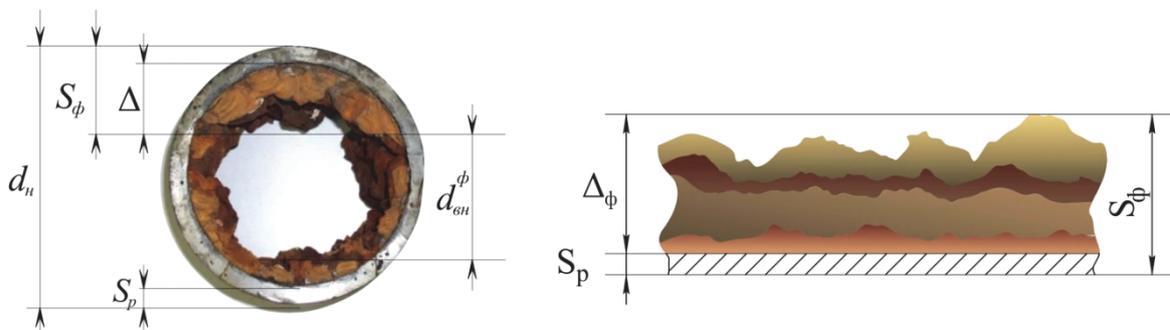
$$d_{\text{вн}}^{\text{р}(\Phi)} = (d_{\text{н}} - 2 \cdot S_{\text{р}}) - 2 \cdot \Delta_{\text{р}(\Phi)}.$$

Для конкретных заданных условий значение $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ рассчитывается следующим образом:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot V_{\Phi}}}, \quad (4)$$

где q – заданный расход, м³/с.

Для неновых металлических трубопроводов значение i_{Φ} в формуле (3) зависит прежде всего от величины фактического внутреннего диамет-



Фрагмент внутренних отложений на стенках стальных труб

ра труб с отложениями $d_{\text{вн}}^{\Phi}$, влияющей на фактическую скорость потока V_{Φ} и на фактические энергозатраты насоса $N_{\text{дв}}^{\Phi}$.

В свою очередь, величины $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ и V_{Φ} зависят от фактической толщины слоя внутренних отложений на стенках труб Δ_{Φ} .

Поэтому техническое регулирование характеристик гидравлического потенциала неновых металлических трубопроводов из стали и серого чугуна ($d_{\text{вн}}^{\Phi}$, V_{Φ} , i_{Φ}) возможно за счет проведения:

1) механической очистки труб от внутренних отложений;

2) замены труб, достигших предельного состояния на новые;

3) продления периода эксплуатации действующих неновых металлических трубопроводов на стадии жизненного цикла «Эксплуатация», благодаря использованию химических реагентов, образующих на поверхности слоя отложений микроскопическую биопленку, которая предотвращает дальнейший рост толщины слоя внутренних отложений [10].

Очевидно, что первое и второе предложения значительно дороже и более трудоемки для реализации по сравнению с третьим. Для этого требуются проведение специальных расчетов и анализ их результатов.

Составленные Ф. А. Шевелевым «Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб» [9] не могут применяться на практике, так как в них не учитывается фактическая толщина слоя внутренних отложений Δ_{Φ} , изменяющаяся во времени и зависящая от качества транспортируемой воды и возраста трубопровода. Это приводит к большим погрешностям при расчете трубопроводов и подборе насосных агрегатов для транспортирования воды [8, 9].

Потому расчетная зависимость (3) должна включать значение Δ_{Φ} , легко контролируемое с помощью переносных ультразвуковых расходомеров в комплекте с толщиномером, по методике, подробно описанной в работе [7].

С учетом обозначений на рисунке фактический внутренний диаметр труб с отложениями $d_{\text{вн}}^{\Phi}$, мм (м), определяется так:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\text{р}(\Phi)}. \quad (5)$$

Тогда формулу (3) с учетом (5) представим следующим образом:

$$i_{\Phi} = 0,00107 \cdot \frac{V_{\Phi}^2}{[(d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\Phi}]^{1,3}}, \quad (6)$$

где V_{Φ} – фактическая скорость потока, зависящая от фактического внутреннего диаметра труб с отложениями $d_{\text{вн}}^{\Phi}$:

$$V_{\Phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\Phi})^2}. \quad (7)$$

С учетом формулы (5) уравнение (7) для практических расчетов при известном (измеренном) значении принимает вид (см. рисунок)

$$V_{\Phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot [(d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\Phi}]^2}, \quad (8)$$

здесь $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб по ГОСТам, м [3, 4].

Поэтому определение фактических характеристик гидравлического потенциала водопроводных труб $d_{\text{вн}}^{\Phi}$, V_{Φ} и i_{Φ} может производиться по (5), (6) и (8) с достаточной точностью.

Оценим результаты технического регулирования характеристик гидравлического потенциала неновых стальных труб с наружным диаметром 219 мм, наиболее часто подвергаемых замене.

Условия задачи

По двум ниткам трубопровода из стальных электросварных труб [3] с наружным диаметром $d_{\text{н}} = 219$ мм, проработавшему 20 лет, транспортируется расход воды $q = 50$ л/с ($0,05$ м³/с). Толщина фактического слоя внутренних отложений за 20 лет эксплуатации трубопровода $\Delta = 25$ мм ($0,025$ м).

Требуется провести оценку и сравнить результаты технического регулирования характе-

ристик гидравлического потенциала ($d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$, $i_{\text{ф}}$), проведенного для первой нитки – механическим способом (ершами, скребками и т. п.), а для второй – химическим способом, после механической очистки труб от слоя внутренних отложений с использованием реагента, образующего на поверхности слоя биологическую микропленку, предотвращающую дальнейший рост толщины слоя внутренних отложений (реагент ПГМГ-ГХ [10]).

Решение

Для расчета $i_{\text{ф}}$ по (8) вычисляют значение $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ по формулам (4) и (5). Толщину фактического слоя отложений определяют по уравнению (2) (см. рисунок).

Результаты расчета характеристик гидравлического потенциала труб для каждой нитки труб по двум способам очистки приведены в таблице.

Сравнение значений (см. таблицу) фактических потерь напора $i_{\text{ф}}$ для каждой нитки труб через 10 лет эксплуатации показывает, что

- в первой нитке труб происходит интенсивный рост толщины слоя отложений с $\Delta_{\text{ф}} = 0,001$ м (1 мм) после очистки труб до $\Delta_{\text{ф}} = 0,02$ м (20 мм) через 10 лет эксплуатации трубопровода в 20 раз.

Результатом изменения значения $\Delta_{\text{ф}}$ через 10 лет будет увеличение величины фактических потерь напора с $i_{\text{ф}} = 0,01781$ м/м после очистки труб до $i_{\text{ф}} = 0,05190$ м/м через 10 лет эксплуатации, т. е. в 2,91 раза;

- во второй нитке труб изменения фактической толщины слоя внутренних отложений $\Delta_{\text{ф}}$ не происходит, поэтому через 10 лет эксплуатации значение $i_{\text{ф}}$ остается постоянным.

Таким образом, подтверждается эффективность эксплуатации трубопровода после проведения технического регулирования гидравлических характеристик, влияющая на продление периода его дальнейшего использования.

Характеристики гидравлического потенциала сравниваемых труб

Параметры для сравнения значений			
Фактическая толщина слоя отложений, $\Delta_{\text{ф}}$, м	Фактический внутренний диаметр труб с отложениями, $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, м	Фактическая скорость потока, $V_{\text{ф}}$, м/с	Фактические потери напора, $i_{\text{ф}}$, м/м
Первая и вторая нитки трубопровода – до применения механического способа очистки			
0,025	0,160	2,49	0,07175
Первая и вторая нитки – после механической очистки			
0,001*	0,208	1,47	0,01781
Первая нитка – через 10 лет после очистки			
0,02 ⁺	0,170	2,20	0,05190
Вторая нитка – через 10 лет после очистки при использовании реагента ПГМГ-ГХ			
0,001	0,208	1,47	0,01781

Примечания:

* – технический допуск толщины остаточного слоя при механическом способе очистки труб;

⁺ – ежегодный прирост толщины слоя внутренних отложений $\Delta_{\text{ф}} = 0,002$ м/год после проведения механической очистки стальных труб.

По формуле (1) рассчитывают фактические энергозатраты насоса $N_{дв}^{\Phi}$ через 10 лет эксплуатации трубопровода, подвергнутого очистке внутренних стенок труб от слоя отложений двумя способами:

механическим (см. таблицу):

$$N_{дв мех}^{\Phi} = 10^6 \cdot 0,05190 \cdot 0,170^2 \cdot 2,20 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 38,08 \text{ кВт/ч,}$$

химическим (см. таблицу):

$$N_{дв хим}^{\Phi} = 10^6 \cdot 0,0178 \cdot 0,208^2 \cdot 1,47 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 13,06 \text{ кВт/ч.}$$

Заключение

Анализ расчетных и фактических значений энергозатрат насоса $N_{дв}^{\Phi}$ показывает, что через 10 лет эксплуатации двух ниток трубопровода $N_{дв мех}^{\Phi} = 38,08 \text{ кВт/ч} > N_{дв хим}^{\Phi} = 13,06 \text{ кВт/ч}$, т. е. больше в 2,92 раза.

Это означает, что при механическом способе очистки стенок труб от внутренних отложений толщина слоя отложений интенсивно увеличивается и через 10 лет эксплуатации трубопровода $\Delta_{\phi} = 0,0001 + (0,02 \cdot 10 \text{ лет}) = 0,021 \text{ м} = 21 \text{ мм}$, т. е. на 4 мм меньше, чем $\Delta_{\phi} = 25 \text{ мм}$ в условиях задачи через 20 лет.

Для приведенного примера химический способ регулирования значений гидравлических характеристик трубопровода $d_{вн}^{\Phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} **предпочтительнее**, так как позволяет длительное время (10 лет после очистки) поддерживать их **практически неизменными**, т. е. обеспечивать эффективность эксплуатации изношенного металлического трубопровода после очистки труб и продлевать период его дальнейшего использования на стадии жизненного цикла «Эксплуатация».

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании». – URL : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (дата обращения : 06.09.2021).
2. СП 31.13330.2012. Свод правил водоснабжения. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02–84* ОКС 93.025. – Введ. 1 января 2013 г. – URL : <https://minstroyrf.gov.ru/docs/11074> (дата обращения : 06.09.2021).
3. ГОСТ 10704–91. Трубы стальные электросварные прямошовные. – М. : Стандартинформ, 1993. – С. 2–7.
4. ГОСТ 3262–75. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 1977. – С. 2–8.
5. Дикаревский В. С. Резервы экономики электроэнергии при транспортировании воды по водотокам из железобетонных труб / В. С. Дикаревский, П. П. Якубчик, О. А. Продоус, Ю. А. Смирнов // Тез. докл. Всесоюз. науч.-технич. семинара «Рациональное использование воды и топливно-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве» (г. Алма-Ата, 6–8 августа 1985 г.). – М. : КСМ ВСНТО, 1985. – С. 90–92.
6. Продоус О. А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб / О. А. Продоус // Сб. докл. XV Междунар. науч.-технич. конференции «Яковлевские чтения». – М. : МИСИ–МГСУ, 2020. – С. 113–117.
7. Продоус О. А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения / О. А. Продоус // Производ.-технич. и науч.-практич. журн. «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». – 2020. – № 11 (155). – С. 28–32.
8. Рейзин Б. Л. Коррозия и защита коммунальных водопроводов / Б. Л. Рейзин. – М. : Стройиздат, 1979. – 398 с.
9. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справ. пособие. – 10-е изд., доп. / Ф. А. Шевелев. – М. : Изд. дом «Бастет», 2014. – 384 с.

10. Воинцева И. И. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб / И. И. Воинцева // Инженерные системы «АВОК-Северо-Запад». – 2019. – № 1. – С. 44–47.

Дата поступления: 12.08.2021

Решение о публикации: 19.08.2021

Контактная информация:

ПРОДОУС Олег Александрович – д-р техн. наук, проф.; pro@epco.su

ТЕРЕХОВ Лев Дмитриевич – д-р техн. наук, проф.; levter4@rambler.ru

ЯКУБЧИК Петр Петрович – канд. техн. наук, проф.; P.jakub@mail.ru

ЧЕРНЫХ Александр Сергеевич – аспирант; alexandrchernykh97@gmail.com

Technical regulation for the values of hydraulic parameters of used metal pipes in order to extend the period of their use

O. A. Prodous¹, L. D. Terekhov², P. P. Yakubchik², A. S. Chernykh²

¹ INCO-expert LLC, 37/1, lit. A, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

² Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Prodous O. A., Terekhov L. D., Yakubchik P. P., Chernykh A. S. Technical regulation for the values of hydraulic parameters of used metal pipes in order to extend the period of their use. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 421–427. (In Russian)
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-421-427

Summary

Objective: To compare the characteristics of hydraulic potential in worn steel pipes with internal deposits subjected to cleaning by mechanical and chemical methods. **Methods:** Calculated dependencies are used for hydraulic calculation of new metal pipes and pipes with internal deposits. **Results:** A calculated dependence was obtained to determine the value of the inner diameter of pipes with any thickness of the layer of internal deposits. The concept of an efficient pipeline is introduced and a comparison made of the values of head losses in new pipes and in pipes with internal deposits. A specific practical example is considered. For the given example, compare the values of energy consumption of pumping equipment for two methods of cleaning the inner surface of pipes. Measures are indicated to ensure the efficiency of operation of water supply networks. **Practical importance:** It is shown that the chemical method of technical regulation of the hydraulic characteristics of new steel pipes provides an extension of the period of their further use.

Keywords: Steel pipeline, internal deposits, head loss, pump energy consumption, technical regulation.

References

1. *Federal'nyy zakon ot 27 dekabrya 2002, no. 184-FZ "O tekhnicheskoy regulirovaniy" [Federal Law of December 27, 2002, N 184-FZ "On Technical Regulation"]*.

Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (accessed: June 09, 2021). (In Russian)

2. *SP 31.13330.2012. Svod pravil vodosnabzheniya. Naruzhnyye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.04.02–84*OKS 93.025. Vved. 1 yan-*

varya 2013 g. [Code of rules for water supply. External networks and facilities. Updated edition of SNiP 2.04.02–84*OKS 93.025. Introduced: January 01, 2013]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/11074/> (accessed: June 09, 2021). (In Russian)

3. GOST 10704–91. Truby stal'nyye elektrosvarnyye pryamoshovnyye [GOST 10704–91. Longitudinal electric-welded steel pipes]. Moscow, Standartinform Publ., 1993, pp. 2–7. (In Russian)

4. GOST 3262–75. Truby stal'nyye vodogazoprovodnyye. Tekhnicheskiye usloviya [GOST 3262–75. Steel pipes for water and gas supply. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1977, pp. 2–8. (In Russian)

5. Dikarevskiy V. S., Yakubchik P. P., Prodous O. A. & Smirnov Yu. A. Rezervy ekonomiki elektroenergii pri transportirovani vody po vodovodam iz zhelezobetonnykh trub [Reserves of the electricity economy when transporting water through water pipelines from reinforced concrete pipes]. Tezisy dokladov Vsesoyuznogo nauchno-tekhnicheskogo seminar "Ratsional'noye ispol'zovaniye vody i toplivno-energeticheskikh resursov v kommunal'nom vodnom khozyaystve" (g. Alma-Ata, 6–8 avgusta 1985 g.) [Abstracts of the All-Union Scientific and Technical Seminar "Rational use of water and fuel and energy resources in municipal water management" (Alma-Ata, 6–8 August, 1985)]. Moscow, KSM VSNT O Publ., 1985, pp. 90–92. (In Russian)

6. Prodous O. A. Zavisimost' prodolzhitel'nosti ispol'zovaniya metallicheskih truboprovodov sistem vodosnabzheniya ot tolshchiny sloya otlozheniy na vnutrenney poverkhnosti trub [Dependence of the duration of the use of metal pipelines of water supply systems on the thickness of the sediment layer on the inner surface of the pipes]. Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Yakovlevskiyechteniya" [Collection of reports of the XV International Scientific and Technical Conference "Yakovlev's Readings"]. Moscow, MISI–MGSU Publ., 2020, pp. 113–117. (In Russian)

7. Prodous O. A. Gidravlicheskiye prognozirovaniye prodolzhitel'nosti ispol'zovaniya metallicheskih truboprovodov vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Hydraulic forecasting of the duration of use of metal pipelines for water supply and wastewater disposal]. *Proizvodstvenno-tekhnicheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal «Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodostsnabzheniye»* [Production-technical and scientific-practical journal "Water treatment. Water treatment. Water supply"], 2020, no. 11 (155), pp. 28–32. (In Russian)

8. Reyzin B. L. Korroziya i zashchita kommunal'nykh vodoprovodov [Corrosion and protection of public water pipes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, 398 p. (In Russian)

9. Shevelev F. A. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnykh trub*. Spravochnoe posobiye [Tables for hydraulic calculation of water pipes. Reference manual]. Moscow, Publishing House "Bastet" Publ., 2014, 384 p. (In Russian)

10. Vointseva I. I. Prodleniye perioda ekspluatatsii truboprovodov sistem vodosnabzheniya iz stal'nykh i chugunnykh trub [Prolongation of the period of exploitation of pipelines of water supply systems from steel and cast iron pipes]. *Inzhenernyye sistemy «AVOK-Severo-Zapad»* [Engineering systems "AVOK-North-West"], 2019, no. 1, pp. 44–47. (In Russian)

Received: August 12, 2021

Accepted: August 19, 2021

Authors' information:

Oleg A. PRODOUS – D. Sci. Engineering, Professor; pro@enco.su

Lev D. TEREKHOV – D. Sci. in Engineering, Professor; levter4@rambler.ru

Petr P. YAKUBCHIK – PhD in Engineering, Professor; P.jakub@mail.ru

Alexander S. CHERNIKH – Postgraduate Student; alexandrchernykh97@gmail.com

УДК 539.4

Некоторые проблемы оценки динамической трещиностойкости конструкционных сталей

В. И. Смирнов, Т. А. Кнопова, С. С. Майер

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

Для цитирования: Смирнов В. И., Кнопова Т. А., Майер С. С. Некоторые проблемы оценки динамической трещиностойкости конструкционных сталей // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 428–435.

DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-428-435

Аннотация

Цель: Решение проблемы определения условий начала и развития нестабильного разрушения, которое исключительно важно для развития методов расчета предельных состояний элементов конструкций, совершенствования схем динамических испытаний материалов и классификации сталей по их способности сопротивляться разрушению. **Методы:** Используются аналитические методы оценки предельного состояния элементов конструкций. **Результаты:** Приведен краткий обзор имеющихся методик испытаний конструкционных сталей на динамическую прочность и трещиностойкость. Проанализирован накопленный отечественной и зарубежной практиками опыт по испытаниям сталей на прочность и трещиностойкость при скоростном нагружении. Указаны недостатки существующих методов оценки показателей динамической прочности и сопротивления хрупким разрушениям. **Практическая значимость:** Показано, что наряду с традиционными методами оценки прочности, основанными на коэффициентах запаса прочности, необходимо разрабатывать и применять новые методы оценки предельного состояния элементов конструкций, в том числе по критериям трещиностойкости.

Ключевые слова: Сталь, динамическое разрушение, трещиностойкость, прочность, скорость нагружения

Влияние скорости деформирования на прочность сталей имеет немонотонный характер. Только предел текучести стабильно возрастает с повышением скорости деформации: медленно в области малых скоростей (до $\varepsilon = 10^2 \text{ с}^{-1}$) и интенсивно при динамическом нагружении (после $\varepsilon = 10^2 \text{ с}^{-1}$) [1, 2]. Предел прочности с ростом скорости деформирования может снижаться, особенно если испытания проводятся в области температур хрупко-вязкого перехода. Установлено существенное возрастание предела прочности с увеличением скорости деформации в области высоких скоростей нагружения [2].

Испытания тел с трещинами при разной скорости приложения нагрузки приводят в каждом

отдельном случае к различной скорости изменения интенсивности локального поля напряжений в вершине трещины. Скорость нагружения $K_I = dK_I/dt$, где K_I – коэффициент интенсивности напряжений, в эксперименте можно найти по углу наклона линейного начального участка диаграммы «нагрузка – время». Менее строго определенным является принятое в стандартах значение $K_I = K_{Id}/t_p$, зависящее не только от упругих свойств материала и скорости удара. Здесь t_p – время до разрушения, K_{Id} – динамическая вязкость разрушения. В таблице приведены некоторые характерные значения скоростей деформации ε и нагружения K_p , встречающиеся на практике [3].

Лабораторные методики испытаний материалов на динамическую трещиностойкость обеспечивают сравнительно корректную ее оценку до значений $K_I = 10^5 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}\cdot\text{с}^{-1}}$, но уже при $K_I = 10^7 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}\cdot\text{с}^{-1}}$ возникают динамические эффекты, учет которых представляет значительные трудности. На рисунке показаны интервалы скоростей нагружения, реализуемые в лабораторных условиях при испытании на трещиностойкость [3].

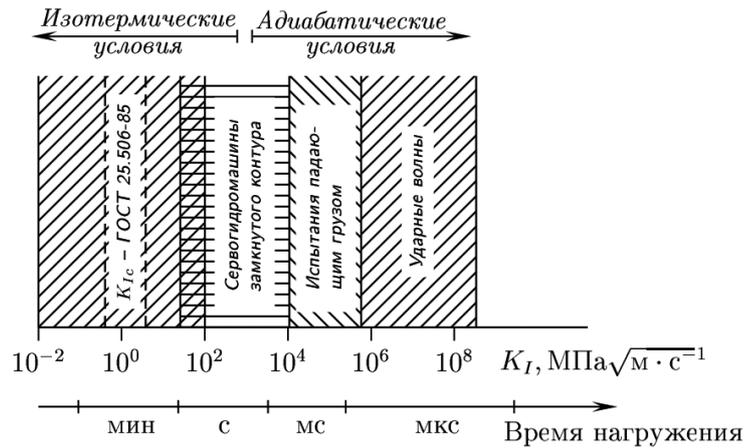
При умеренных скоростях нагружения динамическая трещиностойкость сталей обычно ниже статической, причем по многим экспериментальным данным уменьшение трещиностойкости продолжается вплоть до самых высоких скоростей удара, которые могут обеспечить лабораторные копры с падающим грузом (до 10 м/с). Измерения при больших скоростях нагружения (ротационные копры, разрезные стержни Гопкинсона, высокоскоростное метание ударников, взрывное нагружение и др.) дают результаты, однозначная трактовка которых вызывает затруднения в связи с необходимостью корректного учета инерционных усилий и сложных волновых процессов, сопровождающих испытания образца. Тем не менее, экспериментальные данные ряда авторов указывают на то, что при переходе к более высоким скоростям нагружения наблюдается повышение трещиностойкости с увеличением скорости и, таким образом, зависимость $K_{I_d}(K_I)$ обладает минимумом [4–6]. Положение минимума, если он существует, и величина трещиностойкости, ему соответствующая,

зависят от свойств материала. Исследования трещиностойкости стали 40Х до скоростей удара 600 м/с [4] методом стереоскопического измерения зоны вытягивания показали существование минимума и подъем трещиностойкости при скорости нагружения, превышающей $K_I = 10^6 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}\cdot\text{с}^{-1}}$. Измерения проводили на разрушенном образце, т. е. когда все динамические процессы были завершены и фиксировался только их результат: критическое раскрытие трещины в виде двух зон вытягивания на противоположных поверхностях разрушения. До этого указанный метод был обстоятельно апробирован при изучении трещиностойкости ряда других сталей [1, 7–10], что свидетельствует в пользу существования минимума трещиностойкости на графике ее скоростной зависимости. Опытные данные о возрастании трещиностойкости сталей в области высоких скоростей нагружения приведены в работе [6].

Указанной немонотонной зависимости трещиностойкости от скорости нагружения можно дать следующее истолкование: в области малых и умеренных скоростей нагружения трещиностойкость убывает с ростом скорости удара. Такой эффект связан с чувствительностью предела текучести к скорости деформации: с повышением K_I возрастает скорость деформации в вершине трещины, увеличивается предел текучести материала, приводя к тому, что требуемый для начала разрушения уровень локальных напряжений в вершине трещины достигается при небольшом размере критической пластической

Значения скоростей деформации ϵ и нагружения K_I

Конструкция	$\epsilon, \text{с}^{-1}$	$K_I, \text{МПа}\sqrt{\text{м}\cdot\text{с}^{-1}}$
Резервуары для жидкостей и газов при заполнении	До 10^{-6}	–
Гидравлические испытания трубопроводов и резервуаров	До 10^{-5}	–
Испытания падающим грузом	–	До 10^6
Столкновение судов	–	До 10^6
Аварии на воздушном и автотранспорте	–	До 10^6
Лавинные разрушения газопроводов	–	До 10^7
Взрывные нагружения	–	До 10^9



Интервалы скоростей нагружения, реализуемые в лабораторных условиях при испытании на трещиностойкость

зоны, а значит, при меньшей трещиностойкости стали. В этом смысле эффект повышения скорости нагружения аналогичен эффекту снижения температуры [1].

При более высоких скоростях нагружения разрушение происходит за весьма короткие промежутки времени и, выделяющееся в вершине трещины тепло не успевает рассеиваться в окружающем материале. Термодинамически процесс изменения состояния материала в данной области характеризуется как адиабатический. Происходящий здесь локальный разогрев металла приводит к обратному эффекту: снижению предела текучести, росту размера критической пластической зоны и, как следствие, возрастанию трещиностойкости. Указанные эффекты имеют место независимо от того, происходит разрушение в процессе активного нагружения тела с неподвижной трещиной или в результате распространения трещины. И в том, и в другом случае микрообласти материала, подверженные разрушению, последовательно в малые промежутки времени претерпевают стадии деформирования, характерные для полной кривой «напряжение – деформация» вплоть до разделения на части. Т. е. и между динамическими испытаниями образцов с трещиной на удар, и испытаниями на распространение трещины могут быть сформулированы условия подобия (в рамках квазистатического приближения).

Для наблюдаемых при натуральных испытаниях газопроводов скоростях развития разрушения (100–800 м/с) и характерных значений K_{Ic} и $\sigma_{0,2}$ ($\sigma_{0,2}$ – предел текучести), требуемая скорость нагружения при испытаниях на трещиностойкость должна быть примерно в интервале от 10^6 до $5 \cdot 10^7$ МПа $\sqrt{м} \cdot с^{-1}$, причем область верхних значений данного интервала соответствует хрупким разрушениям (большие скорости трещины), а нижних – вязким [3]. Однако основная часть указанного интервала лежит за пределами возможностей методик, использующих энергию падающих грузов.

Взаимодействие вершины трещины с волнами напряжений, сопровождающими процесс динамического разрушения, усложняет задачу корректного определения напряжений. Поэтому при создании новых методик испытаний материалов на динамическую трещиностойкость предпринимаются попытки либо свести к минимуму влияние волновых процессов (как делается, например, в опытах на остановку трещины на нестандартных образцах [11]), либо оценить осциллирующие значения K_I с помощью сложных оптических методов [12], чтобы учесть фактическую величину K_I в момент старта или движения трещины и по ней установить трещиностойкость материала.

Первичными данными для определения динамической трещиностойкости являются диа-

граммы разрушения «сила – смещение берегов трещины». Однако в силу отмеченных выше особенностей в процессе испытаний обычно записывают диаграмму «нагрузка P – время t », согласно некоторым действующим в настоящее время нормативным документам [13, 14]. Анализ процессов, происходящих в образце за короткое время его испытаний при ударе, представляет большие трудности. До настоящего времени нет точного решения динамической задачи о процессах взаимодействия в системе «ударник – образец – опоры» в строгой постановке с учетом упругих характеристик указанных элементов и особенностей их упругого и неупругого поведения в зонах контакта. В связи с этим отсутствует теоретическая основа для анализа действующих на образец нагрузок и вычисления коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины в каждый момент времени. Выход из положения находят в том, что для расчета значений K_I по действующей нагрузке используют формулы, применяемые для обработки результатов статических испытаний [15]. Однако такой подход оправдан только при достаточно больших временах нагружения, гарантирующих затухание переходных и волновых процессов в образце, что налагает на него существенные ограничения. Данное требование выражается в условии $t_p \geq 3\tau_0$, где t_p – время до разрушения (от начала приложения нагрузки до старта трещины); τ_0 – период колебания нагрузки на осциллограмме $P - t$.

Условие $t_p \geq 3\tau_0$ является значительным ограничением для практики лабораторных испытаний на удар, поскольку возможно только для малых образцов при невысоких скоростях удара. Преждевременное хрупкое разрушение, характерное для материалов с низкой трещиностойкостью, также сокращает время до разрушения, и часто данное условие удовлетворить невозможно даже на малых образцах и при низкой скорости удара. Предпринимаются попытки преодолеть эти трудности и оценить текущие значения K_I при помощи теневого метода определения зоны упругих деформаций в вершине трещины [12, 16]. Практическое применение та-

кого метода затруднено ввиду сложности и высокой стоимости испытательного оборудования.

Другой важной проблемой при изучении динамической трещиностойкости сталей является фиксация момента старта трещины, по которому и должна определяться величина K_{Ia} . Обычно момент старта трещины находится по пику осциллограммы $P - t$. Такой подход обоснован при хрупком разрушении, когда моменты старта трещины и начала ее катастрофического роста совпадают (т. е. отсутствует стадия докритического устойчивого роста трещины). Если разрушение носит вязкий характер и имеет место докритический устойчивый рост трещины, нагрузка, соответствующая моменту старта трещины, будет ниже максимальной, в связи с чем важное значение приобретает задача установления этого момента. До настоящего времени в практике лабораторных испытаний на динамическую трещиностойкость отсутствуют надежные методы регистрации момента старта трещины.

Зависимость трещиностойкости от скорости движения трещины требует детального изучения. В отличие от динамической трещиностойкости K_{Ia} , определяемой в эксперименте при фиксированной скорости нагружения, обозначим, следуя [17], через K_{Id} текущее значение трещиностойкости как функцию скорости движения трещины v . Характерными для этой функции являются минимальная величина трещиностойкости K_{Im} , значения трещиностойкости в момент остановки трещины K_{Ia} и статической трещиностойкости K_{Ic} . Наименьшее значение K_{Im} – более объективная характеристика способности стали сопротивляться развитию разрушения, которое, в частности, указывает на необходимость полной остановки трещины в случае, если в процессе ее быстрого роста значение коэффициента интенсивности напряжений снижается до уровня K_{Im} . Такой подход в оценке трещиностойкости материалов реализуется в существующих методиках по испытаниям на остановку трещины [17], основанных на применении образцов в виде двухконсольной балки (ДКБ-образцы), тарировочные кривые которых характеризуются быстрым снижением

коэффициентов интенсивности напряжений с ростом длины трещины. Потому получаемая в результате испытаний на остановку трещины характеристика K_{Ia} должна соответствовать K_{Im} . Однако экспериментальное нахождение величины K_{Ia} весьма затруднительно, что обусловлено инерционным характером процесса остановки трещины. Основными факторами, влияющими на точность значений K_{Ia} , являются погрешность формул для расчета K_p , действительной нагрузки в момент остановки трещины и соответствующей ей величины K_p , ошибки определения длины трещины в момент ее остановки, слабо контролируемый запас упругой энергии образца и нагружающего устройства.

Подробное изучение динамики процесса роста и остановки трещины на ДКБ-образцах [11, 12, 17, 18], несмотря на относительную простоту и доступность этой методики измерения K_{Ia} , показало существенный разброс величины K_I по мере роста и после остановки трещины. На данный процесс сильно влияет взаимодействие вершины трещины с испускаемыми ею и затем отражающимися от свободных поверхностей образца волнами напряжений. Влияние такого фактора удастся уменьшить в несколько раз специальной конструкцией образца сложной формы [11]. Тем не менее, по результатам исследований ряда авторов [17–20] принято считать, что методики определения характеристик K_{Ia} на основе квазистатического анализа в области пониженных температур дают нижнюю оценку K_{Im} , что позволяет использовать ее в инженерной практике. Значения K_{Ia} тем ближе находятся к K_{Im} , чем меньше длина скачка трещины. Измеряемые величины K_{Ia} могут зависеть от методических особенностей эксперимента, таких как начальная нагрузка, при которой происходит старт трещины, податливость системы «испытательная машина – образец», форма образца и др.

Перспективным направлением для преодоления указанных трудностей служит создание таких расчетных моделей процесса ударных испытаний, которые, с одной стороны, отражали бы основные факторы, а с другой – допускали

бы строгое решение основных уравнений механики сплошных сред. Примером подобного подхода является структурно-временной [21], который связан с введением системы определяющих параметров, инвариантных к способу и истории нагружения. Теория динамического разрушения, которая развивается в рамках данного подхода, позволяет рассчитывать предельные термомеханические нагрузки, а также скоростные зависимости прочности и вязкости разрушения на основе инвариантной системы материальных констант.

Библиографический список

1. Красовский А. Я. Хрупкость металлов при низких температурах / А. Я. Красовский. – Киев : Наукова думка, 1980. – 340 с.
2. Писаренко Г. С. Механические свойства некоторых материалов при высокоскоростном растяжении / Г. С. Писаренко, В. Г. Петушков, В. Г. Степанов, Н. Л. Фот // Проблемы прочности. – 1970. – № 7. – С. 3–8.
3. Красовский А. Я. Трещиностойкость сталей магистральных трубопроводов / А. Я. Красовский, В. Н. Краси́ко. – Киев : Наукова думка, 1990. – 176 с.
4. Красовский А. Я. Анализ скоростной зависимости вязкости разрушения при импульсном нагружении стали 40Х / А. Я. Красовский, В. А. Маковой, Г. Н. Надеждин // Проблемы прочности. – 1988. – № 2. – С. 3–8.
5. Klepaczko J. R. Application of the split-Hopkinson pressure bar to fracture dynamics / J. R. Klepaczko // Proceedings of Second Conference of Mechanic Properties High Rates of Strain. – Oxford ; Bristol ; London : The Institute of Physics, 1979. – Conf. ser. N 45. – P. 201–204.
6. Klepaczko J. R. Loading rate spectra for fracture initiation in metals / J. R. Klepaczko // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 1984. – Vol. 1. – P. 181–191.
7. Красовский А. Я. Исследование трещиностойкости корпусных сталей при статическом и динамическом нагружении с учетом эффекта масштаба испытываемых образцов / А. Я. Красовский, Ю. А. Каштальян, В. Н. Краси́ко. – Киев : Изд-во АН УССР, 1982. – 64 с.

8. Krasowsky A. J. Brittle-to-ductile transition in steels and the critical transition temperature / A. J. Krasowsky, Yu. A. Kashalyan, V. N. Krasiko // Intern. Journal of Fracture. – 1983. – Vol. 23. – N 6. – P. 297–315.
9. Krasowsky A. J. On the relationship between stretched zone parameters and fracture toughness of ductile structural steels / A. J. Krasowsky, V. A. Vainshtok // Intern. Journal of Fracture. – 1981. – Vol. 17. – N 6. – P. 579–592.
10. Pisarenko G. S. The combined micro- and macro-fracture mechanics approach to engineering problems of strength / G. S. Pisarenko, A. J. Krasowsky, V. A. Vainsh-tok, L. V. Kramarenko, V. N. Krasiko // Engineering Fracture Mechanics. – 1987. – Vol. 28. – N 5, 6. – P. 539–554.
11. Kalthoff J. F. Time effects and their influences on test procedures for measuring material strength values // Intern. Conference Appl. Frac. Mech. to Mate-rials and Structure. – Freiburg, June 20–24. – 1983. – P. 107–136.
12. Kalthoff J. F. On the measurement of dynamic frac-ture toughness – a review of recent works // Intern. Jour-nal of Fracture. – 1985. – Vol. 27. – N 3, 4. – P. 277–298.
13. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностой-кости) при динамическом нагружении. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 52 с.
14. ASTM E 24-03.03. Proposed standard method of test for instrumented impact testing of precracked Charpy specimens of metallic materials. – Philadelphia, 1981. – 15 p.
15. ГОСТ 25.506–85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний метал-лов. Определение характеристик трещиностойкости при статическом нагружении. – М. : Изд-во стандар-тов, 1985. – 61 с.
16. Kalthoff J. F. A novel procedure for measuring the impact fracture toughness K_{Ia} with precracked Charpy specimens / J. F. Kalthoff, S. Winkler, W. Böhme // J. Phy-sique. – Colleague C5. – 1985. – Vol. 46. – N 8. – P. 179–186.
17. Хоагленд Р. Методика измерений K_{Im} , K_{Id} и K_{Ia} / Р. Хоагленд, А. Розенфилд, П. Гелен, Дж. Хан // Ме-ханика разрушения. Быстрое разрушение, остановка трещины. – М. : Мир, 1981. – С. 42–73.
18. Тороп В. М. Определение трещиностойкости на стадии остановки трещины с учетом податливости системы образец – испытательная машина / В. М. То-роп // Проблемы прочности. – 1985. – № 12. – С. 34–39.
19. Кросли П. Особенности движения трещи-ны на участке старт – остановка / П. Кросли, Э. Ри-плинг // Механика разрушения. Быстрое разрушение, остановка трещины. – М. : Мир, 1981. – С. 42–73.
20. Ripling E. J. A review of static crack arrest con-cepts / E. J. Ripling, P. V. Crosley, S. J. Wiersma // Engi-neering Fracture Mechanics. – 1986. – Vol. 23. – N 1. – P. 21–23.
21. Морозов Н. Ф. Проблемы динамики разру-шения твердых тел / Н. Ф. Морозов, Ю. В. Петров. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1997. – 132 с.

Дата поступления: 04.08.2021

Решение о публикации: 23.08.2021

Контактная информация:

СМИРНОВ Владимир Игоревич – д-р техн. наук,
доц.; vsmirnov1@gmail.com

КНОПОВА Татьяна Алексеевна – магистрант;
tanyatassel@mail.ru

МАЙЕР Сергей Сергеевич – ассистент;
sergzo@bk.ru

Some problems of assessing the dynamic crack resistance of structural steels

V. I. Smirnov, T. A. Knopova, S. S. Maier

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

For citation: Smirnov V. I., Knopova T. A., Maier S. S. Some problems of assessing the dynamic crack resistance of structural steels. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 428–435. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-428-435

Summary

Objective: Solving the problem of determining the conditions for the onset and development of unstable fracture, which is extremely important for the development of methods for calculating the limiting states of structural elements, improving the dynamic testing schemes of materials and classifying steels according to their ability to resist fracture. **Methods:** Analytical methods for assessing the limiting state of structural elements are used. **Results:** A brief overview of the available test methods for structural steels for dynamic strength and crack resistance is given. The experience accumulated by domestic and foreign practices in testing steels for strength and crack resistance under high-speed loading is analyzed. The disadvantages of the existing methods for assessing the indicators of dynamic strength and resistance to brittle fracture are indicated. **Practical importance:** It is shown that along with the traditional methods for assessing strength based on safety factors, it is necessary to develop and apply new methods for assessing the limiting state of structural elements, including by the criteria of crack resistance.

Keywords: Steel, dynamic fracture, crack resistance, strength, loading rate.

References

1. Krasowsky A. J. *Khrupkost' metallov pri nizkikh temperaturakh [The fragility of metals at low temperatures]*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1980, 340 p. (In Russian)
2. Pisarenko G. S., Petushkov V. G., Stepanov V. G. & Fot N. L. *Mekhanicheskiye svoystva nekotorykh materialov pri vysokoskorostnom rastyazhenii [Mechanical properties of some materials at high-speed tension]*. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 1970, no. 7, pp. 3–8. (In Russian)
3. Krasowsky A. J. & Krasiko V. N. *Treshchinostoykost' staley magistral'nykh truboprovodov [Crack resistance of main pipelines steel]*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990, 176 p. (In Russian)
4. Krasowsky A. J., Makovey V. A. & Nadezhdin G. N. *Analiz skorostnoy zavisimosti vyazkosti razrusheniya pri impul'snom nagruzhении stali 40X [Analysis of the rate dependence of fracture toughness under pulsed loading of steel 40X]*. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 1988, no. 2, pp. 3–8. (In Russian)
5. Klepaczko J. R. Application of the split-Hopkinson pressure bar to fracture dynamics. *Proceedings of Second Conference of Mechanic Properties High Rates of Strain*. Oxford, Bristol, London, The Institute of Physics Publ., 1979, Conf. ser. no. 45, pp. 201–204.
6. Klepaczko J. R. Loading rate spectra for fracture initiation in metals. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 1984, vol. 1, pp. 181–191.
7. Krasowsky A. J., Kashalyan Yu. A. & Krasiko V. N. *Issledovaniye treshchinostoykosti korpusnykh staley pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhении s uchetom efekta masshtaba ispytuyemykh obraztsov [Investigation of the crack resistance of hull steels under static and dynamic loading, taking into account the scale effect of the test specimens]*. Kiev, Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Publ., 1982, 64 p. (In Russian)
8. Krasowsky A. J., Kashalyan Yu. A. & Krasiko V. N. Brittle-to-ductile transition in steels and the critical tran-

sition temperature. *Intern. Journal of Fracture*, 1983, vol. 23, no. 6, pp. 297–315.

9. Krasowsky A. J. & Vainshtok V. A. On the relationship between stretched zone parameters and fracture toughness of ductile structural steels. *Intern. Journal of Fracture*, 1981, vol. 17, no. 6, pp. 579–592.

10. Pisarenko G. S., Krasowsky A. J., Vainshtok V. A., Kramarenko L. V. & Krasiko V. N. The combined micro- and macrofracture mechanics approach to engineering problems of strength. *Engineering Fracture Mechanics*, 1987, vol. 28, no. 5, 6, pp. 539–554.

11. Kalthoff J. F. Time effects and their influences on test procedures for measuring material strength values. *Intern. Conference Appl. Frac. Mech. to Materials and Structure*. Freiburg, June 20–24, 1983, pp. 107–136.

12. Kalthoff J. F. On the measurement of dynamic fracture toughness – a review of recent works. *Intern. Journal of Fracture*, 1985, vol. 27, no. 3, 4, pp. 277–298.

13. *Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Opredeleniye kharakteristik vyazkosti razrusheniya (treshchinostoykosti) pri dinamicheskom nagruzhenii* [Calculations and strength tests. Methods for mechanical testing of metals. Determination of fracture toughness (crack resistance) characteristics under dynamic loading]. Moscow, Publishing House of standards, 1983, 52 p. (In Russian)

14. *ASTM E 24-03.03. Proposed standard method of test for instrumented impact testing of precracked Charpy specimens of metallic materials*. Philadelphia, 1981, 15 p.

15. *GOST 25.506–85. Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Opredeleniye kharakteristik treshchinostoykosti pri staticheskom nagruzhenii* [GOST 25.506–85. Calculations and strength tests. Methods for mechanical testing of metals. Determination of crack resistance characteristics under static loading]. Moscow, Publishing House of standards, 1985, 61 p. (In Russian)

16. Kalthoff J. F., Winkler S. & Böhme W. A novel procedure for measuring the impact fracture toughness K_{Id} with precracked Charpy specimens. *J. Physique, Colloque C5*, 1985, vol. 46, no. 8, pp. 179–186.

17. Hoagland R., Rosenfield A., Gehlen P. & Khan J. Metodika izmereniy K_{Im} , K_{Id} i K_{Ia} [Technique for measuring K_{Im} , K_{Id} and K_{Ia}]. *Mekhanika razrusheniya. Bystroye razrusheniye, ostanovka treshchiny* [Fracture mechanics. Rapid destruction, crack arrest]. Moscow, Mir Publ., 1981, pp. 42–73. (In Russian)

18. Torop V. M. Opredeleniye treshchinostoykosti na stadii ostanovki treshchiny s uchetom podatlivosti sistemy obrazets – ispyatel'naya mashina [Determination of crack resistance at the stage of crack arrest taking into account the compliance of the system sample – testing machine]. *Problemy prochnosti* [Strength problems], 1985, no. 12, pp. 34–39. (In Russian)

19. Crosley P. & Ripling E. Osobennosti dvizheniya treshchiny na uchastke start – ostanovka [Features of the crack movement in the start – stop section]. *Mekhanika razrusheniya. Bystroye razrusheniye, ostanovka treshchiny* [Fracture mechanics. Rapid destruction, crack arrest]. Moscow, Mir Publ., 1981, pp. 42–73. (In Russian)

20. Ripling E. J., Crosley P. B. & Wiersma S. J. A review of static crack arrest concepts. *Engineering Fracture Mechanics*, 1986, vol. 23, no. 1, pp. 21–23.

21. Morozov N. F. & Petrov Yu. V. *Problemy dinamiki razrusheniya tverdykh tel* [Problems of the dynamics of fracture of solids]. Saint Petersburg, SPbGU [Petersburg State University] Publ., 1997, 132 p. (In Russian)

Received: August 04, 2021

Accepted: August 23, 2021

Authors' information:

Vladimir I. SMIRNOV – D. Sci. in Technics, Associate Professor; vsmirnov1@gmail.com

Tatiana A. KNOPOVA – Master's degree Student; tanyatassel@mail.ru

Sergey S. MAYER – Assistant; sergzo@bk.ru

УДК 656.212.5

Совершенствование методики планирования работы сортировочной системы

В. В. Соляник

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

Для цитирования: *Соляник В. В.* Совершенствование методики планирования работы сортировочной системы // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 436–446. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-436-446

Аннотация

Цель: Определение минимума времени нахождения транзитного вагона с переработкой на сортировочной станции, выявление оптимального вагонопотока с целью оптимизации загрузки технических устройств станции. **Методы:** Проведено описание межоперационных простоев теорией массового обслуживания, применяется имитационное моделирование для воссоздания технологических процессов на сортировочной станции. **Результаты:** В результате анализа среднего времени нахождения вагона на станции была построена модель работы сортировочной станции с учетом месячной неравномерности поступления перерабатываемого потока. **Практическая значимость:** С помощью полученных данных можно улучшить долгосрочное планирование работы сортировочной станции, определить оптимальную загрузку технических средств станции. Изменяя постоянные параметры станции (число путей) и переменные (число бригад пункта технического осмотра, количество маневровых локомотивов), можно гибко реагировать на потребное освоение вагонопотока станцией.

Ключевые слова: Время нахождения вагона на станции, показатели работы станции, имитационное моделирование, оптимальный поток, технические средства, переработка вагонопотока.

Введение

В настоящее время с учетом реализации приоритетов развития холдинга «РЖД» по ключевым показателям эффективности компании следует переходить от оценок качества работы железных дорог по принципу «сравнение с предыдущим периодом» к оценкам показателей в зависимости от технологического уровня и объемов работы в сравнимые периоды времени [1]. Расчет совокупности ключевых показателей должен вестись снизу вверх, а не сверху вниз в следующей последовательности: линейный уровень, дорожный уровень и уровень дирекции [2]. Наблюдаемая сегодня проблема слабой изученности взаимосвязи технологии и

технического оснащения станции объективно требует научно-методологического решения.

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие – последовательность операций и нормы времени на их выполнение [3]. Для эффективного оперативного управления работой станции этого недостаточно. Требуется третья составляющая – создание оптимальных условий. Несоблюдение такого условия вызывает задержки поездов перед станциями из-за несвоевременного их приема и не позволяет реализовать максимальные возможности станций, в первую очередь пропускную и перерабатывающую способности. В настоящее время особенно остро стоит проблема перенасыщения инфра-

структуры ОАО «РЖД» вагонами различных собственников [4]. На сети эксплуатируются 1 070 169 вагонов. Стоит отметить, что с 2011 по 2016 г. эксплуатационная длина [5–10] инфраструктуры увеличилась на 1,3 % (с 85 166 до 86 296 км). Но эта цифра никак не сопоставима с увеличением доли вагонов различных собственников. Доказано, что для перевозки грузов достаточно 800 тыс. вагонов [11].

Как видно на рис. 1, с 2003 по 2016 г. доля независимых собственников владельцев подвижного состава в результате реформирования железнодорожного рынка транспортных услуг увеличилась с 29 до 88 %. РЖД разрешила скупать вагоны с целью осуществления операторской деятельности, что привело к бурному росту покупок вагонов. Однако инфраструктура такими же темпами не увеличивалась, и это сказывается в дисбалансе пропускной способности и численности средств для перевозки, приводя к снижению эффективности работы станций, выраженной в простоях. Происходит увеличение сборных отправок грузов вместо маршрутных к большому количеству грузополучателей.

Неравномерность подвода поездов сказывается на всех технических средствах станции, вызывая межоперационные простои, нестабильную загрузку объектов инфраструктуры станции, создание излишних резервов, необходимых для погашения пиков загрузки станции.

Виды неравномерности на сортировочной станции

Ключевым фактором, оказывающим негативное воздействие на станцию, является неравномерность. Под неравномерностью понимают объективное свойство сложных систем, связанное с множеством случайных процессов, которые происходят в деятельности железнодорожного транспорта. Выделяют годовую, месячную, внутринедельную, посуточную и внутрисуточную неравномерность. Причин ее появления множество, начиная от того, что предприятия работают 5 дней в неделю, а железная дорога все 7 дней. В результате может произойти сгущение

сдачи продукции в отчетные часы и, как следствие, волнообразное формирование поездов на станции отправления. Неравномерности свойственен «эффект домино», когда первый фактор не согласуется с равномерным планом отправки, который впоследствии ведет к множеству других факторов, накладываемых друг на друга. Понять причину неравномерности на каком-либо этапе перевозки невозможно, так как цепочка причин стала не отслеживаемой из-за огромного их множества. Принято выделять следующие группы причин неравномерности:

1) экономические – колебания выпуска продукции, изменяющиеся места спроса и предложения продукции, развитие городов, изменение конъюнктуры рынка и др.;

2) технические – случайный характер поездобразования на станциях формирования, отказ технических устройств, маршрутная перевозка грузов и др.;

3) организационные – предоставление «окон» для ремонта технических средств, режимы работы заводов и предприятий, ожидание поездного локомотива из депо, пассажирское движение и др.

Как уже отмечалось, сгущенный поездопоток в отдельные часы из-за неравномерности требует резервы [12, 13] для освоения. Поэтому возрастают потребная пропускная и перерабатывающая способности станции. Факторы неравномерности стоит учитывать при определении максимальных размеров движения в процессе разработки графика, при оценке количества бригад пункта технического осмотра, пункта коммерческого осмотра, локомотивных бригад, поездных и маневровых локомотивов.

Рассчитывая коэффициент неравномерности, следует понимать, что его занижение ведет к понижению уровня надежности технического средства, а, следовательно, и железнодорожного транспорта в целом, а завышение – к необходимости содержания неиспользуемых мощностей:

$$K_{\text{нер}}^{\text{год}} = \frac{U_{\text{пер мес}}^{\text{max}}}{U_{\text{пер год}}^{\text{сред}}};$$

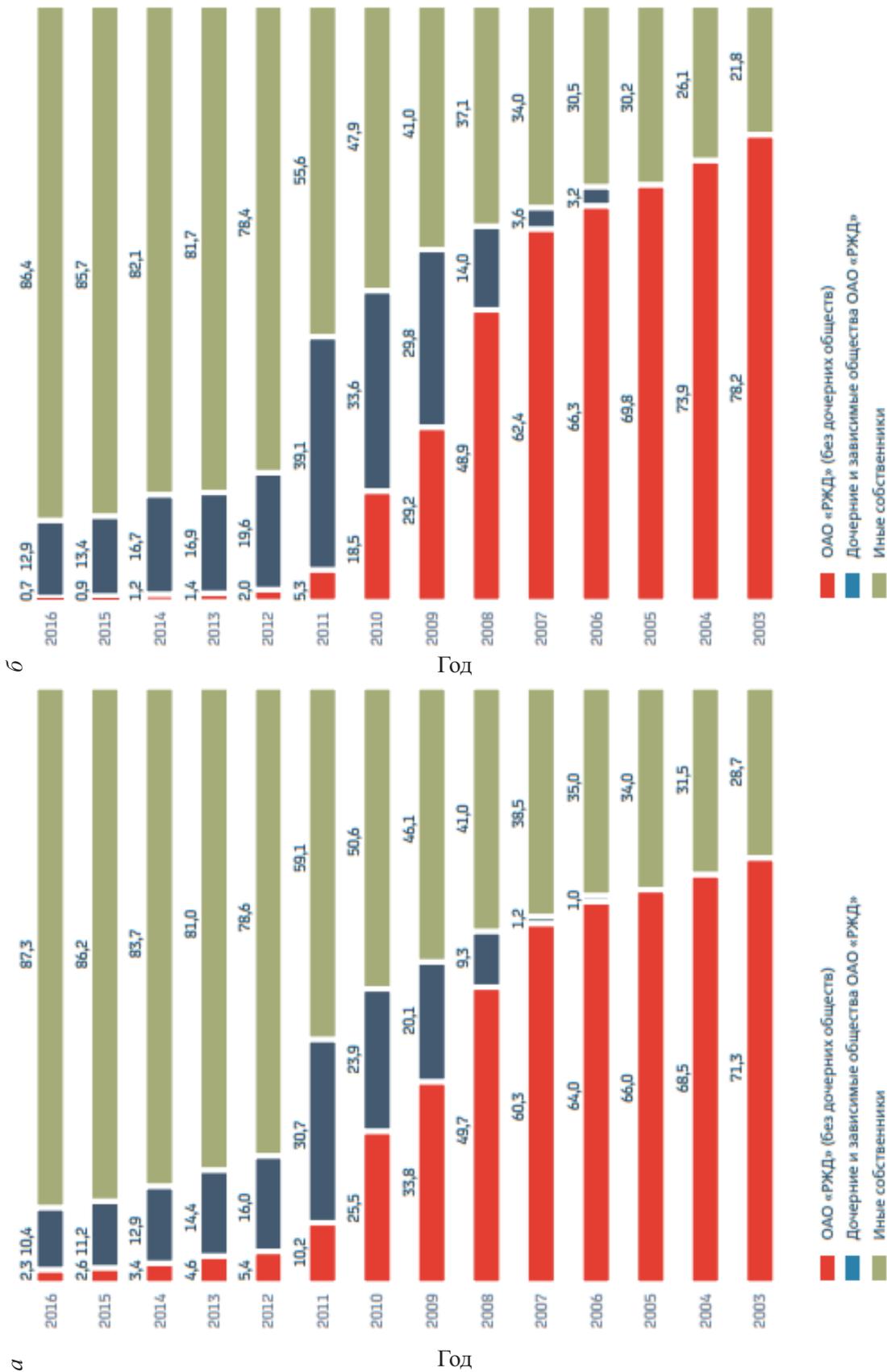


Рис. 1. Структура российского рынка оперирования грузовыми вагонами по объемам перевозок (а) и объемам грузооборота (б) в 2003–2016 гг. (%) (составлено с учетом [10, 11])

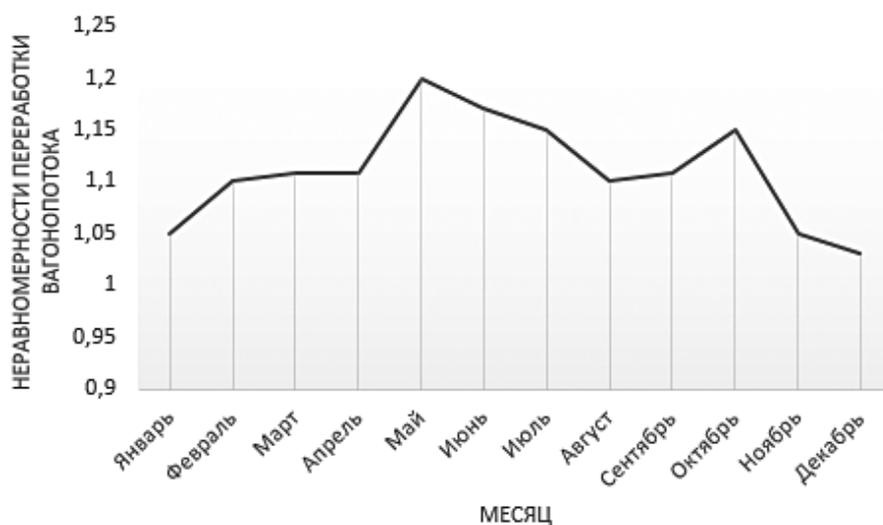


Рис. 2. Среднегодовое колебание объемов переработки вагонов по станции Санкт-Петербург Сортировочной – Московской

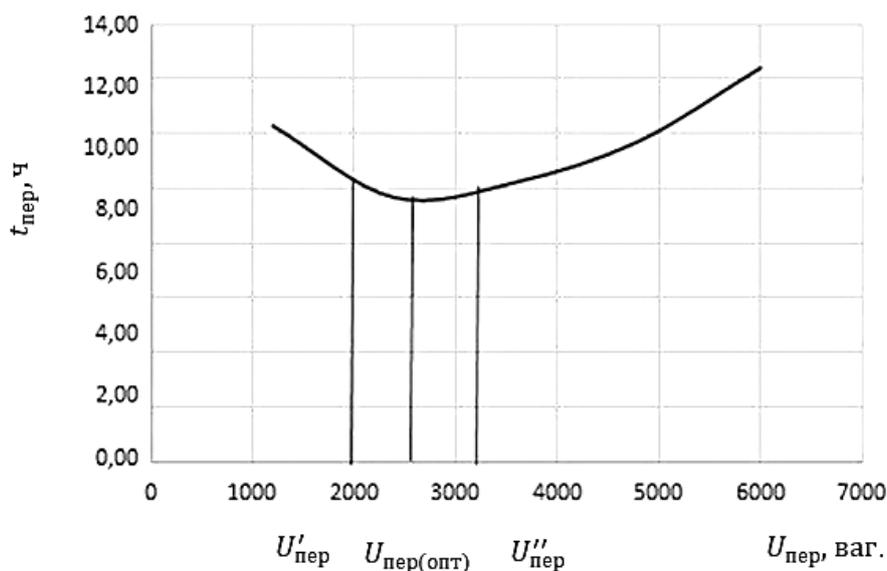


Рис. 3. Время пребывания вагона с переработкой на станции

где $U_{\text{пер мес}}^{\text{max}}$, $U_{\text{пер год}}^{\text{сред}}$ – среднегодовые и максимальные объемы работы станции;

ваемый объем, $U_{\text{пер(max)}}$ – максимальный перерабатываемый объем.

$$U_{\text{пер(min)}} < U_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нер}} < U_{\text{пер(max)}},$$

здесь $U_{\text{пер(min)}}$ – минимальный объем переработки, $U_{\text{пер}} \cdot K_{\text{нер}}$ – фактический перерабаты-

Время нахождения вагона на станции

Основным показателем работы станции является время нахождения вагона на станции.

Уменьшение этого времени ведет к сокращению оборота вагона и, следовательно, к более эффективному использованию ресурсов.

Среднее время нахождения транзитного вагона на станции с переработкой

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{р}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{оф}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{от}} + t_{\text{о}} + t_{\text{проч}},$$

где $t_{\text{пр}}, t_{\text{р}}, t_{\text{ф}}$ – время нахождения вагона под операциями: прибытие, расформирование, формирование соответственно; $t_{\text{оп}}, t_{\text{оф}}, t_{\text{от}}$ – время ожидания соответствующих операций из-за занятости технических средств; $t_{\text{нак}}$ – время нахождения вагона под накоплением; $t_{\text{проч}}$ – время на прочие затраты времени.

В итоге получаем 4-й аргумент, $t_{\text{техн}}$ является суммой $t_{\text{пр}}, t_{\text{р}}, t_{\text{ф}}$, а $t_{\text{о}}$ суммой $t_{\text{оп}}, t_{\text{оф}}, t_{\text{от}}$. Тогда $t_{\text{пер}}$ – это функция, состоящая из четырех аргументов:

$$t_{\text{пер}} = f(t_{\text{техн}}, t_{\text{ож}}, t_{\text{нак}}, t_{\text{проч}}), \quad (1)$$

$$t_{\text{нак}} = \frac{cmk}{U_{\text{пер}}}. \quad (2)$$

Для расчета ожиданий Н. Н. Шабалин использовал формулы [14]

$$t_{\text{оп}} = \frac{Nt_{\text{г}}^2(v_{\text{вх}}^{2,5} + v_{\text{г}}^2)}{48 - 2Nt_{\text{г}}}, \quad (3)$$

$$t_{\text{оф}} = \frac{Nt_{\text{ф}}^2(1 + v_{\text{ф}}^2)}{48I - 2Nt_{\text{ф}}}, \quad (4)$$

$$t_{\text{от}} = \frac{NI_{\text{ф}}^2(1 + v_{\text{о}}^2)}{48 - 2NI_{\text{о}}}. \quad (5)$$

В (1)–(5) $U_{\text{пер}}$ – вагонопоток, следующий в переработку; N – количество поездов, перерабатываемых за сутки; k – число назначений поездов, формируемых на станции; c – параметр накопления; $v_{\text{вх}}, v_{\text{г}}, v_{\text{ф}}, v_{\text{о}}$ – коэффициент вариации интервалов прибытия поездов в расформирование, горки, формирование, отправление; $I_{\text{о}}, I_{\text{ф}}$ –

средние интервалы соответственно отправления грузовых поездов и их формирования.

В точке $U_{\text{пер(опт)}}$ видно оптимальное время, затрачиваемое на переработку вагонопотока, т. е. минимальное время нахождения вагона на станции при имеющихся техническом оснащении и технологии. В точке $U_{\text{пер}}''$, которая находится правее от $U_{\text{пер(опт)}}$, резко увеличивается время на переработку вагона, которое получается за счет того, что станция начинает не справляться с нарастающим вагонопоток и возрастает время ожидания вагона для операций, проводимых с ним. При большом поступлении вагонов на станцию время на переработку будет расти пропорционально количеству вагонов, и вскоре станция остановит работу и не сможет перерабатывать вагоны. При развитии станционных и технологических средств график сдвигается вправо (рис. 4), тем самым увеличиваются возможности станции переработать вагонопоток при минимальных простоях. Также стоит отметить, что при небольших объемах необходимо подводить замыкающие группы, тем самым снижать время простоя в сортировочном парке. При больших объемах необходимо сконцентрироваться на ускорении расформирования и формирования, тем самым сокращать время в ожидании операций.

Оптимальный режим работы станции определяют для того, чтобы минимизировать расходы на маневровую работу. Он выявит моменты, при которых имеется перерасход использования маневровых устройств, применяющихся с учетом повышенных загрузок. Поэтому эффективность от этих устройств снижается, так как загрузка одного элемента не может полностью компенсировать другой элемент. Если же станция работает не в оптимальном режиме, то на эксплуатационные затраты станции приходится больше, чем в оптимальном режиме, а время, затрачиваемое на обработку вагона, увеличивается.

Техническая характеристика оценивает эксплуатационные возможности станции, а также возможности по освоению тех или иных объемов вагонопотока. Она связывает воедино коли-

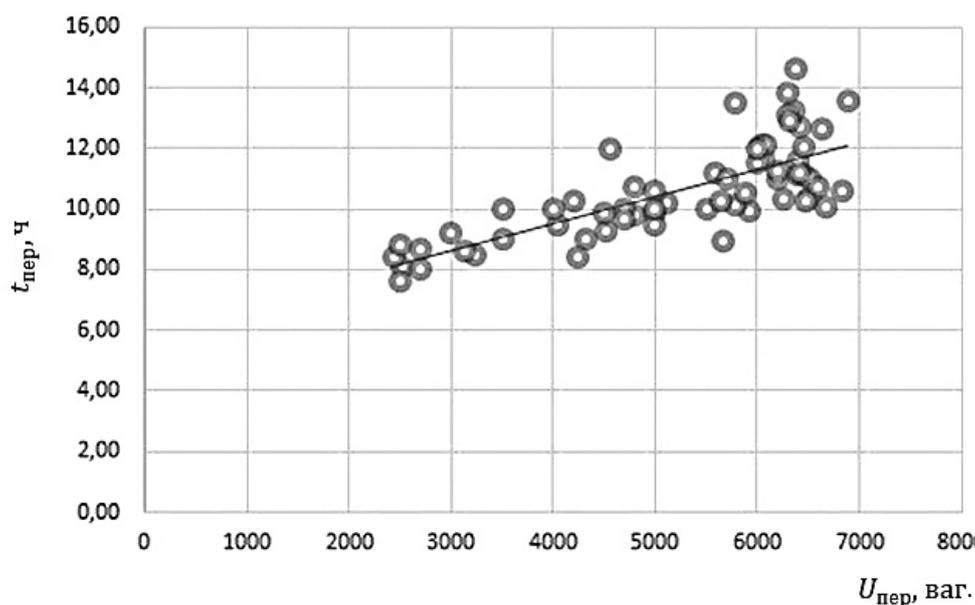


Рис. 4. Зависимость времени нахождения транзитного вагона с переработкой от объема работы станции Санкт-Петербург Сортировочной – Московской

чество и качество работы станции, техническое оснащение и технологию.

Понятие «перерабатывающая способность» не дает связи с качественной работой. Такие функции можно построить для каждого маневрового устройства. Техническая характеристика позволяет установить себестоимость переработки одного вагона.

В технической характеристике станции учитываются количественные (количество вагонов, погруженных в сутки) и качественные (оборот вагона) показатели работы станции, а также техническое оснащение и технология работы. В свою очередь, этот график раскладывается на два графика.

Первый график описывает зависимость времени переработки вагона в зависимости от накопления вагонов в сортировочном парке, второй – зависимость времени переработки вагона в зависимости от времени ожидания производства технологических операций (рис. 5–7).

Важнейшей задачей совершенствования планирования работы станции является анализ ее состояния по освоению вагонопотока. Чем точнее определить это состояние, тем большими

количествами методов можно нормализовать состояние поточности на станции. Необходимо стремление к доведению всех операций на станции до состояния конвейера, когда на любом моменте операции можно точно указать время операции и время ее ожидания. В настоящее время существуют два способа освоения ваго-

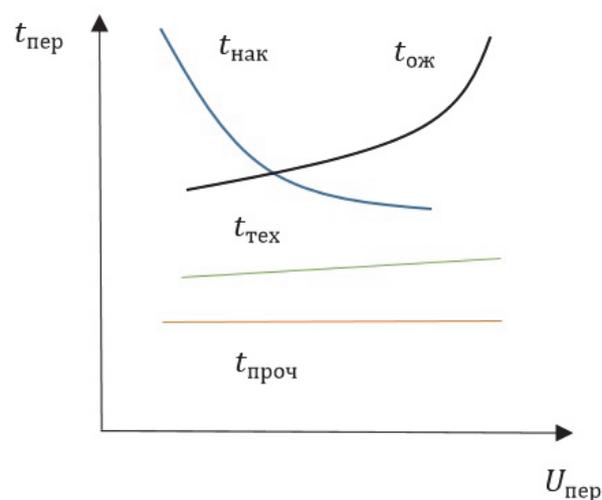


Рис. 5. Зависимость времени накопления и времени ожидания от объема переработки

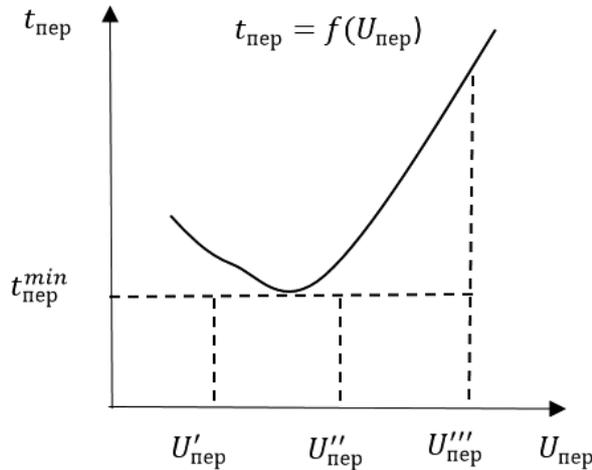


Рис. 6. Изменение времени нахождения транзитного вагона с переработкой в зависимости от объема переработки

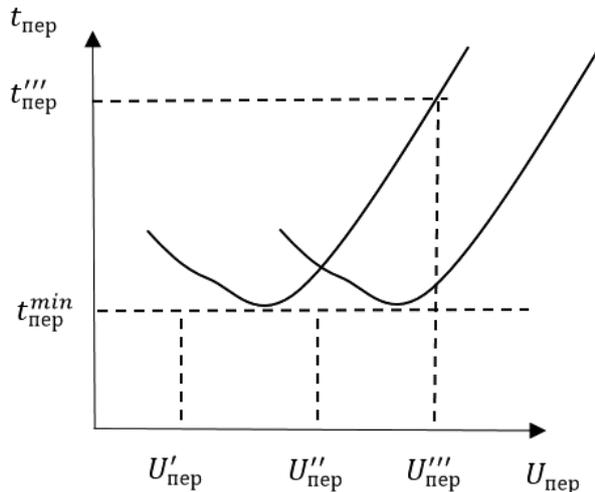


Рис. 7. Изменение технических и технологических возможностей станции

нопотока: изменение путевого развития и изменение технологии.

Первый способ используется часто, но он несет большие капитальные затраты. Второй способ применяется реже. Внедрение [14] «структурных технологий» позволяет управлять элементами свойств структуры системы, целенаправленно приближая их к оптимальным при различных состояниях системы. Классификации наполняемости станционной системы можно также интерпретировать через процент загрузки: 1) до 30% – сниженный режим, при

котором необходимый темп работы ниже оптимального; 2) 30–70% – оптимальный режим загрузки, который характеризуется межоперационными простоями; 3) 70–100% – режим очень высокой загрузки с последующим прекращением маневренности на станции.

При 2-й ситуации применяются такие рычаги как переброска локомотивов из одного района управления в другой, переброска персонала между участками работ, происходит временное изменение специализации парка приема и парка отправления, рассматриваются возможности занятия вытяжных путей и ходовых; при 3-й ситуации – изменение специализации парков станции, использование концов путей, грузовых фронтов.

Также, для того чтобы оптимальный режим поддерживался, необходимо выдерживать величину, обратно пропорциональную времени обработки, под названием темп:

$$\frac{1}{t_r} \geq \frac{B_{\text{пр}}}{t_{\text{пр}}} \geq \frac{1}{J_{\text{пр}}^p} \text{ – условие оптимального режима (прилегающий участок – парк приема – горка);}$$

Здесь t_r – горочный технологический интервал, мин; $B_{\text{пр}}$ – число бригад пункта технического осмотра (пункта коммерческого осмотра или станционного технологического центра), одновременно работающих по операции, определяющей время на обработку состава по прибытию;

$t_{\text{пр}}$ – время на обработку состава в парке приема; $J_{\text{пр}}^p$ – расчетный интервал прибытия поездов в расформирование; $J_{\text{от}}^p$ – расчетный интервал отправления поездов своего формирования; $B_{\text{от}}$ – число бригад ПТО (ПКО или СТЦ), одновременно работающих по операции, определяющей время на обработку состава по отправлению;

$t_{\text{от}}$ – время на обработку состава в парке отправления; $M_{\text{ф}}$ – число маневровых локомотивов, одновременно работающих на формировании поездов; $t_{\text{ф}}$ – средняя продолжительность формирования состава и перестав-

новка в парк отправления; J_n^p – расчетный интервал накопления составов.

Кроме того, существуют три метода, позволяющих описать работу сортировочной станции:

– аналитический, который, в свою очередь, делится на детерминированный и вероятностный способы. В первом производится расчет по аналитическим формулам, а во втором – расчет по формулам теории массового обслуживания;

– графический, который заключается в построении суточного плана графика работы станции;

– метод имитационного моделирования, имеющий наименьшую погрешность по отношению к остальным, поэтому он получил такое широкое распространение.

Особого внимания заслуживает имитационное моделирование. Его особенность в том, что реальный объект заменяется компьютерной моделью, которая предусматривает проведение эксперимента [15].

На рис. 8 показана сеть элементов обслуживания, имитирующая работу станции. Применение метода имитационного моделирования позволяет исследовать работу не только отдельной станции, но и транспортно-логистического узла в целом [16], а также терминальных и железнодорожных сетей [17, 18].

Заключение

Зависимость времени нахождения транзитного вагона с переработкой на станции от объема переработанных вагонов позволяет:

1) выявить режимы работы станции и служить рекомендательными положениями в области превентивных мер по работе сортировочной станции;

2) установить соответствие технического развития станции объему перерабатываемых вагонов по критерию минимизации времени нахождения вагона на станции;

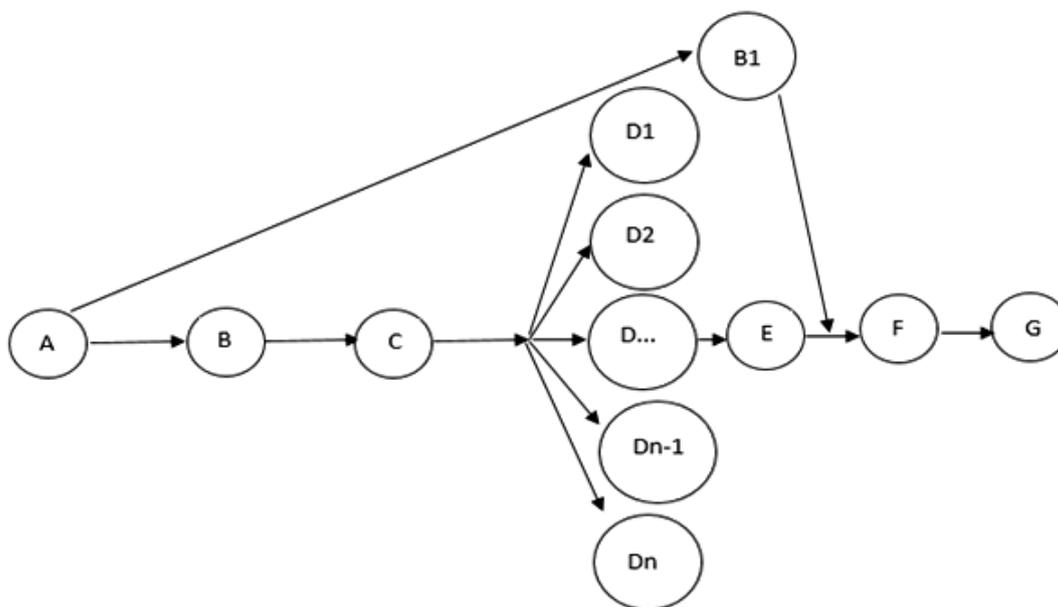


Рис. 8. Сеть элементов обслуживания, имитирующая работу станции:

A – этап приема поездов с прилегающего участка; B – этап технического осмотра в парке приема; C – этап расформирования; D_{n-1} – этап окончания формирования на предпоследнем пути; D_n – этап окончания формирования на последнем пути; E – этап обработки состава своего формирования в парке отправления; F – этап обеспечения поездов локомотивами; G – этап отправления поездов на прилегающий участок; B1 – этап обработки транзитных поездов

3) с экономической точки зрения оценить себестоимость переработки вагона в совокупности с долями себестоимости, приходящимися на сортировочную станцию;

4) на этапе разработки плана формирования обеспечить определение минимального времени нахождения вагонов, чтобы скорректировать этот план под техническое оснащение и технологию станций, располагающихся на полигоне (выбор вариантов с наименьшим числом переработок);

5) осуществить регулируемость транзитности вагонопотоков (равномерную загрузку станций сети);

6) обеспечить текущее и долгосрочное планирование работы станции;

7) определить рациональную загрузку технических устройств;

8) интенсифицировать эксплуатационную деятельность.

Библиографический список

- Шенфельд К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса / К. П. Шенфельд // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 64–67.
- Лисогурский О. Н. Современные подходы к техническому нормированию работы железной дороги / О. Н. Лисогурский // Вісн. Дніпропетровськ. нац. ун-ту залізнич. транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – № 19. – С. 109–112.
- Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом / Д. Ю. Левин. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2008. – 625 с.
- Rzd-partner.ru: информ. агентство. – URL : <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-iyune-2017-goda-park-vagonov-na-seti-rzhd-sokratilsya-na-2-6-posravneniyu-s-iyunem-2016-goda> (дата обращения : 04.05.2021).
- Отчетность компании ОАО «РЖД». – URL : http://annrep.rzd.ru/?layer_id=5182&STRUCTURE_ID=4200 (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2012.rzd.ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2013.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2014.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2015.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- ОАО РЖД [<http://www.rzd.ru>] : офиц. сайт. – URL : <http://ar2016.rzd.ru/ru> (дата обращения : 04.05. 2021).
- Хусаинов Ф. И. К вопросу об оптимальном количестве вагонов на сети железных дорог / Ф. И. Хусаинов // Материалы к докладу на экспертном совете ФАС 26.03.2014 г. – URL : http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad_husainov_fas26032014.pdf (дата обращения : 15.05.2016).
- Сотников Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на требуемую пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
- Бородин А. Ф. Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов / А. Ф. Бородин // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 1 (68). – С. 6–17.
- Козлов П. А. Теоретические основы, организации формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии : автореф. дис. ... докт. техн. наук / П. А. Козлов. – М. : МИИТ, 1987. – 46 с.
- Долгоруков Д. С. Моделирование продвижения вагонопотоков по сортировочным станциям / Д. С. Долгоруков, Т. Н. Каликина // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2013. – № 1 (1). – С. 81–84.
- Покровская О. Д. Терминалистика – организация и управление в транспортных узлах / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2016. – Т. 13. – Вып. 4 (49). – С. 509–520.
- Покровская О. Д. Определение параметров терминальной сети региона (на примере Кемеровской области) / О. Д. Покровская // Транспорт Урала. – 2012. – Вып. 1 (32). – С. 93–97.

18. 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: 09.09.2021
Решение о публикации: 13.09.2021

Контактная информация:

СОЛЯНИК Владимир Владимирович – аспирант; mister.solianik@yandex.ru

Improvement of the planning method of the sortation system

V. V. Solyanik

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

For citation: Solyanik V. V. Improvement of the planning method of the sortation system. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 436–446. (In Russian)
DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-436-446

Summary

Objective: Determination of the minimum time spent by a transit car with processing at the marshalling yard, identification of the optimal car flow in order to optimize the loading of the station's technical devices. **Methods:** The description of interoperational downtime is carried out by the theory of queuing, simulation modeling is used to recreate technological processes at the marshalling yard. **Results:** As a result of the analysis of the average time spent by the car at the station, a model of the marshalling yard was built, taking into account the monthly irregularity of the flow of the processed flow. **Practical importance:** With the help of the obtained data, it is possible to improve the long-term planning of the work of the sortation system, to determine the optimal load of the station's technical means. By changing the station's constant parameters (the number of tracks) and variables (the number of maintenance crews, the number of shunting locomotives), it is possible to respond flexibly to the required development of the car traffic made by the station.

Key words: Time spent by a car at the station, station performance indicators, simulation, optimal flow, technical means, processing of car traffic.

References

1. Shenfeld K. P. O pokazatelyakh kachestva organizatsii perevozhnogo protsesssa [Quality performance indicators of transportation process management]. *Zheleznodorozhniy transport [Railway transport]*, 2011, no. 3, pp. 64–67. (In Russian)

2. Lisogurskiy O. N. Sovremenniye podkhody k tekhnicheskomu normirovaniyu raboty zheleznoy dorogy [Modern approaches to technical rate setting

of railway operation]. *Vіsник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна [Proceedings of Lazarian Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]*, 2007, no. 19, pp. 109–112. (In Russian)

3. Levin D. Yu. *Teoriya operativnogo upravleniya perevozhnym protsessom [The theory of operational control over transportation process]*. Moscow, Uchebnometodicheskiy tsentr po obrazovaniyu

na zheleznodorozhnom transporte [Training and Methodology Centre for Railway Transport] Publ., 2008, 625 p. (In Russian)

4. *Rzd-partner.ru: news agency*. Available at: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-iyune-2017-goda-park-vagonov-na-seti-rzhd-sokratilsya-na-2-6-po-sravneniyu-s-iyunem-2016-goda/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

5. *Otchetnost' kompanii OAO "RZHD" [Reporting of the company JSC "Russian Railways"]*. Available at: http://annrep.rzd.ru/?layer_id=5182&STRUCTURE_ID=4200 (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

6. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2012.rzd.ru/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

7. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2013.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

8. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2014.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

9. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2015.rzd.ru/ru> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

10. *JSC Russian Railways* [<http://www.rzd.ru>]: official site. Available at: <http://ar2016.rzd.ru/ru/> (accessed: May 04, 2021). (In Russian)

11. Khusainov F. I. K voprosu ob optimal'nom kolichestve vagonov na seti zheleznykh dorog [To the question of the optimal number of cars on the railway network]. *Materials for the report at the expert council of the Federal Antimonopoly Service on March 26, 2014*. Available at: http://www.hse.ru/data/2014/04/03/.../doklad_husainov_fas26032014.pdf (accessed: May 15, 2016). (In Russian)

12. Sotnikov E. A. & Shenfeld K. P. Neravnomernost' gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i eyo vliyaniye na potrebnuyu propusknuyu sposobnost' uchastkov [Freight traffic irregularity in the present context and its influence on the required train-handling capacity of sections]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo institute transporta [Proceedings of Research and Development Institute of Railway Transport]*, 2011, no. 5, pp. 3–9. (In Russian)

13. Borodin A. F. Kompleksnyye resheniya problem razvitiya infrastruktury i perevozhnykh resursov [Com-

plex solutions for the problems of infrastructure development and transportation resources]. *Mir transporta [The World of Transport]*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 6–17. (In Russian)

14. Kozlov P. A. *Teoreticheskiye osnovy, organizatsionniye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metallurgii [Theoretical foundations, organizational forms, optimization methods of transport servicing flexible technology of iron and steel works]*. Diss. D. Engineering, Moscow. MIIT [Moscow State University of Railway Engineering] Publ., 1987, 46 p. (In Russian)

15. Dolgoruk D. S. & Kalikina T. N. Modelirovaniye prodvizheniya vagonopotokov po sortirovochnym stantsiyam [Modeling of car traffic volume movement along marshaling yards]. *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona [Transport of Asian-Pacific region]*, 2013, no. 1 (1), pp. 81–84. (In Russian)

16. Pokrovskaya O. D. & Koroviakovskii E. K. Terminalistika – organizatsiia i upravlenie v transportnykh uzлах [Terminalistics: organisation and management in transportation hubs]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia [Proceedings of Petersburg Transport University]*. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University], 2016, vol. 13, iss. 4 (49), pp. 509–520. (In Russian)

17. Pokrovskaya O. D. Opredeleniye parametrov terminalnoy sety regiona (na primere Kemerovskoy oblasti) [Determination of parameters of terminal network (by the example of the Kemerovo region)]. *Transport Urala [Ural Transport]*, 2012, no. 1 (32), pp. 93–97. (In Russian)

18. Titova T. S. & Pokrovskaya O. D. Mezhdistsiplinarnoye polozheniye teorii terminalistiki [Interdisciplinary 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: September 09, 2021

Accepted: September 13, 2021

Authors' information:

Vladimir V. SOLYANIK – Postgraduate Student; mister.solianik@yandex.ru