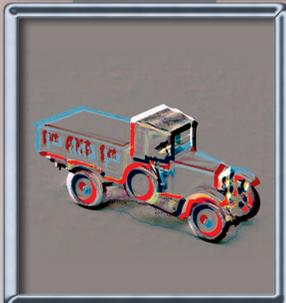


ТРАНСПОРТ **МИР**

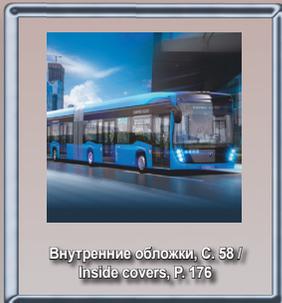
WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

3 2022
Том / Vol. 20



**ГОРОДСКАЯ МОБИЛЬНОСТЬ:
ОБНОВЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО
ТРАНСПОРТА И ПЕРСПЕКТИВЫ
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

**URBAN MOBILITY: RENEWAL
OF MASS TRANSIT VEHICLES
AND OUTLOOK FOR ELECTRIC CARS**



Внутренние обложки, С. 58 /
Inside covers, P. 176

НОВЫЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ ДЛЯ РЕГИОНОВ

В 2022–2024 годах в 21 городскую агломерацию поступит 1161 единица нового общественного транспорта благодаря нацпроекту «Безопасные качественные дороги». На эти цели из федерального бюджета будет направлено порядка 10 млрд рублей.

В рамках нацпроекта большое внимание уделяется не только приведению в нормативное состояние дорожной сети страны, но и обновлению общественного транспорта. Очень важно, чтобы подвижной состав был комфортным и современным, ведь от этого зависит безопасность пассажиров. В ближайшие три года регионы получают 934 автобуса, 200 троллейбусов и 27 трамваев.

Новый транспорт будет поставлен в Новосибирскую, Тульскую, Омскую, Волгоградскую, Челябинскую, Чебоксарскую, Нижегородскую, Пермскую, Сочинскую, Курскую, Оренбургскую, Петрозаводскую, Уфимскую, Брянскую, Астраханскую, Улан-Удэнскую, Саратовскую, Томскую, Ижевскую, Владивостокскую и Рязанскую городские агломерации.

Перечень регионов, в которых будет обновлён подвижной состав, утвердил Минтранс России по итогам конкурсного отбора. Всего поступили заявки от 44 регионов. При их рассмотрении комиссия оценивала уровень развития общественного транспорта в городах. Критериями отбора стали наличие бесконтактных систем оплаты проезда, организация выделенных полос для движения общественного транспорта, наличие утверждённых документов транспортного планирования, соблюдение расписания и ряд других показателей.

Оператором программы поставок общественного транспорта в рамках национального проекта является АО «Государственная транспортная лизинговая компания». Подвижной состав будет приобретаться с существенной скидкой с применением механизма льготного лизинга.

Весь транспорт, поступающий в города по нацпроекту, оборудован в соответствии с современными требованиями и обеспечивает комфортную и безопасную перевозку пассажиров. Он учитывает потребности граждан с ограниченными возможностями здоровья и маломобильных групп населения: обладает низким полом и откид-



ными аппаратами. Кроме того, весь транспорт, поступающий в регионы по нацпроекту, – экологичный.

Благодаря национальному проекту «Безопасные качественные дороги» в 2020–2021 годах в регионы уже поставлено 1131 единица новых автобусов, троллейбусов и трамваев.

В 2022 году благодаря реализации федерального проекта «Развитие общественного транспорта» национального проекта «Безопасные качественные дороги» в 9 городских агломераций поступит 333 единицы новой техники. 310 новых автобусов поступит в Челябинскую, Астраханскую, Нижегородскую, Пермскую, Сочинскую, Курскую и Улан-Удэнскую агломерации, 23 троллейбуса – в Новосибирскую и Брянскую агломерации. На эти цели предусмотрено более 2,5 млрд руб. из федерального бюджета.

«В ближайшее время обновим автобусные и троллейбусные парки в 9 городских агломерациях по нацпроекту «Безопасные качественные дороги». Направим в регионы 333 единицы техники. Это новые автобусы и троллейбусы. Мы стабильно развиваем дорожную систему в регионах. Поездки на автомобиле по всей стране становятся безопаснее и удобнее. Но без развития общественного транспорта наши города, особенно крупные, через несколько лет могут просто встать в пробках. Поэтому важно создавать такие условия, чтобы поездки на общественном транспорте по комфорту не уступали личным автомобилям», – сообщил вице-премьер Марат Хуснуллин.

**По материалам пресс-центра
Министерства транспорта Российской
Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10293>, <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10300> ●**

Фото на обложках: пресс-центр Министерства транспорта Российской Федерации, ПАО «КАМАЗ»: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10300>, <https://kamaz.ru/upload/iblock/515/5159cab4fe3b5b98daad730e285a80de.jpg>.

Covers' photos: media centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation, KAMAZ PTC: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10300>, <https://kamaz.ru/upload/iblock/515/5159cab4fe3b5b98daad730e285a80de.jpg>.

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

3²⁰²²
(100)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор технических наук, профессор РУТ – председатель совета

А. К. Головнич – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта

А. А. Горбунов – доктор политических наук, профессор РУТ

Б. В. Гусев – член-корреспондент Российской академии наук

Н. А. Духно – доктор юридических наук, профессор РУТ

Д. Г. Евсеев – доктор технических наук, профессор РУТ

В. И. Колесников – академик РАН, профессор Ростовского государственного университета путей сообщения

К. Л. Комаров – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного университета путей сообщения

Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор, заместитель председателя

КАЗПРОФТРАНС (Республика Казахстан)

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

Д. А. Мачерет – доктор экономических наук, профессор РУТ, первый заместитель председателя Объединённого учёного совета ОАО «РЖД»

Л. Б. Миротин – доктор технических наук, профессор Московского автомобильного государственного технического университета (МАДИ)

А. В. Сладковски – доктор технических наук, профессор Силезского технологического университета (Республика Польша)

Ю. И. Соколов – доктор экономических наук, профессор РУТ

Тран Дак Су – доктор технических наук, профессор Университета транспорта и коммуникаций (Ханой, Вьетнам)

Т. В. Шепитько – доктор технических наук, профессор РУТ

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ТЕХНИКА

Евгений ХРИПТОВИЧ, Игорь ШИГАНОВ, Дарья ПОНОМАРЕНКО, Сергей ШМЕЛЕВ, Эмиль ИШКИНЯЕВ

Сравнительный анализ характеристик бандажей колёсных пар, закалённых с использованием лазерного и плазменного источника тепла. 6

Денис ШУТОВ, Игорь ЛАКИН

Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования 13

Елена ЛОГИНОВА, Григорий КУЗНЕЦОВ

Повышение тяговых характеристик тепловоза с гибридной энергетической установкой 21

Владислав КУЗЬМИН, Александр ТАБУНЩИКОВ

Оценка чувствительности локомотивных приёмников при использовании испытательных шлейфов со скрещиваниями 30

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

Анатолий КИСЕЛЕНКО, Евгений СУНДУКОВ, Надежда ТАРАБУКИНА

Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях 40

Дмитрий ЕФАНОВ, Валерий ХОРОШЕВ, Герман ОСАДЧИЙ

Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов 50

Екатерина КАЙЗЕР, Анна ЛЕБЕДЕВА

Оценка готовности транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург для электротранспорта. 58

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –

главный редактор

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –

первый заместитель главного редактора

ЧЛЕНЫ

РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –

д.т.н., доцент РУТ

Л. А. БАРАНОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

Г. В. БУБНОВА –

д.э.н., профессор РУТ

Ю. А. БЫКОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Б. ЗЫЛЁВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. И. КОНДРАЩЕНКО –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

А. А. ЛОКТЕВ –

д.ф.-м.н., профессор РУТ

С. Я. ЛУЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

О. Е. ПУДОВИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Н. СИДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

Н. П. ТЕРЁШИНА –

д.э.н., профессор РУТ

В. С. ФЁДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. М. ФРИДКИН –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

В. А. ШАРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. К. ШЕЛИХОВА –

руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

И. А. ГЛАЗОВ –

редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –

технический редактор

М. В. МАСЛОВА –

английский перевод

При перепечатке ссылка

на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2022

Евгения ТАРАСЕНКО, Владимир ЕЛИСЕЕВ

Диагностика подсистем цепей поставок материально-технических ресурсов железнодорожным транспортом в Оренбургской области. 69

Николай АЛЕКСЕЕВ

Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 1 75

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Алексей ФЕДЯНИН

На краю Мещёры. История лесных дорог. Некоторые факты об истории строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво. Часть 2 84

Пресс-архив

Обсуждение доклада Н. П. Верховского по книге «Железнодорожная неразбериха» в Императорском Российском техническом обществе в 1910 году 92

КНИЖНАЯ ЛОЦЯ

Иван ХОЛИКОВ

Правовое регулирование и организация контрольно-надзорной деятельности: новые методические горизонты для новой дисциплины 100

Мирослав АНТОНОВИЧ, Сергей КАБЕНКОВ

65 лет издательской деятельности «Бюллетеня ОСЖД» 104

Авторефераты диссертаций 112

Новые книги о транспорте 122

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 20 декабря 2002 г. Регистрационный номер ПИ № 77-14165.

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У.

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://mirtr.elpub.ru>, с условиями публикации – на сайте <https://mirtr.elpub.ru>.

Журнал включён в Российский индекс научного цитирования, информация размещается в базах данных РГБ, Соционет, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 20²⁰²²
Iss. 3

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

Boris A. Lyovin, D.Sc. (Eng),
professor of Russian University
of Transport, chairman

Alexander C. Golovnich, D.Sc.
(Eng), associate professor of
Belarusian State Transport
University

Alexander A. Gorbunov, D.Sc.
(Pol), professor of Russian
University of Transport

Boris V. Gusev, corresponding
member of the Russian Academy
of Sciences

Nickolay A. Duhno, LL.D.,
professor of Russian University of
Transport

Dmitry G. Evseev, D.Sc. (Eng),
professor of Russian University of
Transport

Vladimir I. Kolesnikov, member of
the Russian Academy of Sciences,
professor of Rostov State University
of Railway Engineering

Constantine L. Komarov, D.Sc.
(Eng), professor of Siberian State
University of Railway Engineering

Bakytzhan M. Kuanyshiev, D.Sc.
(Eng), professor, deputy chairman
of KAZPROFTRANS (Republic of
Kazakhstan)

Boris M. Lapidus, D.Sc. (Econ),
professor

Dmitry A. Macheret, D.Sc. (Econ),
professor of Russian University of
Transport, first deputy chairman of
the United scientific council of JSC
Russian Railways

Leonid B. Mirotin, D.Sc. (Eng),
professor of Moscow State
Automobile and Road Technical
University

Taisiya V. Shepitko, D.Sc. (Eng),
professor of Russian University of
Transport

Aleksander V. Sladkowski,
D.Sc. (Eng), professor of Silesian
University of Technology (Republic
of Poland)

Yuriy I. Sokolov, D.Sc. (Econ),
professor of Russian University of
Transport

Tran Dac Su, D.Sc. (Eng),
professor of the University of
Transport and Communications
(Hanoi, Vietnam)

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

SCIENCE AND ENGINEERING

- Evgeny V. KHRIPTOVICH, Igor N. SHIGANOV,
Daria V. PONOMARENKO, Sergey A. SHMELEV, Emil
D. ISHKINYAEV*
- Comparative Analysis of Wheelsets Tyres,
Hardened Using a Laser or Plasma Heat Source 124
- Denis S. SHUTOV,
Igor I. LAKIN*
- Forecasting the Residual Life of Wheelsets
of 81-740/741 «Rusich» Cars of the Metro Electric Trains 131
- Elena Yu. LOGINOVA,
Grigory Yu. KUZNETSOV*
- Improving Traction Characteristics of a Diesel Locomotive
with a Hybrid Power Plant 139
- Vladislav S. KUZMIN,
Alexander K. TABUNSHCHIKOV*
- Assessment of Locomotive Receivers' Sensitivity
Using Test Loop with Crossing. 148

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS

- Anatoly N. KISELENKO,
Evgeny Yu. SUNDUKOV,
Nadezhda A. TARABUKINA*
- Methods to Forecast Transport Systems Development
under Modern Conditions 158
- Dmitry V. EFANOV,
Valery V. KHOROSHEV,
German V. OSADCHY*
- Conceptual Foundations of the Synthesis
of Safe Train Traffic Control Systems. 168

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief

Evgeny Yu. ZARECHKIN,
first deputy editor-in-chief

BOARD MEMBERS

Evgeny S. ASHPIZ,
D.Sc. (Eng), associate professor
of Russian University of Transport

Leonid A. BARANOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Alexander M. BELOSTOTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Galina V. BUBNOVA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian
University of Transport

Yuriy A. BYKOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Victor S. FEDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Vladimir M. FRIDKIN,
D.Sc. (Eng), senior researcher
of Russian University of Transport

Victor A. GRECHISHNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor
of Russian University of Transport

Valeriy I. KONDRASHENKO,
D.Sc. (Eng), senior researcher
of Russian University of Transport

Alexey A. LOKTEV,
D.Sc. (Phys.-Math.),
professor of Russian University
of Transport

Svyatoslav Y. LUTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Oleg E. PUDOVNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor
of Russian University of Transport

Victor A. SHAROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office

Vladimir N. SIDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

Natalia P. TERYOSHINA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian
University of Transport

Vladimir B. ZYLYOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta

© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2022. All rights reserved

Ekaterina V. KAIZER,
Anna S. LEBEDEVA

Assessment of Electric Vehicle Readiness
of St. Petersburg Transport Infrastructure. 176

Evgenia A. TARASENKO,
Vladimir N. ELISEEV

Diagnostics of Subsystems of Material
and Equipment Supply Chain: Delivery
by Rail in Orenburg Region 187

Nikolai Yu. ALEKSEEV

Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing
Wi-Fi Data in Moscow Transport Hub. Part 1 193

HISTORY WHEEL

Aleksey I. FEDYANIN

On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads.
Some Facts about the History of Construction of Railway
Lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo. Part 2 202

Archived publication

Discussion of the Report of N. P. Verkhovsky
about the Book «Railway Confusion» in the Imperial
Russian Technical Society in 1910 210

BIBLIO-DIRECTIONS

Ivan V. KHOLIKOV

Legal Regulation and Organisation of Control and Supervision
Activity: New Methodological Horizons for a New Discipline . . 218

Mirosław ANTONOWICZ,
Sergey Yu. KABENKOV

65 Years of Publishing Activity of OSJD Bulletin 222

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted
at Russian Universities 230

New Books on Transport and Transportation 240

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

100 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 200 hard copies available on subscription.

All articles in the journal are published in Russian and English, both versions being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked with ✉.

The open accessed full texts of the articles, editorial politics and guidelines for the authors are available at the Website of the journal at <https://mirtr.elpub.ru/jour> (both in Russian and English). The authors can submit their articles either in Russian or in English. The journal uses double-blind peer reviewing.

The full texts in Russian and key information in English are also available at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian state library, Socionet, Ulrichsweb, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.

Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

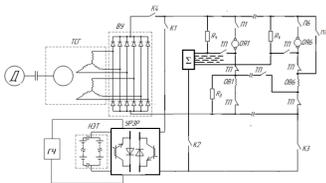
Т



КОЛЁСНЫЕ ПАРЫ: ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

6

Сравнительная оценка процессов и результатов упрочнения с помощью лазерной и плазменной технологии.

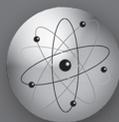


КОЛЁСНЫЕ ПАРЫ: МЕТРОПОЛИТЕН

13

Измерения, статистические данные и разработанная методология позволяют рассчитать остаточный ресурс не только отдельных элементов, но и всей колёсной пары вагонов метропоездов.

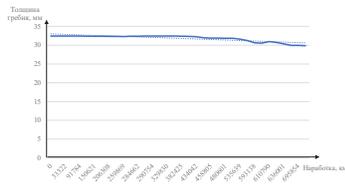
НАУКА И ТЕХНИКА



ГИБРИДНЫЙ ЛОКОМОТИВ

21

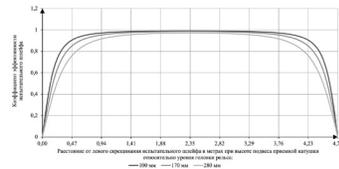
Тяговые характеристики: как их увеличить при установке тяговых аккумуляторов, не потеряв мощности дизельного локомотива.



ЛОКОМОТИВНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

30

Проверка чувствительности и помехоустойчивости приёмника и другого оборудования при помощи испытательного шлейфа: модель и расчёты.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 629.4.027.118:621.3.028
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-1>

Сравнительный анализ характеристик бандажей колёсных пар, закалённых с использованием лазерного и плазменного источника тепла



Евгений ХРИПОВИЧ



Игорь ШИГАНОВ



Дарья ПОНОМАРЕНКО



Сергей ШМЕЛЕВ



Эмиль ИШКИНЯЕВ

Евгений Владимирович Хрипович^{1,2}, Игорь Николаевич Шиганов², Дарья Викторовна Пономаренко³, Сергей Андреевич Шмелев¹, Эмиль Дамирович Ишкиняев⁴

¹ ООО Научно-техническое объединение «ИРЭ-Полус», Фрязино, Россия.

² Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия.

³ Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия.

⁴ Научно-исследовательский ядерный университет (НИЯУ МИФИ), Москва, Россия.

✉ ehriptovich@ntoir-polus.ru.

АННОТАЦИЯ

Боковой износ гребня колёсной пары локомотива является одним из основных видов износа, возникающего при эксплуатации подвижного состава. Важной характеристикой обода железнодорожного колеса является его износостойкость, которая напрямую зависит от содержания углерода в стали. Содержание углерода в колёсной стали 2 в количестве 0,55–0,65 связано с тем, что при его меньшей концентрации увеличивается доля зернограничного феррита, что приводит к снижению контактной прочности колёс, а при большей – приводит к склонности к хрупкому разрушению. Повышенное содержание углерода позволяет осуществить закалку поверхности стали. Для уменьшения износа гребня бандаж и увеличения ресурса колёсных пар локомотивов возможно применение технологий плазменного и лазерного упрочнения.

Целью данной работы является определение преимуществ и недостатков технологий лазерного и плазменного упрочнения рабочих поверхностей бандажей колёсных пар железнодорожного подвижного состава.

В работе проводится сравнительный анализ микроструктуры и микротвёрдости упрочнённых методом плазменной и лазерной закалки бандажей колёсных пар тепловоза 2ТЭ25КМ, выполненных из колёсной стали 2 ГОСТ 398-2010.

Поставленные задачи решались с использованием теоретических и экспериментальных методов исследования. Подготовка и исследование закалённых образцов выполнено на оборудовании испытательной лаборатории ООО НТО «ИРЭ-Полус».

Проведено исследование зон упрочнения в различных областях и участках бандаж. Проведены трибологические испытания на износостойкость образцов, закалённых с использованием высокоомощного волоконного лазера. Выявлены основные преимущества и недостатки процессов лазерной и плазменной закалки.

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о высокой перспективности применения технологии лазерной закалки для упрочнения бандажей колёсных пар как альтернативы процессу плазменного упрочнения.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, лазерная закалка, плазменная закалка, колёсная пара, колёсная сталь.

Для цитирования: Хрипович Е. В., Шиганов И. Н., Пономаренко Д. В., Шмелев С. А., Ишкиняев Э. Д. Сравнительный анализ характеристик бандажей колёсных пар, закалённых с использованием лазерного и плазменного источника тепла // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-1>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение принципиально новых технологий лазерной закалки среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей с применением волоконных промышленных лазеров и специальных оптических головок, позволяющих выполнять обработку бандажа за один проход с шириной зоны упрочнения до 40 мм, является в настоящее время актуальным технологическим направлением. Процесс лазерной закалки имеет целый ряд преимуществ перед другими видами обработки. При воздействии лазерного излучения на поверхности обрабатываемой детали образуются сжимающие напряжения, положительно влияющие на общее напряжённое состояние изделия [1]. Формирование больших напряжений сжатия в закалённом поверхностном слое и снижение напряжений растяжения в переходной зоне является важным фактором повышения работоспособности изделий, работающих в условиях контактных и знакопеременных нагрузок [2]. При лазерной закалке обеспечивается однородность структуры и микротвёрдости по всей глубине зоны упрочнения.

Существенный положительный эффект достигается при сопротивлении ползучести металла. Он связан с тем, что за счёт мелкодисперсной структуры предотвращается пластическое течение стали, которое возникает при наличии резких градиентов температур [3; 4]. За счёт мелкодисперсности структуры упрочнённого слоя обрабатываемая деталь сочетает в себе оптимальные значения пластичности, твёрдости и прочности, что приводит к повышению её триботехнических характеристик [5]. Результатом лазерной термообработки является увеличение контактно-усталостной прочности детали, а также увеличение её износостойкости в несколько раз [6].

Оборудование для лазерной обработки гребней бандажей колёсных пар практически не используется на отечественных ремонтных предприятиях. До недавнего времени оставался единственный участок лазерной закалки на Горьковской железной дороге на базе комплекса «Комета-2» [7]. Плазменная технология закалки бандажей колёсных пар локомотивов является наиболее распространённой. На ремонтных предприятиях, обслуживающих подвижной состав ОАО «РЖД», внедрено около 90 установок, из них многие (не менее 20) по различным причинам не используются [8].

Авторами работы [9] показано, что в зоне плазменной закалки гребней образуются высокие остаточные растягивающие напряжения. При их возникновении в поверхностных слоях возможно суммирование с внешними растягивающими или знакопеременными напряжениями, возникающими в процессе эксплуатации колёсных пар [10]. Описанный эффект может приводить к возникновению дефектов контактно-усталостного происхождения и вызывать образование трещин и выкрашиваний, способных прямо или косвенно влиять на безопасность движения поездов [11; 12].

Полученные при использовании плазменной технологии экспериментальные данные показали, что при плазменной обработке необходимо обеспечить равномерность упрочнённого слоя как по ширине зоны закалки, так и по окружности гребней [2]. Исходя из представленных данных также можно сделать вывод о том, что в процессе плазменного упрочнения может происходить значительный перегрев поверхностного слоя обрабатываемой детали. При лазерной обработке данного эффекта не наблюдается.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа формирования микроструктуры, микротвёрдости и износа упрочнённых методом плазменной и лазерной закалки бандажей колёсных пар тепловоза 2ТЭ25КМ, выполненных из колёсной стали 2.

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты проводились на реальных колёсных парах из стали 2 (ГОСТ 398-2010) с закалкой всей длины бандажей двух колёс. Химический состав колёсной стали определялся с помощью спектрометра Q8 Magellan по ГОСТ 18895 и представлен в табл. 1.

Микроструктура стали (рис. 1) представляет собой тонкопластинчатый перлит с ферритными оторочками шириной 3–7 мкм по его границам. При этом размер перлитных зёрен изменяются в пределах от 35 до 55 мкм. Микротвёрдость такой структуры составляет 295–333 HV_{0,2}.

Работа по лазерной закалке бандажей колёсных пар проводилась на установке обработки тел вращения IPG FL-CPM, укомплектованной волоконным лазером IPG YLS-10000, изготовленной в ООО НТО «ИРЭ-ПОЛЮС» (рис. 2).





Химический состав колёсной стали 2 [выполнено авторами]

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu	Co	V
0,595–0,617	0,372–0,397	0,779–0,813	0,025–0,039	0,043–0,073	0,005–0,006	0,011–0,013	0,003–0,005	0,009–0,012	0,025–0,031	0,021–0,025

Рис. 1. Микроструктура основного металла колёсной стали 2, $\times 1000$ [выполнено авторами].

Рис. 2. Установка обработки тел вращения FL-CPM [выполнено авторами].

Для повышения производительности процесса лазерной закалки обработка бандажа осуществлялась прямоугольным профилем луча с размерами 35 x 5 мм. Преобразование круглого профиля пятна лазерного излучения в прямоугольный осуществлялось при использовании специализированного модуля формирователя линейного профиля пятна IPG IRE-POLUS, внешний вид и внутреннее устройство которого приведены на рис. 3.

Плазменная закалка выполнялась на стандартном оборудовании, которое применяется на ремонтных предприятиях, обслуживающих парк локомотивов ОАО «РЖД».

Режимы лазерной закалки: мощность лазерного излучения – 5–8 кВт; линейная скорость закалки бандажей – 5–7,5 мм/сек. Для защиты оптических элементов лазерной головки использовалась поперечная прокатка воздухом.

Режимы плазменной закалки: рабочая мощность источника до 35 кВт; линейная скорость – 5–7,5 мм/сек; ширина зоны воздействия – 28 мм. В качестве плазмообразующего и защитного газа использовался азот. Расход охлаждающей воды составил 0,8 л на одну колёсную пару.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование макроструктуры после плазменной и лазерной закалки проводили на шлифах, вырезанных из центральной части колеса, которая не подвергалась повторному нагреву при замыкании поверхности закалки. На рис. 4 показаны поперечные шлифы упрочнённых участков после плазменной и лазерной обработки с указанием размеров зоны упрочнения.

На макроструктурах рис. 4 видно, что максимальная глубина упрочнённого слоя после плазменной и лазерной закалки сопоставима и составляет примерно 1900 мкм. По краям закалённой зоны в обоих случаях наблюдается плавное снижение глубины до нулевых значений.

На основе изучения микроструктуры и микротвёрдости образцов после лазерной и плазменной закалки обнаружено, что получаемые свойства в различных областях бандажа, отличных от места замыкания, одинаковы, что позволяет выполнять исследование только его центральной части и области замыкания.

Исследование микроструктуры проводили на участках, показанных на рис. 4 и обозначенных цифрами 1, 2, 3. Микроструктура и микротвёрдость среднего участка 2 (рис. 4) для плазменной и лазерной обработки показаны на рис. 5 и 6.

Исследование приповерхностного слоя участка 2 глубиной ~1100 мкм показало, что при плазменной обработке происходит образование мартенситной структуры в виде блоков, по границам которых наблюдаются вкрапления ферритно-карбидной смеси, значения микротвёрдости составляют 766–857 HV_{0,2} (рис. 5а). При лазерной закалке микроструктура состоит из мартенсита с более высокими значениями твёрдости 783–879 HV_{0,1} (рис. 6а).

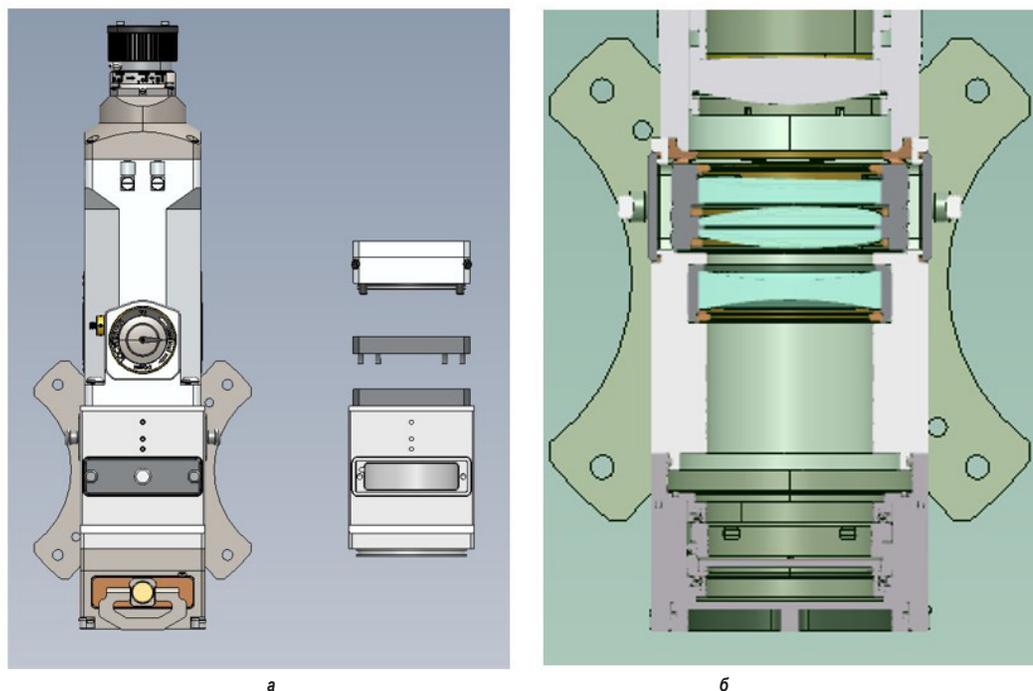


Рис. 3. Формирователь прямоугольного профиля пятна:
а – внешний вид узла; б – конструкция узла [выполнено авторами].

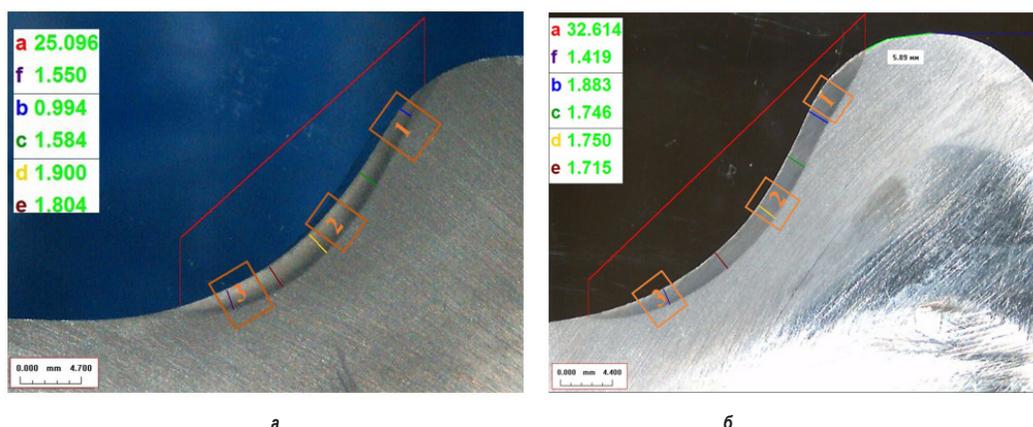


Рис. 4. Макроструктура образца, вырезанного из зоны бандажа колёс:
а – после плазменной закалки; б – после лазерной закалки [выполнено авторами].

Удаление от поверхности исследуемого участка на глубину более 1100 мкм приводит при плазменной обработке к образованию зоны протяжённостью 500 мкм с троостито-мартенситной структурой, микротвёрдость которой составляет 471–621 HV_{0,2} (рис. 5б), а при лазерной в зоне протяжённостью около ~400 мкм происходит незначительное снижение микротвёрдости до 726–783 HV_{0,1} и образование в структуре смеси мартенсита и троостита (рис. 6б).

На глубине более 1600 мкм в обоих случаях наблюдается переходная зона протяжённостью ~300 мкм, микроструктура которой представляет собой преимущественно ферритно-карбидную смесь с микротвёрдостью 347–503 HV_{0,2} (рис. 5в) при плазменной закалке и микротвёрдостью 425–669 HV_{0,1} (рис. 6в) при лазерной закалке.

Таким образом, изучение макро- и микроструктуры, а также микротвёрдости различных участков центральной части бандажа после лазерной закалки показало высокие



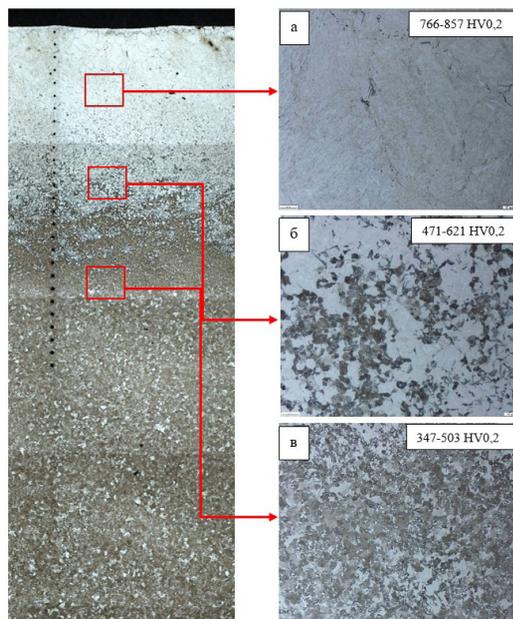


Рис. 5. Микроструктура и микротвёрдость различных зон упрочнённого участка 2 после плазменной закалки [выполнено авторами].

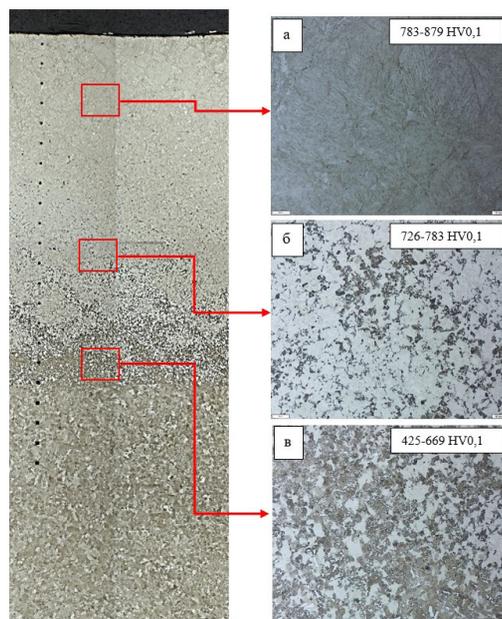


Рис. 6. Микроструктура и микротвёрдость различных зон упрочнённого участка 2 после лазерной закалки [выполнено авторами].

значения твёрдости по всей глубине упрочнённого слоя за счёт формирования мартенситной структуры и ферритно-карбидной смеси высокой дисперсности.

При плазменной и лазерной закалке бандажа колёсной пары образуется замок – место, в котором происходит повторный нагрев вследствие замыкания упрочнённого слоя. В работе проводился анализ данного участка в поперечных и продольных направлениях после лазерной закалки. Глубина максимального упрочнения на участках начала и конца замыкания составляет 1500–1900 мкм, то есть практически на всю глубину закалки. Сравнительный анализ микроструктуры и микротвёрдости в начале и конце замыкания области упрочнения показал формирование по всей глубине закалённого слоя как в начале замыкания, так и в конце, схожего структурно-фазового состава и близких значений микротвёрдости с центральной частью бандажа. Это связано с одинаковым содержанием мартенситной составляющей в структуре соответствующих по расположению зон. Выявлено, что при лазерной закалке зона перекрытия характеризуется мелкодисперсностью даже после повторной перезакалки и минимальной зоной отпуска, в которой значительно снижается вероятность появления дефектов в ходе эксплуатации колёсных пар. Также стоит

отметить, что при обработке с использованием плазменных источников тепла зона разупрочнения в области замыкания больше за счёт высокого теплового нагрева области обработки при выполнении замыкания зоны закалки бандажей колёсных пар, который также приводит к перезакалке и отпуску ранее упрочнённой зоны, что увеличивает вероятность возникновения в этой зоне различного рода дефектов.

Микроструктура участков 1 и 3 при лазерной закалке в соответствующих зонах упрочнённого слоя как в начале, так и в конце замыкания близка, а именно, в поверхностной зоне формируется мартенситная структура с максимальными значениями микротвёрдости 860 HV_{0,2}. По мере удаления от поверхности выделяется троостит и, как следствие, происходит падение микротвёрдости до 750 HV_{0,2}. Переходный слой характеризуется дальнейшим снижением микротвёрдости вследствие формирования преимущественно ферритно-карбидной смеси. Исследование участка замыкания упрочнённого слоя после лазерной закалки показало, что минимальные значения микротвёрдости находятся в диапазоне допустимых значений.

Результаты сравнительного анализа различных областей закалённых бандажей колёсных пар свидетельствуют о том, что

в случае плазменной закалки значения микротвёрдости в поверхностной зоне упрочнённого слоя несколько ниже, чем при лазерной закалке. Однако, при удалении от поверхности в сторону основного металла значения микротвёрдости соответствующих зон значительно различаются. Так, в случае лазерной закалки микротвёрдость переходной зоны выше примерно на 100–150 единиц по Виккерсу. При невысоких значениях твёрдости возрастает вероятность проявления «катастрофического износа» боковых поверхностей гребней колёс и рельсов, связанного с переходом к изнашиванию по механизму задира, для которого требуется сравнительно большой путь непрерывного скольжения при относительно низкой (менее 0,7 м/с) скорости и твёрдости поверхностей не более 600 HV [13].

Показано, что оба вида закалки приводят к формированию в упрочнённом слое градиентно-смешанной структуры. При этом в поверхностном слое при высоких скоростях охлаждения формируется мартенситная структура, а в нижележащих зонах распад аустенита сопровождается образованием ферритно-карбидной смеси различной дисперсности. Стоит отметить, что при лазерной закалке глубина поверхностного слоя с чисто мартенситной структурой больше, что уменьшает глубину зон со смешанной структурой и более низкими значениями микротвёрдости.

В процессе лазерной термической обработки поверхностей сталей в зоне лазерного нагрева происходит образование фаз и структур, схожих по строению со структурами, возникающими при классических методах закалки металлов. Благодаря короткому термическому циклу, вследствие которого не происходит длительной выдержки в аустенитной зоне, микроструктура области закалки является мелкодисперсной по сравнению со структурой, образующейся после плазменной закалки. Данный эффект оказывает положительное влияние на механические свойства приповерхностного слоя упрочняемой детали, что приводит к увеличению значений твёрдости и износостойкости изделий.

Таким образом, высокие значения микротвёрдости по всей глубине упрочнённого слоя, отсутствие резкого изменения структурно-фазового состава при лазерной закалке и формирование преимущественно мартенситной структуры при глубине максимально-

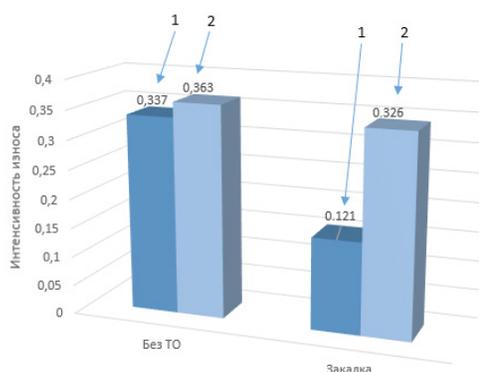


Рис. 7. Интенсивность линейного изнашивания образцов без термообработки и после лазерной закалки: 1 – образец из колёсной стали; 2 – контртело из рельсовой стали [14].

го упрочнения может привести к уменьшению износа в процессе эксплуатации бандажа колёсных пар.

С целью выявления степени влияния лазерной закалки на износостойкость гребней бандажей проведены испытания по схеме плоскость (из колёсной стали 2) и кольцо (из рельсовой стали) с применением машины трения МТУ-01.

На рис. 7 приведены результаты трибологических испытаний на определение величины интенсивности линейного изнашивания I образцов из колёсной стали после лазерного упрочнения и без него, в паре с контртелом из рельсовой стали.

Интенсивность изнашивания определяли по формуле:

$$I = \Delta h / L,$$

где L – путь трения, мм;

Δh – величина износа, мкм.

Из приведённой диаграммы (рис. 7) видно, что при незначительном изменении величины изнашивания рельс происходит значительное изменение стойкости образцов из колёсной стали 2. Проведённые испытания показали высокую эффективность процесса лазерной закалки бандажей колёсных пар.

Таким образом, результаты проведённых сравнительных исследований позволяют сделать вывод о перспективности внедрения технологии лазерного упрочнения приповерхностного слоя бандажей колёсных пар локомотивов. Её внедрение на ремонтных предприятиях позволит снизить среднюю интенсивность износа бандажей и увеличить их ожидаемый средний пробег между отточками в ходе планового технического обслуживания подвижного состава.





ВЫВОДЫ

Глубина упрочнённого слоя после плазменной и лазерной закалки на центральном участке бандажа сопоставима и составляет ~1900 мкм, а на участках, расположенных ближе к краю, ~1500 мкм. При этом глубина максимального упрочнения с повышенными значениями микротвёрдости и мелкодисперсной структурой больше при лазерной закалке.

Оба вида закалки приводят к формированию в упрочнённом слое градиентно-смешанной структуры. В поверхностном слое при высоких скоростях охлаждения формируется мартенситная структура, а в нижележащих зонах распад аустенита сопровождается образованием ферритно-карбидной смеси различной дисперсности. Микроструктура упрочнённого слоя стали после лазерной закалки более однородна.

Трибологические испытания показали, что при незначительном изнашивании рельс стойкость бандажа колёсной пары после лазерной закалки может быть увеличена в 2,8 раза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Богданов А. В., Грезев Н. В., Шмелев С. А., Мурзак М. А., Маркушов Ю. В. Упрочнение колёсной стали волоконными лазерами // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 9 (63). – С. 30–37. [Электронный ресурс]: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/article/12986/view>. Доступ 27.05.2022.
- Богомолов А. В., Канаев А. Т. Плазменная технология упрочнения гребней локомотивных колёсных пар // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I междунар. интерактив. науч.-практ. конф. [13–19 дек. 2011, г. Екатеринбург]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. – Ч. 1. – С. 38–43. [Электронный ресурс]: https://elar.ufu.ru/bitstream/10995/27924/1/ivmim_2011_08.pdf. Доступ 27.05.2022. ISBN 978-5-7996-0708-1, 978-5-7996-0709-8.
- Богданов А. В., Голубенко Ю. В. Волоконные технологические лазеры и их применение: Учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2016. – 208 с. ISBN 978-5-8114-2027-8.
- Менушинов А. П., Неволлин В. Н., Петровский В. Н. Физические основы лазерной технологии. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 210 с. ISBN 978-5-7262-1252-4.
- Марков Д. П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте (Труды Всероссийского

научно-исследовательского института железнодорожного транспорта). – М.: Интекст, 2007. – 408 с. ISBN 978-5-89277-080-4.

- Шмелев С. А., Богданов А. В., Татаркин Д. Ю., Хриптович Е. В. Разработка оптимальных режимов упрочнения контактных поверхностей колёсных пар вагонов и локомотивов с использованием волоконных лазеров // Будущее машиностроения России: Сб. докладов Десятой Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов (с международным участием). – 2017. – С. 230–236. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41786898&pf=1>. Доступ 27.05.2022.

- Глазунов В. Д. Способы снижения износа колёсных пар подвижного состава // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 2 (54). – С. 107–114. [Электронный ресурс]: https://iuggu.ru/download/2019/2-54-2019/14_Glazunov.pdf. Доступ 27.05.2022. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-107-114.

- Петров С. Ю., Рябов А. А., Костюкевич А. И. Упрочнение гребней и снижение износа колёсных пар // Мир транспорта. – 2013. – № 2 (46). – С. 62–69. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19412518>. Доступ 27.05.2022.

- Киселев С. Н., Саврухин А. В., Кузьмина Г. Д. Влияние плазменной обработки на напряжённо-деформированное и структурное состояние гребней бандажей колёс локомотивов // Сварочное производство. – 2001. – № 6. – С. 9–17.

- Буйнов А. П. Основные причины интенсивного износа бандажей колёсных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. – 223 с. ISBN 978-5-94614-148-2 [ограниченный доступ].

- Wang, Wenjian; Guo, Jun; Liu, Qiyue. Experimental study on wear and spalling behaviors of railway wheel. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2013, Vol. 26, Iss. 6, pp. 1243–1249. [Электронный ресурс]: <https://cjme.springeropen.com/counter/pdf/10.3901/CJME.2013.06.1243.pdf>. DOI: 10.3901/CJME.2013.06.1243 [ограниченный доступ].

- Deters, L., Proksch, M. Friction and wear testing of rail and wheel material. Wear, 2005, Vol. 258, Iss. 7–8, pp. 981–991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.03.045>.

- Марков Д. П. Механика и трибология бокового износа колёс и рельсов // Вестник РГУПС. – 2003. – № 3. – С. 16–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11693847>. Доступ 27.05.2022.

- Шмелев С. А. Разработка оборудования для получения линейного профиля излучения волоконного лазера, обеспечивающего высокоэффективную обработку гребней железнодорожных колёс // Дисс... канд. техн. наук. – МГТУ имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2020. – 166 с. ●

Информация об авторах:

Хриптович Евгений Владимирович – начальник сектора лазерной наплавки и термообработки ООО Научно-технического объединения «ИРЭ-Полюс»; аспирант Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национального исследовательского университета), Москва, Россия, eHriptovich@ntoire-polus.ru.

Шиганов Игорь Николаевич – доктор технических наук, профессор Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национального исследовательского университета), Москва, Россия, inshig@bmsu.ru.

Пономаренко Дарья Викторовна – инженер, ассистент Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И. М. Губкина, Москва, Россия, drpomarenko@ntoire-polus.ru.

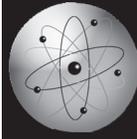
Шмелев Сергей Андреевич – кандидат технических наук, заместитель начальника отдела продаж ООО Научно-технического объединения «ИРЭ-Полюс», Москва, Россия, sShmelev@ntoire-polus.ru.

Ишкиняев Эмиль Дамирович – аспирант, инженер-технолог Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ МИФИ), Москва, Россия, elshkinyaev@ntoire-polus.ru.

Статья поступила в редакцию 13.05.2022, одобрена после рецензирования 24.06.2022, принята к публикации 29.06.2022.

- Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 6–12

Хриптович Е. В., Шиганов И. Н., Пономаренко Д. В., Шмелев С. А., Ишкиняев Э. Д. Сравнительный анализ характеристик бандажей колёсных пар, закалённых с использованием лазерного и плазменного источника тепла



Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741



Денис ШУТОВ



Игорь ЛАКИН

*Денис Сергеевич Шутов¹,
Игорь Игоревич Лакин²*

^{1, 2} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

¹ ГУП «Московский метрополитен», Москва, Россия.

² АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия.

✉ ¹ shutov-ds@mosmetro.ru.

АННОТАЦИЯ

Современный подход к определению ресурса узлов и деталей подвижного состава позволяет не только оценить предотказное состояние объекта, но и прогнозировать его ресурс.

Целью исследования является прогнозирование величины пробега колёсных пар современных электропоездов модели «Русич» на основе использования статистических данных и определения остаточного ресурса.

При проведении исследования использованы реальные данные, фиксируемые при обслуживании и ремонте электропоездов.

Предложенный подход позволяет получить наглядное представление о скорости износа оборудования, так как он основан на использовании измеренных параметров объекта. Проведение анализа указанных величин даёт возможность

определить процессы, протекающие в изделии. При использовании больших выборок появляется возможность провести аппроксимацию полученных числовых значений и произвести прогноз технического состояния с большей достоверностью.

Задача прогнозирования остаточного ресурса является достаточно сложной и должна решаться отдельно для каждого вида оборудования. Именно поэтому общепринятой мировой практикой является плано-предупредительная система технического обслуживания и ремонта. Но современные автоматизированные цифровые системы технического диагностирования (включая бортовые и встроенные) позволяют частично перейти на техническое обслуживание и ремонт с учётом фактического технического состояния подвижного состава.

Ключевые слова: метрополитен, остаточный ресурс, вагоны метрополитена, колёсные пары, подвижной состав, прогнозирование, диагностирование, надёжность оборудования, безопасность движения.

Для цитирования: Шутов Д. С., Лакин И. И. Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-2>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**



ВВЕДЕНИЕ

Ресурс деталей определяется на этапе проектирования и указывается в ТУ на изделие. Например, у колёсных пар электропоездов моделей «Русич» на их отдельные элементы устанавливается срок службы в 31 год при условии соблюдения установленной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Одной из задач систем технического диагностирования является прогнозирование технического состояния объекта, а именно: определение остаточного ресурса оборудования (оставшегося времени его пробега или работы до предельного состояния)¹. Согласно ГОСТ «Надёжность в технике»² – это суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния. Критерий предотказного состояния – это признак или совокупность признаков предотказного состояния объекта. Как правило, – это выход одного или нескольких параметров за пределы допуска. Последнее существенно упрощает решение задачи прогнозирования остаточного ресурса через аппроксимацию тренда диагностических данных, которая предполагает подбор математической функции для статистических данных с целью расчёта остаточного ресурса.

Зависимость изменения параметров объекта диагностирования от времени (пробега) зависит от физических особенностей объекта и может иметь как линейную, так и другие виды закономерностей: параболическую, гиперболическую, экспоненциальную и многие другие [1]. Износ гребня и поверхности катания колеса при изменении пробега происходит равномерно, и величины указанных параметров при изменении пробега будут иметь линейную зависимость. В случае параболической, гиперболической, экспоненциальной или других зависимостей решение задачи аппроксимации достаточно сложно. Поэтому на практике обычно используют линейную аппроксимацию функции y (в нашем случае, диаметр и толщина гребня колеса) от диагностического аргумента x ($y = k \cdot x + b$), для чего на небольших диапазонах

¹ ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Доступ 21.02.2022.

² ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Доступ 21.02.2022.

наблюдения популярен метод наименьших квадратов, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений искомой функции от статистических данных [2]. Величина искомой функции равна сумме квадратов отклонений наблюдаемых величин от теоретических.

Для нахождения функции необходимо определить вид предполагаемой зависимости (чаще всего берется линейная регрессия вида $y = k \cdot x + b$) и произвести решение системы уравнений для нахождения параметров k и b .

При расчёте долговечности колёсных пар электропоезда есть два понятия ресурса: по разрушению либо исчерпанию контролируемого параметра [3]. В связи с малым количеством отказов колёсных пар, связанных с разрушением их элементов, а также с целью определения их долговечности в данной работе будем использовать метод определения ресурса по исчерпанию контролируемого параметра. Применительно к электропоездам, необходимый диапазон для остаточного ресурса рассчитывается до ближайшего деповского ТОиР: ТО-3, ТР-1. При среднесуточном пробеге 700 км и межремонтном пробеге в 30 тыс. км – это два месяца. Для таких относительно небольших периодов подходит метод наименьших квадратов.

Целью работы является оценка технического состояния колёсных пар электропоездов Московского метрополитена на основе статистических данных. Для решения поставленной задачи использовался метод наименьших квадратов с дальнейшим анализом полученных результатов [4, с. 203–216].

Указанный метод позволяет получить наиболее точную характеристику состояния оборудования при отсутствии точных значений параметров отдельных деталей рассматриваемого узла [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходные данные

Для проведения анализа процесса изнашивания колёс были взяты значения диаметров и толщин гребня колёс, полученные при фиксированных наработках, из «Карт учёта состояния колёсных пар» для головных вагонов модели 81–740 и промежуточных вагонов модели 81–741.

Числовые значения диаметров колёсных пар сведём в табл. 1, а толщины гребней колеса – в табл. 2.

Таблица 1

Значения диаметров колёсных пар вагона № 0883 модели «Русич» [составлено авторами]

Диаметр	Подкатка	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-4	...	ТР-2	ТО-2	ТО-3	ТР-1	ТО-3	ТР-1
Пробег, км	0	295	3090	22358	28152	11319	...	12333	17799	13630	25251	16051	9930
Наработка, км	0	295	3385	25744	53897	65216	...	212870	230670	244300	269551	285603	295534
1	861	861	861	861	861	861	...	860,9	860,8	860,7	860,7	860,5	860,5
2	861	861	861	861	861	861	...	860,9	860,8	860,7	860,6	860,5	860,5
1	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,2
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860,5	860,4	860,3	860,3	860,3	860,3
1	861	861	861	861	861	861	...	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,1
2	861	861	861	861	861	861	...	860,8	860,8	860,7	860,7	860,7	860,7
1	861	861	861	861	861	861	...	860,5	860,5	860,4	860,3	860,3	860,2
2	861	861	861	861	861	861	...	860,6	860,5	860,5	860,4	860,4	860,2
1	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860	859,9	859,8	859,7	859,7	859,6
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	859,9	859,8	859,7	859,7	859,7	859,6
1	861	861	861	861	861	861	...	860,4	860,3	860,2	860,1	860	859,9
2	861	861	861	861	861	861	...	860,5	860,4	860,3	860,2	860,2	860,1

Таблица 2

Значения толщины гребня колёсных пар вагона № 0291 модели «Русич» [составлено авторами]

Толщина гребня	Подкатка	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТР-1	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3
Пробег, км	0	0	0	8665	24656	33321	28807	29655	26763	...	...	27028	...
наработка, км	0	0	0	8665	33321	33321	62129,1	91784	259868	...	...	722882	...
1	33	33	33	33	33	33	33	33	32,8	...	...	30,5	...
2	33	33	33	33	33	33	33	33	32,8	...	...	31	...
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	...	...	29	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	...	...	29,5	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	...	...	31	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	...	...	31	...
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	...	...	30,5	...
2	32	32	32	32	32	32	32	32	31,8	...	...	31	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	...	...	29,5	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	...	...	30	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	...	...	26,8	...
2	32	32	32	32	32	32	32	32	31,8	...	...	28,5	...





Примеры аппроксимации износа поверхности катания к/п для вагона № 0293 [составлено авторами]

№ п/п	Пробег до обточки l_n	Математическое ожидание диаметров к/п вагона	Произведение пробега и диаметра $l_n \cdot d_n$	Квадрат пробега l_n^2
1	0	860,92	0	0
2	117 554	860,85	101 196 360	13818942916
3	143 351	860,83	123 400 841	20549509201
4	175 644	860,67	151 171 521	30850814736
5	202 728	860,56	174 459 607	41098641984
6	228 222	860,36	196 353 079	52085281284
7	240 874	860,17	207 192 588	58020283876
8	246 054	860,07	211 623 663	60542570916
9	265 552	859,97	228 366 753	70517864704
10	292 689	859,89	251 680 344	85666850721
11	322 539	859,81	277 322 257	104031406521
Σ	2 235 207	9 464,10	1 922 767 018	537182166859
Тренд	$k = -0,000004147$	$b = 860,92$		
1	350 000	859,47		
...		
239	12 250 000	810,12		
240	12 300 000	809,92		

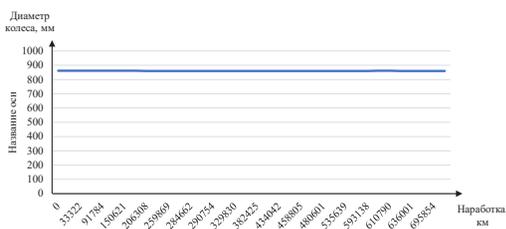


Рис. 1. Зависимость диаметра колёс от наработки на вагоне № 0883 [разработано авторами].

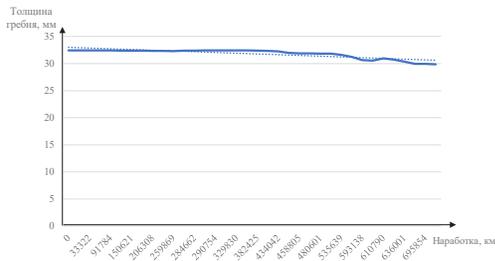


Рис. 2. Зависимость толщины гребня колёс от наработки на вагоне № 0291 [разработано авторами].

В табл. 1, 2 указаны числовые значения диаметра и толщины гребня колёс вагонов моделей 81–740/741, замеры которых производились как при подкатке колёсной пары под вагон, так и при проведении периодических технических обслуживаний и ремонтов вагонов.

С целью определения зависимости между величиной пробега и величинами диаметра

и толщины гребня колёс по указанным значениям построим эксплуатационные характеристики колёсных пар (рис. 1, 2).

Как видно из рис. 1 и 2, числовые значения диаметра и толщины гребня колёс в зависимости от наработки имеют линейные зависимости вида $y = k \cdot x + b$. Это позволяет найти коэффициенты k , b и произвести прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар путём аппроксимации числовых значений аналитическими выражениями, используя метод наименьших квадратов.

Прогнозирование остаточного ресурса колёсной пары по диаметру колеса

В табл. 1 приведён пример данных об износе колёсных центров по диаметру. Для прогнозирования остаточного ресурса необходимо проводить периодические измерения геометрических параметров колёсных пар с начала их эксплуатации. Обозначим количество замеров величиной N и проведём аппроксимацию износа поверхности катания колёс на основании 11 имеющихся величин, полученных в ходе проведения замеров.

Пусть в результате замера $n = \{1, N\}$ диаметра или толщины гребня колёсной пары при различных пробегах l_n диагностический параметр принимал значения d_n . Тогда линейная функция тренда будет рассчитана методом наименьших квадратов по формулам (1) и (2):

**Прогнозирование состояния
к/п для состава № 0291–0293
[составлено авторами]**

№ вагона	Пробег от начала эксплуатации до минимального диаметра 810 мм, млн км
0291	17
0883	19,45
0888	4,8
0293	12,25
Среднее значение	13,375

$$k = [N \cdot \sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n) - \sum_{n=1}^N l_n \cdot \sum_{n=1}^N d_n] / [N \left(\sum_{n=1}^N l_n^2 \right) - (\sum_{n=1}^N l_n)^2], \quad (1)$$

$$b = \left[\sum_{n=1}^N (d_n) - k \sum_{n=1}^N l_n \right] / N. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), произведём расчёт коэффициентов k и b для уравнения вида $y = k \cdot x + b$, тогда уравнение для прогнозирования величины диаметра колёсных пар вагона № 0293 принимает вид, указанный в формуле (3):

$$d = -0,000004147 \cdot l + 860,92. \quad (3)$$

Примеры результатов прогнозирования ресурса колёсных пар по их диаметру для вагона № 0293 сведены в табл. 3.

Таким образом, просуммировав указанные в таблице 3 значения произведений пробега и диаметра колеса ($l_n \cdot g_n$), квадрата пробега l_n^2 , подставляя их в выражение (1) ($\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$ и $\sum_{n=1}^N l_n^2$), появляется возможность найти коэффициент k выражения $y = k \cdot x + b$.

Прогнозирование ресурса колёсных пар по величине диаметра для вагона № 0293 показывает, что смену колёсных пар для указанного вагона необходимо производить при достижении пробега 12,25 млн км.

Произведя аналогичные расчёты для остальных вагонов состава № 0291–0293, получены значения пробега, указанные в табл. 4.

Таким образом, расчёт среднего значения пробега колёсных пар по лимитированному значению диаметра [5] колеса в 810 мм состава № 0291–0293 составил 13,375 млн км, что при ежесуточном пробеге вагона метрополитена в 700 км составляет 52,3 лет службы колёсных пар без учёта простоев на ТОиР. Полученная величина срока службы указывает на то, что к такому параметру, как диаметр колеса, предъявляются повышенные требования согласно руководству по эксплуатации и ремонту колёсных пар метрополитена. Это связано с необходимостью поддержания близких друг к другу величин диаметров колёс одной колёсной пары, колёс у колёсных пар на одной тележке и колёс колёсных пар одного вагона.

Однако помимо такой контролируемой величины, как диаметр колеса, существуют десятки других величин (толщина гребня, ширины обода, толщина обода и др.), которые имеют лимитированное значение. Это указывает на то, что определить реальный срок службы отдельных элементов колёсных пар, рассматривая только один из контролируемых параметров (например, диаметр колеса) невозможно. Поэтому появляется необходимость в применении метода наименьших квадратов к другим контролируемым параметрам колёсных пар с целью поиска уязвимых мест и увеличения срока службы отдельных элементов колёсных пар, который в настоящее время составляет 31 год.

Прогнозирование остаточного ресурса колёсной пары по толщине гребня

В табл. 2 приведён пример данных об износе колёсных центров по толщине гребня, где количество проведённых замеров геометрических параметров колёсных пар (N) равно 7. Используя формулы (1) и (2), произведём расчёт коэффициентов k и b для уравнения вида $y = k \cdot x + b$, тогда уравнение для прогнозирования толщины гребня колёс вагона № 0291 принимает вид, указанный в формуле (4):

$$g = -0,000003449 \cdot l + 32,42. \quad (4)$$

Примеры результатов прогнозирования ресурса колёсных пар по их диаметру для вагона № 0291 сведены в табл. 5.

Таким образом, просуммировав указанные в табл. 5 значения произведений пробега и толщины гребня ($l_n \cdot g_n$), квадрата пробега l_n^2 , подставляя их в выражение (1) ($\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$ и $\sum_{n=1}^N l_n^2$), появляется возможность найти коэффициент k выражения $y = k \cdot x + b$.





Таблица 5

Примеры аппроксимации толщины гребня колёсной пары для вагона № 0291
[составлено авторами]

№ п/п	Пробег до обточки l_n	Математическое ожидание толщин гребня колёс вагона	Произведение пробега и толщины гребня $l_n \cdot g_n$	Квадрат пробега l_n^2
1	0	32,42	0	0
2	120 000	32,38	3885600	14400000000
3	240 000	32,32	7756800	57600000000
4	360 000	32,32	11635200	129600000000
5	480 000	31,85	15288000	230400000000
6	600 000	30,66	18396000	360000000000
7	720 000	29,86	21499200	518400000000
Σ	2 520 000	221,81	78 460 800	1310400000000
Тренд	$k = -0,000003449$	$b = 32,42$		
1	840 000	29,52		
2	960 000	29,11		
3	1 080 000	28,69		
4	1 200 000	28,28		
5	1 320 000	27,87		
6	1 440 000	27,45		
7	1 560 000	27,04		
8	1 680 000	26,63		
9	1 800 000	26,21		
10	1 920 000	25,80		
11	2 040 000	25,38		
12	2 160 000	24,97		

Прогнозирование ресурса колёсных пар по толщине гребня колеса для вагона № 0291 показывает, что смену колёсных пар для указанного вагона необходимо производить при достижении пробега в 2,04 млн км, так как при указанном пробеге достигается наиболее приближенная к минимальной (25 мм) толщина гребня колеса. В большинстве случаев причиной усиленного износа гребневой части колеса является проскальзывание колёсных пар в результате их всползания и (или) соскальзывания относительно рельса [6].

Произведя аналогичные расчёты для остальных вагонов состава № 0291–0293, получены значения пробега, указанные в табл. 6.

Стоит отметить, что для вагонов № 0883 и № 0888 расчётный пробег от начала эксплуатации до минимального значения толщины гребня в 25 мм составил 1,2 млн км, при этом величина толщины гребня для обоих вагонов составила 25,1 мм, что указывает на точность применяемого метода.

Для головных вагонов № 0291 и № 0293 значения пробега составили 2,04 млн км и 1,8 млн км соответственно, что больше, чем для промежуточных вагонов. Это объясняется тем, что к головным вагонам с установленным срывным клапаном предъявляются повышенные требования для обеспечения безопасности движения.

Интенсивному износу гребня способствует большая разница диаметров колёс по кругу катания. Измерение диаметров колёс, насаженных на одну ось, необходимо для обеспечения правильного расположения колёсной пары в колее, поскольку при разных диаметрах колёс растёт их проскальзывание и возникают перекосы колёсной пары при движении [7].

Таким образом, расчёт среднего значения пробега колёсных пар по лимитированному значению толщины гребня [8] в 25 мм состава № 0291–0293 составил 1,56 млн км, что при ежесуточном пробеге вагона метрополитена в 700 км составляет 6,1 лет службы колёсных

Таблица 6

**Прогнозирование
состояния к/п для состава № 0291–0293
[составлено авторами]**

№ вагона	Пробег от начала эксплуатации до минимальной величины толщины гребня 25 мм колёс вагона, млн км
0291	2,04
0883	1,2
0888	1,2
0293	1,8
Среднее значение	1,56

пар без учёта простоев на ТОиР. Это, в свою очередь, требует оптимизацию в части повышения надёжности [9] колёсных пар, так как указанный узел имеет наибольшее влияние на безопасность движения поездов.

Результаты вычислений величин пробега

Данные о величинах пробегов для колёс вагонов модели «Русич» с профилем ДМеТИ и минимальным значением диаметра колеса 810 мм сведены в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что срок службы колёсных пар при рассчитанных значениях пробега до минимального диаметра колёс с учётом простоев на ТОиР составляет 50,8 лет, что на 63,8 % больше, чем назначенный срок службы на отдельные элементы колёсных пар в 31 год. Это связано со своевременной заменой колёсных пар с целью поддержания одинаковой величины диаметра для всех колёсных центров на одном вагоне и, следовательно, уменьшением динамических нагрузок на колёса одного вагона.

При этом причиной замены колёсной пары может также являться несоответствие её контролируемых параметров допустимым значениям. В указанном случае демонтируемая колёсная пара отправляется в плановый ремонт, обточку или на освидетельствование с целью приведения её контролируемых параметров к допустимым значениям и постановки на вагон для дальнейшей эксплуатации.

«Колёсные пары относятся к ходовым частям и являются одним из наиболее ответственных элементов вагона. Поэтому к ним предъявляют особые, повышенные требования Госстандарта, Правил технической эксплуатации железных дорог, Инструкции по освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колёсных пар, а также других нормативных документов при проектировании, изготовлении и содержании» [10].

Сведём данные о величинах пробегов для колёс вагонов модели «Русич» с профилем ДМеТИ и минимальным значением толщины гребня колеса 25 мм в табл. 8.

Из табл. 8 видно, что срок службы при рассчитанных значениях пробега до минимальной толщины гребня колёс с учётом простоев на ТОиР составляет 5,9 лет, что в 5,2 раза меньше (19,1 % от назначенного пробега), чем назначенный срок службы на отдельные элементы колёсных пар в 31 год. Это связано с тем, что метод наименьших квадратов необходимо применять начиная с величины толщины гребня в 30 мм. При толщине гребня от 33 мм до 30 мм идёт интенсивный износ, что было доказано, использованием методов расчёта показателей долговечности в статье [11].

Выводы

Анализ результатов исследования показал, что расчётная величина пробега при использовании метода наименьших квадратов и аппроксимации значений составляет:

- диаметров колеса – 13,375 млн км;
- толщины гребня колеса – 1,56 млн км.

Использование на подвижном составе метрополитена колёсных пар с текущим профилем колеса нецелесообразно, так как интенсивный износ толщины гребня колеса является лимитирующим фактором в части уменьшения пробега между внеплановыми обслуживаниями (проведение обточки колёсных пар) [12].

Таблица 7

Результаты вычислений [составлено авторами]

Пробег вагона в сутки, км	Расчётная величина пробега, дней	Расчётная величина пробега, лет	Расчётная величина пробега с учётом простоев, лет	Назначенный срок службы для элементов к/п профиля ДМеТИ и диаметром 862 мм, лет	Процент от назначенного пробега состава № 0291–0293, %
700	19107	52,3	50,8	31,0	163,8





Результаты вычислений [составлено авторами]

Пробег вагона в сутки, км	Расчётная величина пробега, дней	Расчётная величина пробега, лет	Расчётная величина пробега с учётом простоев на ТОиР, лет	Назначенный срок службы для элементов к/п профиля ДМеТИ и толщиной гребня 33 мм, лет	Процент от назначенного пробега для состава № 0291–0293, %
700	2229	6,1	5,9	31,0	19,1

В конструктивном отношении существуют следующие способы повышения надёжности колёсных пар:

- повышение механических свойств за счёт применения сталей новых марок;
- расчёт оптимальных размеров колёсного центра;
- совершенствование технологии их изготовления [13].

В связи с большим количеством кривых участков пути на линиях Московского метрополитена и, как следствие, повышенным износом гребня колеса с величины 33 до 30 мм из-за воздействия боковых сил [14] целесообразно использование профиля обода колеса ДМеТИ ВР с гребнем толщиной 30 мм для МВПС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горский А. В., Воробьёв А. А. Надёжность электроподвижного состава. – М.: Маршрут, 2005. – 303 с. ISBN 5-89035-170-2.
2. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение. – 1984. – 526 с. [Электронный ресурс]: <https://lib-bkm.ru/load/73-1-0-2094>. Доступ 18.05.2022.
3. Сахаров Р. А. Техническое диагностирование профиля поверхности катания железнодорожных колёс в процессе эксплуатации / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 18 с. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010254006/. Доступ 18.05.2022.
4. Просветов Г. И. Теория вероятностей и математическая статистика: задачи и решения. – М.: Альфа-Пресс, 2009. – 268 с. ISBN 978-5-94280-418-3.
5. Воробьёв А. А., Шутов Д. С., Николашин М. В. Расчёт и анализ показателей долговечности колёсных пар электропоездов Московского метрополитена // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (52). – С. 26–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395899>. Доступ 18.05.2022.
6. Демьянов В. В., Имарова О. Б. Тенденции развития технологий GNSS и направлений их применения на

транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 58. – № 2. – С. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90.

7. Железняк В. Н., Мартыненко Л. В., Ступина А. А. Оценка параметров форм износа гребней на инновационных вагонах при эксплуатации на Восточном полигоне // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 2 (8). [Электронный ресурс]: <http://mnv.irknps.ru/toma/28-20>. Доступ 18.05.2022.

8. Воробьёв А. А., Горский А. В., Козырев А. А. Информационные ресурсы для методики оценки показателей надёжности тягового подвижного состава // Научно-техническая информация. Серия 2: информационные процессы и системы. – 2019. – № 3. – С. 32–36. [Электронный ресурс]: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J17549180> (полный текст номера). Доступ 18.05.2022.

9. Смит Д. Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск / Пер. с англ. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 432 с. ISBN 978-5-94833-047-1.

10. Бурченков В. В. Принятие решений по результатам автоматического диагностирования деталей и узлов подвижного состава // Мир транспорта. – 2019. – № 4 (17). – С. 232–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-232-243>.

11. Шутов Д. С., Воробьёв А. А. Анализ надёжности колёсных пар электропоездов в серии 81-740/741 «Русич» // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 1. – С. 14–20. [Электронный ресурс]: <https://panor.ru/articles/analiz-nadezhnosti-kolesnykh-par-eklektropoezdov-v-serii-81-740741-rusich/55103.html> [ограниченный доступ].

12. Хевиленд Р. Инженерная надёжность и расчёт на долговечность / Пер. с англ. Б. А. Чумаченко. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 232 с.

13. Эммус А. А. Выбор экономически обоснованной стратегии замены подвижного состава в автотранспортном предприятии // Дис... канд. экон. наук. – СПб.: Инженерно-экономическая академия, 1996. – 106 с. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000014661/.

14. Лисцын А. И., Сидорова Е. А. Влияние неровностей пути в плане на интенсивность износа рельсов // Инновационный транспорт: научно-публицистическое издание. – Екатеринбург: УрГУПС, 2022. – № 1 (43). – С. 31–37. [Электронный ресурс]: [https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans_01\(43\)_2022_web.pdf](https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans_01(43)_2022_web.pdf). Доступ 18.05.2022. ●

Информация об авторах:

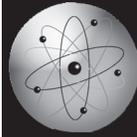
Шутов Денис Сергеевич – аспирант Российского университета транспорта; начальник производственно-технического отдела» электродепо «Замоскворецкое» ГУП «Московский метрополитен, Москва, Россия, shutov-ds@mosmetro.ru.

Лакин Игорь Игоревич – кандидат технических наук, докторант Российского университета транспорта; руководитель направления дирекции по контролю качества эксплуатации подвижного состава АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия, i.lakin@tmholding.ru.

Статья поступила в редакцию 01.05.2022, одобрена после рецензирования 30.06.2022, принята к публикации 11.07.2022.

- Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 13–20

Шутов Д. С., Лакин И. И. Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741



Повышение тяговых характеристик тепловоза с гибридной энергетической установкой



Елена ЛОГИНОВА



Григорий КУЗНЕЦОВ

*Елена Юрьевна Логинова ¹,
Григорий Юрьевич Кузнецов ²*

*^{1, 2} Российский университет транспорта,
Москва, Россия.*

✉ ¹ ejy-loginova@mail.ru, ² kuznetsov_gy@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Обоснована целесообразность применения на тепловозе гибридной энергетической системы с использованием тяговых аккумуляторов. Актуальность решаемой задачи заключается в возможности увеличения весовой нормы поезда без снижения ресурса основного энергетического оборудования тепловоза, что имеет большое значение для повышения эффективности работы железных дорог.

С целью прогнозирования эффективности внедрения на железных дорогах автономных локомотивов с комбинированным источником энергии методом математического моделирования определены тяговые свойства тепловоза, оборудованного батареями тяговых аккумуляторов. Основой метода является динамическая модель движения поезда, в которой локомотив представлен электромеханической системой с электроприводом постоянного тока, где в качестве первичного источника энергии используется дизель-

генераторная установка и литий-ионная аккумуляторная батарея. Показано, что применение на тепловозе гибридного источника энергии с накопителем ёмкостью 1300 ампер-час позволяет на 18 % повысить весовую норму поезда при движении по типовому профилю. Особое внимание уделяется требованиям к эксплуатации тяговых электрических машин для исключения их преждевременного отказа. Установлено, что при движении локомотива с гибридной энергетической установкой с составом расчётного веса и при нормальных условиях увеличение тока нагрузки тяговых электродвигателей не приводит к перегреву их обмоток на расчётном подъёме.

Приведённая модель является универсальной и позволяет рассчитать эффективность работы тепловоза с гибридной энергетической установкой при любых условиях движения.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, автономный локомотив, гибридная энергетическая установка, литий-ионная аккумуляторная батарея, динамическая модель движения поезда, тяговые электрические машины.

Для цитирования: Логинова Е. Ю., Кузнецов Г. Ю. Повышение тяговых характеристик тепловоза с гибридной энергетической установкой // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-3>.

*Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.*



ВВЕДЕНИЕ

Исходя из требований повышения мощности автономных локомотивов и снижения расходов на их эксплуатацию (топливо, масло и др.) в настоящее время решается вопрос о разработке тепловозов, способных осуществлять движение с поездами повышенной весовой нормой. Увеличение весовой нормы поезда возможно реализовать за счёт использования гибридных тепловозов, которые используют в качестве дополнительного источника энергии тяговые батареи (накопители) с целью аккумуляции свободной энергии для последующего применения её на тяжёлых режимах движения. Накопители энергии находят широкое применение при использовании в гибридных источниках энергии [1–4].

Накопители на подвижном составе для реализации дополнительной энергии уже применяются за рубежом [5–7]. Для снижения эксплуатационных расходов тепловоза необходимо выбирать накопитель энергии с высокими удельными показателями по ёмкости, плотности запасаемой энергии и сроку службы [8–9]. Одновременно накопители энергии для условий тяги должны иметь низкие весогабаритные показатели и быть рассчитанными на большие токи. Кроме использования накопителей на режимах тяги некоторые опубликованные работы посвящены их применению и для повышения эффективности рекуперативного торможения локомотивов [1; 3; 4].

Количество энергии, которое может быть запасено в накопитель, непосредственно влияет на его стоимость [10].

Применение накопителей энергии на железнодорожном транспорте является комплексной задачей, при решении которой необходимо учитывать работу оборудования локомотива в целом [11–15]. Кроме тяговой батареи энергетическая цепь накопителя содержит дорогостоящие преобразователи энергии на базе силовых электронных ключей со сложным алгоритмом управления. В результате цена энергетического оборудования гибридного тепловоза значительно возрастает, и его создание требует обоснования экономической эффективности. Поэтому расчёт повышения тяговых свойств гибридного тепловоза по сравнению с дизельным является важным этапом разработки и внедрения на автономных локомотивах гибридных источников энергии.

Одна из основных проблем создания гибридных тепловозов – согласованная работа двух силовых агрегатов: дизеля и тягового накопителя энергии (НЭТ). Её решение требует разработки динамической модели энергетической системы тепловоза с гибридным источником энергии и выполнения численных экспериментов по определению его тяговых свойств, что и является *целью* данного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Энергетическая цепь гибридного тепловоза

Энергетическая цепь гибридного тепловоза предусматривает работу двух источников энергии на тяговые электродвигатели (рис. 1). Применительно к тепловозу с энергетической системой переменного-постоянного тока основной источник энергии состоит из дизеля Д, тягового синхронного генератора (ТСГ) с комбинированной системой управления, выпрямительной установки (ВУ) и тяговых электродвигателей (ТЭД) 1–6. Для возможности перевода электродвигателей в тормозной режим энергетическая система оборудована тормозным переключателем (ТП).

Дополнительный источник энергии включает в себя тяговый накопитель энергии и устройства регулирования заряда и разряда (УРЗР) с системой управления (СУ). Процесс заряда НЭТ осуществляется на тормозных режимах работы тепловоза включением НЭТ на напряжение ТЭД с помощью контактора К2.

На гибридном тепловозе в режиме тяги питание обмоток ТЭД может осуществляться как от ТСГ совместно с накопителем НЭТ, так и только от ТСГ. Ток разряда НЭТ регулируется устройством управления УРЗР, представляющим собой модуль на IGBT-транзисторах и СУ. Устройство УРЗР подключает НЭТ к тяговому приводу локомотива контактором К3 (при замкнутом контакторе К1). В условиях низкого сопротивления движению контактор К3 отключает НЭТ от тягового электропривода, и питание последнего осуществляется от ТСГ через ВУ.

При необходимости НЭТ можно отключить от силовой цепи размыканием контакторов К1, К2 и К3.

Если необходимо использовать электрическую энергию только тяговых накопителей, например, для работы на станционных путях,

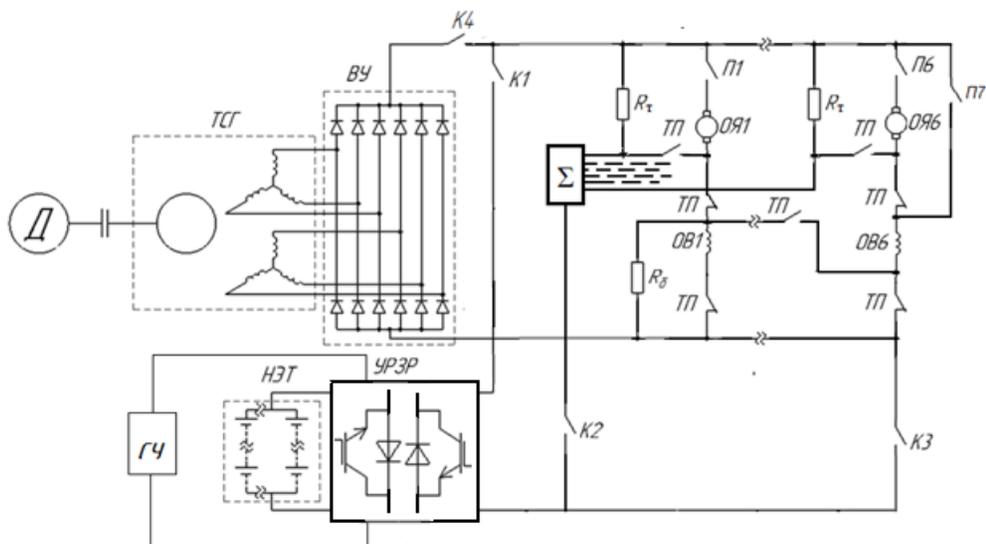


Рис. 1. Тяговая электрическая схема гибридного тепловоза с передачей переменного-постоянного тока: П1, П6 — поездные контакторы первого и шестого тяговых электродвигателей; П7 — тормозной контактор; ОВ1, ОВ6 — обмотки возбуждения первого и шестого тяговых электродвигателей; ОЯ1, ОЯ6 — обмотки якоря первого и шестого тяговых электродвигателей [выполнено авторами].

достаточно разомкнуть контактор К4 и замкнуть контакторы К1 и К3. При этом, как и в режиме торможения, дизель должен работать под нагрузкой, чтобы напряжение ТСГ было достаточным для работы мотор-вентиляторов охлаждения ТЭД.

При работе ТЭД от гибридного источника энергии возникает опасность перегрева его обмоток, поскольку увеличение тягового момента реализуется за счёт увеличения тока. Это требует оборудования ТЭД системой контроля температур обмоток. В настоящее время задача контроля текущей температуры обмоток электрических машин решена и не возникает трудностей в управлении напряжением ТСГ и блока УРЗР для ограничения тока тяговых двигателей.

Для численного решения задачи определения тяговых свойств тепловоза в условиях эксплуатации была разработана его динамическая модель. Энергетическая цепь в модели представлена гибридным источником энергии на базе тепловоза 2ТЭ116 (табл. 1). НЭТ в модели представлен блоками тяговых аккумуляторов LT-LFP70M (табл. 2).

Тепловоз 2ТЭ116 мощностью 2200 кВт имеет электрическую передачу переменного-постоянного тока с тяговыми электродвигателями ЭД-118 и является одним из наиболее распространённых грузовых тепловозов в России и странах постсоветского пространства.

Аккумуляторные батареи на транспорте применяются для пуска газотурбинных и поршневых двигателей, в промышленном транспорте, электромобилях, а также как аварийные, резервные или вспомогательные источники питания [16–23]. Сами по себе литий-ионные аккумуляторные батареи относятся к современным накопителям энергии. Блоки тяговых аккумуляторов LT-LFP70M для гибридного источника энергии тепловоза были выбраны исходя из того, что они эффективно используются для питания электродвигателей машин и бортовых систем рельсового транспорта. Кроме того, данный тип аккумуляторов уже применяется на экспериментальном гибридном тепловозе ТЭМ5Х.

Характеристики сопротивлений при движении поезда принимались на основании [25].

Моделирование движения поезда осуществлялось по обобщённому профилю III класса в соответствии с классификацией ВНИИЖТ (Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта), для которого расчётный подъём составляет $i_p = 9\%$ [25]. При этом выполнялся расчёт текущей температуры обмоток якорей ТЭД в соответствии с методикой, приведённой в [24].

На первом этапе расчётов была определена весовая норма состава поезда при работе тепловоза со штатной энергетической сис-





Таблица 1

Основные параметры
тепловоза 2ТЭ116 [24]

Масса локомотива, т	276
Расчётная скорость v_p , км/ч	24,2
Расчётная сила тяги $F_{кр} \cdot 10^3$, Н	506
Сцепной вес $P_{сц}$, кН	2760
Конструкционная скорость V_k , км/ч	100

Таблица 2

Номинальные параметры ячейки
аккумуляторной батареи LT-LFP70M [8]

Ёмкость ячейки, ампер-час	73
Плотность энергии, Вт•ч/кг	130
Номинальное напряжение, В	3
Допустимый ток длительного разряда, А	146
Максимальный ток кратковременного разряда, А	219
Максимальный ток заряда, А	73
Внутреннее сопротивление, м•Ом	0,5
Ресурс аккумулятора в интервале заряда-разряда, циклы	5000
Внешние габаритные размеры, В х Ш х Т, мм	222 х 135 х 30
Масса, кг	1,8
Диапазон рабочих температур при разряде, С°	-30–+50

темой (без накопителя энергии), которая была принята как базовая величина.

Расчётный вес грузового состава Q_p определялся исходя из того, что мощность локомотива используется полностью при равномерном движении с расчётной скоростью v_p по расчётному подъёму i_p . Расчётный вес состава грузового поезда Q_p определялся по формуле, кН:

$$Q_p = \frac{F_{кр} - P_{сц} \cdot (w_0'(v_p) + i_p)}{w_0''(v_p) + i_p}, \quad (1)$$

где $w_0'(v_p)$ – основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги при расчётной скорости, Н/кН;

$w_0''(v_p)$ – основное удельное сопротивление движению грузового состава (вагонов) при расчётной скорости, Н/кН;

$F_{кр}$ – расчётная сила тяги локомотива при расчётной скорости, Н;

$P_{сц}$ – сцепной вес локомотива, кН;

i_p – крутизна расчётного подъёма, ‰.

Основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги w_0' рассчитывалось на основании [24], Н/кН:

$$w_0'(v_p) = 1,9 + 0,01 \cdot v + 0,0003 \cdot v^2, \quad (2)$$

основное удельное сопротивление движению четырёхосных вагонов на роликовых подшипниках в соответствии [24], Н/кН:

$$w_0''(v_p) = 0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot v + 0,002 \cdot v^2}{q_0}. \quad (3)$$

В результате получено, что расчётный вес грузового состава Q_p для принятого профиля с расчётным подъёмом 9 ‰ составил 43280 кН или 4413 т.

В программном пакете MathCad было произведено моделирование режима движения локомотива 2ТЭ116 с тяговой аккумуляторной батареей и без неё с составом.

Для численного определения тяговых характеристик тепловоза с гибридным и штатным источником энергии были выполнены сравнительные расчёты режимов движения:

1. Расчёт силы тяги и кинематических характеристик движения с составом базовой весовой нормой 4413 т.

2. Расчёт силы тяги и кинематических характеристик движения тепловоза с гибридным источником энергии с составом, вес которого превышает базовый.

3. Расчёт токов НЭТ для питания ТЭД при движении тепловоза с гибридным источником энергии и составами, вес которых превышает базовый.

4. Расчёт температур обмоток ТЭД при движении тепловоза с гибридным источником энергии и составами, вес которых превышает базовый.

Расчёт силы тяги и кинематических характеристик локомотива

Расчёт силы тяги и кинематических характеристик состава с базовой весовой нормой осуществлялся исходя из условий работы ТСГ на ТЭД.

По значению скорости тепловоза из токовых характеристик тяговых электродвигателей ЭДУ-133 с учётом значений коэффициентов ослабления возбуждения определялся ток нагрузки ТЭД.

Электромагнитный момент тягового двигателя $M_{ТЭД}$, Нм:

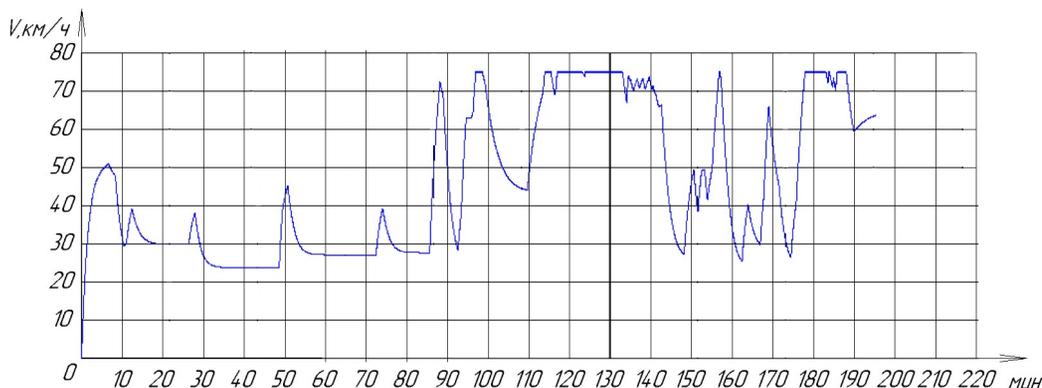


Рис. 2. Изменение скорости теплового поезда со штатной энергетической установкой и составом расчётного веса при движении по профилю пути III класса в зависимости от времени хода $V = f(t)$ [выполнено авторами].

$$M_{\text{ТЭД}} = c_m \cdot I_a \cdot \Phi, \quad (4)$$

где c_m – постоянная тягового двигателя, определяемая по зависимости;

$$c_m = \frac{N \cdot p}{a} \cdot \frac{1}{2\pi} = c_c \cdot \frac{1}{2\pi}. \quad (5)$$

Касательный момент на колесе всего теплового поезда M_k с учётом количества осей, Нм:

$$M_k = n_{\text{ос}} \cdot M_{\text{ТЭД}} \cdot \mu_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}, \quad (6)$$

где $n_{\text{ос}}$ – число осей теплового поезда;

$\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент полезного действия тягового редуктора;

$\mu_{\text{тр}}$ – передаточное отношение тягового редуктора.

Касательная сила тяги теплового поезда F_k , Н:

$$F_k = M_k / R_k, \quad (7)$$

где R_k – радиус колеса теплового поезда.

Ускорение поезда, м/с:

$$a(v, s) = \frac{F_k(v) - w_0'(v) - w_1'(v) - i(s)}{Q_p + P_{\text{сц}}}. \quad (8)$$

Полученная на основе математического расчёта кривая скорости теплового поезда в программе MathCad представлена на рис. 2.

Расчёт силы тяги и кинематических характеристик гибридного локомотива

Расчёт силы тяги теплового поезда с накопителем энергии осуществляется аналогично, за исключением расчёта тока на тяговых двигателях.

Ток на каждом двигателе гибридного теплового поезда в режиме тяги $I_{\text{д(акб)}}$ А:

$$I_{\text{д(акб)}} = I_d + \frac{I_{\text{разряда}}}{n_{\text{ос}}}, \quad (9)$$

где I_d – ток, подаваемый на ТЭД от ТСГ, А;

$I_{\text{разряда}}$ – ток разряда тяговой аккумуляторной батареи, А.

Расчёт кинематических характеристик гибридного теплового поезда в программе MathCad представлен на рис. 3.

Ток накопителя электроэнергии определяется исходя из напряжения на элементах НЭТ.

Расчёт токов тягового накопителя электроэнергии

Напряжение в зоне экспоненциального разряда $U_{\text{бат. эксп}}$ описывается нелинейным уравнением [26], В:

$$U_{\text{бат. эксп}} = \text{Batt}A \cdot e^{-\text{Batt}B \cdot \Delta q}, \quad (10)$$

где Δq – снижение ёмкости батареи на шаге интегрирования.

Для определения параметров батареи НЭТ в соответствии с [26] были использованы эмпирические коэффициенты:

$$\text{Batt}A = 0,084 \cdot U + 0,00004, \quad (11)$$

$$\text{Batt}B = 60,693 \cdot Q_{\text{батареи}}^{-0,999}, \quad (12)$$

где U – текущее значение напряжения ячейки батареи, В;

$Q_{\text{батареи}}$ – текущее значение ёмкости аккумуляторной батареи, ампер-час.

В результате напряжение на батарее U в текущий момент времени при разряде, В:

$$U = \text{Batt}E0 + U_{\text{бат. эксп}} + U_{\text{бат. ном}} + U_{\text{бат. ном. разряд}}, \quad (13)$$

при заряде, В:

$$U = \text{Batt}E0 + U_{\text{бат. эксп}} + U_{\text{бат. ном}} + U_{\text{бат. ном. заряд}}, \quad (14)$$

где

$$\text{Batt}E0 = 1,0843 \cdot U - 0,00002, \quad (15)$$

$U_{\text{бат. ном}}$ – составляющая напряжения в зоне номинального режима работы, В;

$U_{\text{бат. ном. разряд}}$, $U_{\text{бат. ном. заряд}}$ – составляющие напряжения в зоне заряда или разряда, В.

Напряжение в зоне номинального режима работы батареи $U_{\text{бат. ном}}$ описывается уравнением, В:

$$U_{\text{бат. ном}} = \frac{-\text{Batt}K \cdot \text{Batt}Qc}{\text{Batt}Qc - \Delta q}, \quad (16)$$

где $\text{Batt}K$, $\text{Batt}Qc$ – эмпирические коэффициенты:



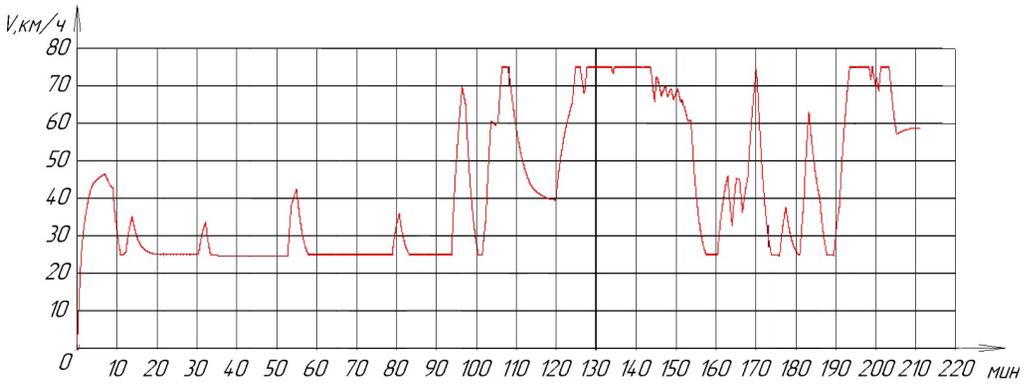


Рис. 3. Изменение скорости тепловоза с гибридной энергетической установкой при движении с составом 5750 т веса по профилю пути III класса в зависимости от времени хода $V = f(t)$ [выполнено авторами].

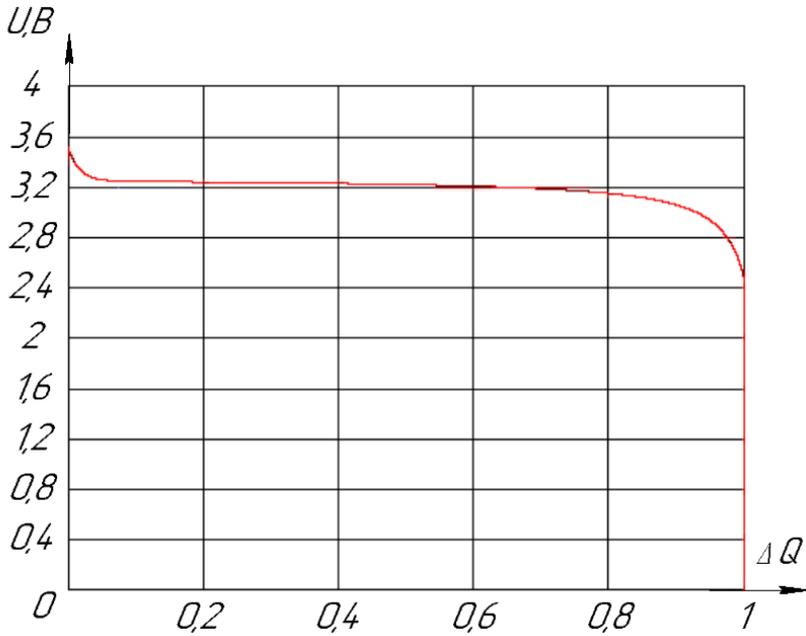


Рис. 4. Разрядная характеристика моделируемой аккумуляторной батареи $U = f(\Delta Q)$ [выполнено авторами].

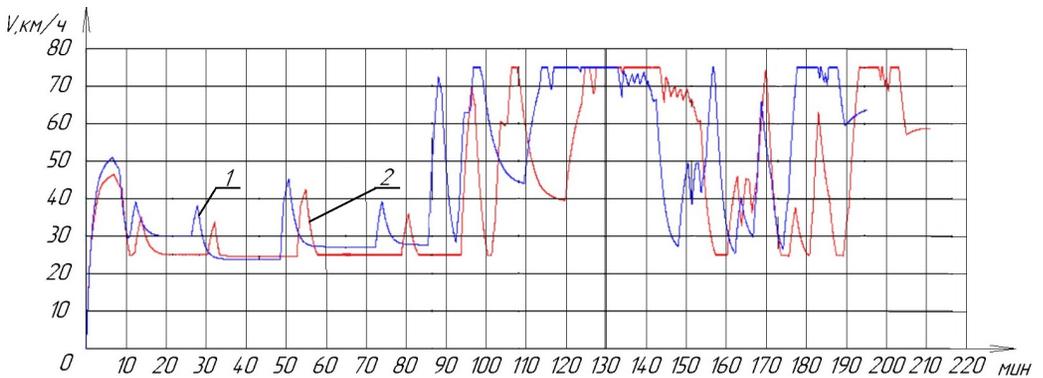


Рис. 5. Изменение скорости поезда при движении по профилю пути III класса в зависимости от времени хода $V = f(t)$: 1 – локомотив 2ТЭ116 со штатной энергетической установкой и с составом расчётной массы 4413 т; 2 – локомотив 2ТЭ116 с гибридной энергетической установкой и с составом массой 5750 т [выполнено авторами].

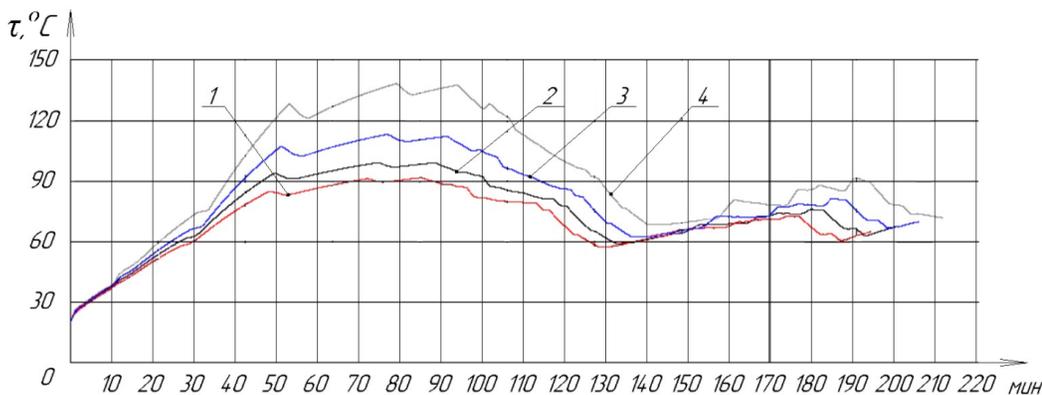


Рис. 6. Кривые превышения температуры обмотки якоря тяговых электродвигателей гибридного тепловоза при движении с составами повышенной веса: 1 – состав массой 4600 т и НЭТ с 1 ячейкой тяговой батареи; 2 – состав массой 4900 т и НЭТ с 6 ячейками тяговой батареи; 3 – состав массой 5250 т и НЭТ с 11 ячейками тяговой батареи; 4 – состав массой 5750 т и НЭТ с 18 ячейками тяговой батареи [выполнено авторами].

$$BattK = 0,006196 \cdot \frac{U}{Q_{\text{батареи}}}, \quad (17)$$

$$BattQc = 1,0341 \cdot Q_{\text{батареи}} - 0,0013. \quad (18)$$

В соответствии с [26] рассчитывались показатели напряжения на номинальном режиме при разряде $U_{\text{бат. ном. разряд}}$, В:

$$U_{\text{бат. ном. разряд}} = \frac{-BattK \cdot I_{\text{разряда}} \cdot BattQc}{BattQc - \Delta q}, \quad (19)$$

и при заряде $U_{\text{бат. ном. заряд}}$, В:

$$U_{\text{бат. ном. заряд}} = \frac{BattK \cdot I_{\text{разряда}} \cdot BattQc}{\Delta q + BattQc \cdot BattKc}, \quad (20)$$

где $BattKc = 0,1$ – постоянная аккумуляторной батареи.

Ток разряда при активной нагрузке $I_{\text{разряда}}$ вычисляется по закону Ома для участка цепи, А:

$$I_{\text{разряда}} = U/R, \quad (21)$$

где R – активное сопротивление нагрузки, к которой подключена батарея, Ом.

Полученная разрядная характеристика батареи представлена на рис. 4.

Расчёт нагрева тяговых электродвигателей

Расчёт нагрева тяговых электродвигателей выполняется в соответствии с [24] при движении в режиме тяги, °С:

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (22)$$

при движении в режиме холостого хода и пневматического торможения, °С:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (23)$$

где Δt – рассматриваемый интервал времени, мин;

τ_0 – начальная температура на момент расчёта;

τ_{∞}, τ_0 – тепловые постоянные для тягового электродвигателя.

Тепловые постоянные τ_{∞}, τ_0 для ТЭД в функции от тока якоря двигателя приведены в [24].

Анализ полученных результатов

Сравнение кинематических характеристик движения поездов, ведомых локомотивами со штатной и гибридной энергетическими установками, приведено на рис. 5.

Анализ работы тягового электропривода локомотива с гибридной энергетической установкой позволил рассчитать рациональные параметры тяговой батареи для повышения эксплуатационных характеристик локомотива.

Оборудование локомотива тяговой аккумуляторной батареей накладывает определённые ограничения на работу энергетического оборудования:

1. Ток от накопителя электрической энергии вызывает дополнительный нагрев тяговых электродвигателей.

2. В режимах работы НЭТ не должны допускаться режимы глубокого разряда и повышенного заряда.

3. Весовая норма поезда с гибридным локомотивом будет выше, чем для серийного локомотива; при этом требуется обеспечить заданные кинематические характеристики движения поезда, исходя из условия режимной карты, и исключить перегрев обмоток тяговых электродвигателей.



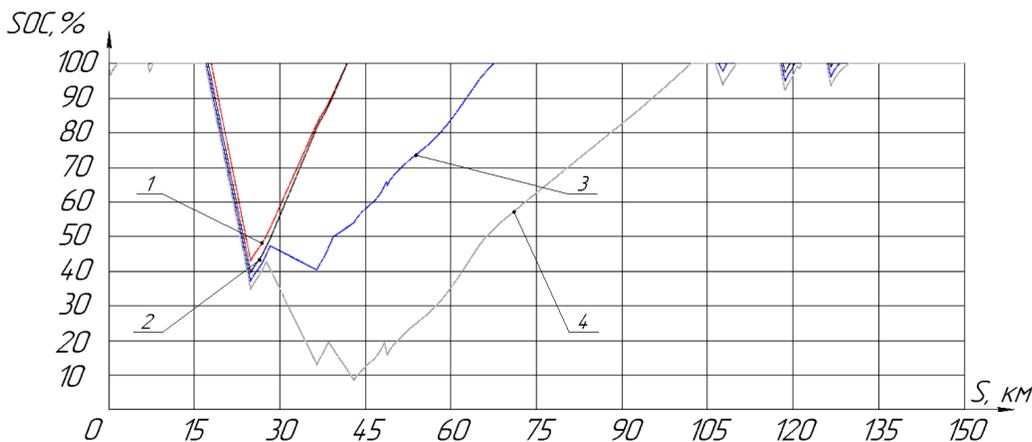


Рис. 7. Кривые разряда тяговой аккумуляторной батареи НЭТ локомотивов с гибридной энергетической установкой: 1 – состав массой 4600 т и НЭТ с 1 ячейкой тяговой батареи; 2 – состав массой 4900 т и НЭТ с 6 ячейками тяговой батареи; 3 – состав массой 5250 т и НЭТ с 11 ячейками тяговой батареи; 4 – состав массой 5750 т и НЭТ с 18 ячейками тяговой батареи [выполнено авторами].

Рациональное количество ячеек накопителя электрической энергии рассчитывается из условий нормальной эксплуатации локомотива.

На рис. 5 показано, что выбор правильного числа ячеек батареи позволяет обеспечить движение локомотива на заданном участке с расчётной скоростью ($V_p = 24,2$ км/ч) даже при весе состава, превышающем расчётный на 30 %.

На рис. 6 представлено изменение температуры обмотки якоря ТЭД при движении локомотива с гибридной энергетической установкой (при различном количестве ячеек тяговой аккумуляторной батареи). Полученные результаты позволяют установить функциональную зависимость между весом поезда и максимальной (или средней) температурой обмотки якоря на данном режиме движения.

Процесс разряда-заряда тяговой батареи НЭТ при движении локомотива имеет выраженный провал остаточной ёмкости (SOC) на расчётном подъёме (рис. 7). Степень разряда НЭТ определяется количеством ячеек и режимом работы энергетического оборудования тепловоза.

ВЫВОДЫ

Таким образом, с использованием разработанной модели определены количественные показатели эффективности использования гибридного тепловоза как тяговой единицы. На примере моделирования режимов работы тепловоза 2ТЭ116 с гибридной энергетической установкой с тяговыми аккумуляторами

типа LT-LFP70M были получены следующие выводы.

1. В результате использования на тепловозе тяговой аккумуляторной батареи масса состава поезда гарантировано может быть увеличена на 1000 т (18 %).

2. За счёт увеличения весовой нормы состава время хода поезда увеличивается на 8 % при сохранении установленного значения расчётной скорости тепловоза.

3. За счёт увеличения весовой нормы состава суммарный расход топлива тепловозом возрастает на 9 %.

4. Удельный расход топлива на единицу перевозочной работы $\text{кг}/10^4 \text{ т} \cdot \text{км}$ бр уменьшается на 10 % из-за значительного повышения массы состава.

5. Превышение температуры обмотки якоря ТЭД изменяется в пределах, установленных ГОСТ-2581 (максимальная температура обмотки якоря тяговых электродвигателей составила $\tau_{max} = 130^\circ\text{C}$).

Исходя из представленных выше результатов, можно сделать общий вывод о том, что использование на локомотиве гибридной энергетической установки позволяет значительно повысить тяговые свойства тепловоза.

Сделанные выводы по своей сути универсальны, то есть могут быть применены для любых локомотивов путём подстановки числовых значений их характеристик.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов А. М., Поляшов Л. И., Иванов С. А. Гибридные энергетические установки для электробусов // Машиностроение. – 2000. – № 10. – С. 18–21.

2. Коссов Е. Е., Азаренко В. А., Бычков Д. А. и др. Разработка концепции развития автономного тягового подвижного состава. – В кн.: ВНИИЖТ – транспорту. Научные проблемы технического развития железнодорожного транспорта: Сб. науч. тр. научно-практической конференции ОАО «ВНИИЖТ» / Под. ред. А. Е. Семечкина. – М.: Интекст, 2008. – С. 89–100.
3. Tokuyama, K., Shimada, M., Terasawa, K., Kaneko, T. Practical application of a hybrid drive system for reducing environmental load. *Hitachi Review*, 2008, Vol. 57, No. 1, pp. 23–27. [Электронный ресурс]: https://www.hitachi.com/rev/pdf/2008/r2008_01_003.pdf. Доступ 17.06.2022.
4. Takahashi, H., Kato, T., Ito, T., Gunji, F. Energy storage for traction power supply systems. *Hitachi Review*, 2008, Vol. 57, No. 1, pp. 28–32. [Электронный ресурс]: https://www.hitachi.com/rev/pdf/2008/r2008_01_004.pdf. Доступ 17.06.2022.
5. Титова Т. С., Евстафьев А. М., Изварин М. Ю., Сычугов А. Н. Перспективы развития тягового подвижного состава. Ч. 1 // *Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике.* – 2018. – № 6 (79). – С. 40–44. [Электронный ресурс]: <http://rostransport.com/transportrf/download.php?src=transportrf/pdf/79/1994-831X-2018-6-40-44.pdf>. Доступ 17.06.2022.
6. Титова Т. С., Евстафьев А. М. Повышение энергетической эффективности локомотивов с накопителями энергии // *Изв. Петерб. ун-та путей сообщения.* – СПб.: ПГУПС, 2017. – № 2. – Т. 14. – С. 200–210. [Электронный ресурс]: http://izvestiapgups.org/assets/pdf/02_2017.pdf (полный текст номера). Доступ 17.06.2022.
7. Евстафьев А. М. Оценка энергоёмкости бортового накопителя энергии для тягового подвижного состава // *Бюл. результатов науч. исследований.* – 2018. – № 2. – С. 7–17. [Электронный ресурс]: <http://bmi.info/download/%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-27.pdf> (полный текст номера). Доступ 17.06.2022.
8. Rand, D. A. J. Battery systems for electric vehicles – a state-of-the-art review. *Journal of Power Sources*, 1979, Vol. 4, Iss. 2, pp. 101–143. DOI: 10.1016/0378-7753(79)85001-6 [ограниченный доступ].
9. Pierson, J. R., Johnson, R. T. The battery Designer's challenge satisfying the ever increasing demands of vehicle electrical systems. *Journal of Power Sources*, 1991, Vol. 33, pp. 309–318. DOI: 10.1016/0378-7753(91)85069-9 [ограниченный доступ].
10. Ярославцев М. В. Определение параметров энергоустановки гибридного автомобиля моделированием процесса потребления энергии // *Электротехника.* – 2014. – № 12. – С. 17–21. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23002446&>. Доступ 17.06.2022.
11. Miller, A. R., Hess, K. S., Barnes, D. L., Erickson, T. L. System design of a large fuel cell hybrid locomotive. *Journal of Power Sources*, 2007, Vol. 173, Iss. 2, pp. 935–942. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.08.045>.
12. Cousineau, R. L. Development of a hybrid switcher locomotive the Railpower Green Goat. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2006, Vol. 9, Iss. 1, pp. 25–29. DOI: 10.1109/MIM.2006.1634954 [ограниченный доступ].
13. Letrouvé, T., Lhomme, W., Pouget, J., Bouscayrol, A. Different hybridization rate of a diesel-electric locomotive. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC*, 2014, Vol. 14. DOI: 10.1109/VPPC.2014.7007048 [ограниченный доступ].
14. Jaafar, A., Akli, C., Sareni, B., Roboam, X., Jeunesse, A. Sizing and energy management of a hybrid locomotive based on flywheel and accumulators. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, Vol. 58, No. 8, pp. 3947–3958. DOI: 10.1109/TVT.2009.2027328 [ограниченный доступ].
15. Варакин И. Н., Менухов В. В., Самитин В. В. Применение электрохимических конденсаторов ЗАО «ЭЛТОН» в составе гибридных энергосиловых установок на карьерном автотранспорте // *Горное оборудование и электромеханика.* – 2008. – № 58. – С. 106–115. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12965927>. Доступ 17.06.2022.
16. Höring, O. *Elektrische Bahnen.* Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2019, 530 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783111557885> [ограниченный доступ].
17. Bleijs, J. A. M., Freris, L. L., Foster, J. E., Infield, D. G., Lipman, N. H., Smith, G. A. A Wind/Diesel System with Variable Speed Flywheel. Published By: Sage Publications, Inc., *Wind Engineering*, 1993, Vol. 17, No. 3, pp. 129–146. [Электронный ресурс]: <https://www.jstor.org/stable/43749507> [ограниченный доступ].
18. Bullock, K. R. Lead/Acid Batteries. *Journal of Power Sources*, 1994, Vol. 51, Iss. 1-2, pp. 1–18. DOI: 10.1016/0378-7753(94)01952-5 [ограниченный доступ].
19. Denton, T. *Electric and Hybrid Vehicles (2nd ed.)*. Routledge, 2020, 350 p. ISBN 9780367273231. DOI: 10.1201/9780429296109 [ограниченный доступ].
20. *Electric Vehicle Application Handbook for Genesis Sealed-Lead Batteries.* Publication IBD-BR-011. Hawker Energy Products Inc. 4th ed., 1998, Vol. 2, 44 p. [Электронный ресурс]: <https://pdfslide.net/documents/electric-vehicle-application-handbook-for-genesis-electric-vehicle-application.html?page=1>. Доступ 17.06.2022.
21. Freund, H., Kaufmann, W. Batteriestützpunkte in Mittel- und Niederspannungsnetzen. In: *etz. Jg. 108, 1987, H. 17, S. 796–799.*
22. Haubrich, H.-J., Krämer, K., Dominik, H., Pesch, H. Batterien in elektrischen Netzen. Erfahrungen und Perspektiven. Contribution to conference proceedings. In: *ETG-Fachtag. Entwickl.trends in d. Energ.tech. München, 1994.*
23. Kiehne, H. A. Batteries for Electric Road Vehicles. In: *Battery Technology Handbook*, 2003, pp. 137–154.
24. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с. [Электронный ресурс]: <https://djvu.online/file/syjaetzWQPjhN>. Доступ 17.06.2022.
25. Некрасов О. А., Лисицын Л. А., Мугинштейн Л. А., Рахманинов В. И. Режимы работы магистральных электровозов. – М.: Транспорт, 1983. – 231 с.
26. Mathlab Simulink Battery. Generic battery model. [Электронный ресурс]: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>. Доступ 17.06.2022. ●

Информация об авторах:

Логинова Елена Юрьевна – доктор технических наук, профессор кафедры электропоездов и локомотивов Российского университета транспорта, Москва, Россия, ey-loginova@mail.ru.

Кузнецов Григорий Юрьевич – аспирант кафедры электропоездов и локомотивов Российского университета транспорта, Москва, Россия kuznetsov_gy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022, актуализирована 17.06.2022, одобрена после рецензирования 20.06.2022, принята к публикации 23.06.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.256
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>

Оценка чувствительности локомотивных приёмников при использовании испытательных шлейфов со скрещиваниями



Владислав КУЗЬМИН



Александр ТАБУНЩИКОВ

Владислав Сергеевич Кузьмин ¹,
Александр Константинович Табунщиков ²

¹ Российский университет транспорта,
Москва, Россия.

✉ ¹ vs.kuzmin@bk.ru.

АННОТАЦИЯ

Одной из основных технико-эксплуатационных характеристик локомотивного приёмника системы автоматической локомотивной сигнализации, входящего в состав всех типов основных локомотивных устройств безопасности, является его чувствительность. Данная характеристика позволяет оценить косвенными методами соотношение сигнал/помеха на входе локомотивного приёмника, а, значит, и оценить помехоустойчивость его работы при номинальных параметрах сигналов автоматической локомотивной сигнализации в рельсовой линии в условиях эксплуатации – силе тока и частоте.

За счёт правильной регулировки чувствительности локомотивного приёмника возможно существенно снизить число сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности. Проверка чувствительности локомотивного приёмника и других параметров устройств безопасности осуществляется на контрольных пунктах, оборудуемых, как правило, в дело при помощи стационарных испытательных шлейфов, имитирующих электромагнитное поле, формируемое сигнальным током, протекающим в рельсовой линии. На результаты измерения чувствительности оказывают влияние различные факторы, в первую очередь положение

приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа, выполненного со скрещиваниями, а также расстояние между соседними скрещиваниями. Влияние данных факторов может приводить к невозможности проверки правильности работы локомотивных устройств безопасности при номинальных параметрах сигналов, а также к неверной оценке чувствительности.

Целью данной работы является оценка влияния указанных факторов на результаты измерения чувствительности локомотивного приёмника. В рамках работы, используя общеизвестные методы анализа и синтеза, была разработана модель, базирующаяся на законе Био–Савара–Лапласа и описывающая индуктивную связь «испытательный шлейф–катушка». Получен ряд характерных зависимостей. Результаты сопоставлены с существующими требованиями к положению катушек относительно испытательного шлейфа, выполненного со скрещиваниями.

Для обеспечения наиболее точных результатов измерений чувствительности локомотивного приёмника предложено располагать приёмные катушки локомотивных устройств безопасности на равном удалении от соседних скрещиваний испытательного шлейфа.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, автоматическая локомотивная сигнализация, устройства безопасности, локомотивный приёмник, шлейф, скрещивание, контрольный пункт.

Для цитирования: Кузьмин В. С., Табунщиков А. К. Оценка чувствительности локомотивных приёмников при использовании испытательных шлейфов со скрещиваниями // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Любая система регулирования или управления движением поездов имеет в своём составе по крайней мере один канал передачи информации от стационарных или, как их иначе называют, «путевых» объектов инфраструктуры к бортовой аппаратуре: канал «путь–локомотив». На сети российских железных дорог широко распространены системы регулирования движения поездов, использующие в своём составе индуктивные каналы связи, где в качестве линий передачи сигналов используют рельсовые цепи.

Следует отметить, что отклонение параметров канала «путь–локомотив» от номинальных значений может привести к сбоям в работе рассматриваемых систем и сопутствующему возникновению нештатных состояний ответственного технологического процесса движения поездов [1]. В связи с этим большое значение приобретают процессы технического обслуживания и ремонта оборудования, направленные на поддержание характеристик канала передачи «путь–локомотив» в области допустимых значений [2]. Особый интерес представляют процессы технического обслуживания и ремонта оборудования автоматической локомотивной сигнализации, размещаемого на железнодорожном подвижном составе. Для оценки его технического состояния, кроме характеристик каждого из блоков, технология определения которых описана в Инструкции № Л229¹, целесообразным является определение уровня помехоустойчивости работы комплекта приёмного оборудования в целом [3]. Непосредственное определение этой характеристики для локомотивных приёмников не осуществляется ввиду того, что:

- во-первых, динамический диапазон и полоса частот помехи во многом зависят от серий эксплуатируемых единиц железнодорожного подвижного состава, режимов их работы, а также иных особенностей каждого из участков железнодорожных линий [4];
- во-вторых, такие проверки занимали бы длительное время (от нескольких до десятков

часов), так как потребовалась бы проверка всех возможных сочетаний помех и полезных сигналов.

По этой причине оценку помехоустойчивости осуществляют косвенными методами. С одной стороны, оценку можно реализовать за счёт особенностей алгоритмов работы декодеров [5]. С другой стороны, оценку можно осуществить за счёт измерений величины ЭДС на входе локомотивного приёмника, наводимой при минимально возможной в условиях эксплуатации величине тока в линии индуктивной связи, приводящей к его срабатыванию – чувствительности локомотивного приёмника [6]. Последний подход получил наиболее широкое распространение и используется в условиях специально оборудуемых контрольных пунктов.

В большинстве случаев контрольные пункты размещаются в депо, где не всегда есть техническая или производственная возможность организации проверки рельсовых цепей. Рельсовые цепи требуют большое количество путевой аппаратуры в расчёте на одну испытываемую единицу подвижного состава, к тому же они значительно снижают перерабатывающие возможности участков производства по обслуживанию и ремонту тягового подвижного состава: одна рельсовая цепь – один локомотив, в то время как в большинстве случаев на контрольном пункте одновременно проходят обслуживание в среднем три–пять локомотивов.

На контрольных пунктах взамен рельсовых цепей применяют испытательные шлейфы – проводники, проложенные определённым образом с тем, чтобы при протекании по ним электрического тока заданных силы и частоты обеспечивалось формирование вокруг них электромагнитного поля, эквивалентного электромагнитному полю рельса.

Применение испытательных шлейфов несёт в себе ряд очевидных трудностей [7–9], связанных в том числе с необходимостью правильного размещения бортовой аппаратуры на период проведения проверок.

Известны работы, связанные с попыткой оценки влияния геометрического положения испытательного шлейфа на величину индукции магнитного поля, формируемого вокруг него [10]. При этом, несмотря на достаточно подробное описание особенностей индуктивной связи рельсовых нитей и стационарных проводов шлейфов с приёмными катушками

¹ Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту локомотивных устройств безопасности № Л229, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 марта 2019 г. № 454/р (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 6 августа 2020 № 1677/р). [Электронный ресурс]: consultantplus://offline/ref=3EFC965A7D98E47C2DE4862AC4B7F4A77F3DBE093B33095DDDE8542B41DB77AB46814B78A3F1C7BEDB0F3A7ACFDB53v2EAL. Доступ 11.04.2022.



оборудования автоматической локомотивной сигнализации в литературе [11–14], отсутствуют работы, направленные на оценку влияния местоположения приёмных катушек испытуемой единицы железнодорожного тягового подвижного состава вдоль испытательного шлейфа или конфигурации испытательного шлейфа (со скрещиваниями или без скрещиваний) на измерение чувствительности локомотивного приёмника. В специализированной справочной литературе, в частности, в Техническом справочнике железнодорожника², присутствуют только расчётные выражения для оценки величины ЭДС, наводимой в приёмной катушке от отдельного проводника с током – рельсовой нити. Данные выражения не могут быть использованы для оценки влияния испытательных шлейфов на измерение чувствительности локомотивного приёмника, так как не учитывают ни наличия скрещиваний у последних, ни положения приёмных катушек относительно скрещиваний.

Следует отметить, что зарубежные исследователи также рассматривают вопросы, связанные с особенностями эксплуатации линий связи в системах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. При этом большинство современных исследований посвящено вопросам применения радиоканала. В частности, в [15] исследователи проанализировали воздействие помех на приёмопередающее оборудование систем регулирования движения поездов на базе радиоканала с использованием численных методов.

Значительно реже рассматриваются вопросы, связанные с индуктивным каналом передачи информации. Часть таких работ связана с рассмотрением вопросов электромагнитной совместимости оборудования с различными источниками помех. Так, в [16] представлены результаты анализа влияния гармоник тягового тока на работу приёмного оборудования рельсовых цепей. В [17] рассмотрены вопросы, связанные с влиянием контактных проводных линий на линии связи систем автоматики.

В [18] с использованием компьютерного моделирования осуществлена оценка элект-

ромагнитной обстановки, характерной для электрифицированных железнодорожных линий. Следует отметить, что для оценки распределения величин токов вдоль участка пути использованы положения теории многопроводной линии, достаточно широко применяемой отечественными специалистами для анализа, в том числе, линий индуктивной связи. Однако описанная в работе методика не может быть использована в настоящем исследовании, так как она не позволяет оценить особенности индуктивной связи «испытательный шлейф–катушка».

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является оценка влияния параметров испытательного шлейфа и положения приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа на измерение чувствительности локомотивного приёмника.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать модель, описывающую процесс передачи сигналов из линии индуктивной связи в форме испытательного шлейфа произвольной конфигурации и геометрических размеров в приёмную локомотивную катушку; при этом модель должна отвечать на вопрос: обеспечивают ли заданные параметры испытательного шлейфа и геометрическое положение приёмных катушек вдоль шлейфа возможность измерения чувствительности локомотивного приёмника и, если обеспечивают, то с какой точностью;
- анализ влияния геометрического положения приёмной катушки вдоль испытательного шлейфа на возможность и точность измерения чувствительности локомотивного приёмника;
- сопоставление существующей нормативной документации и результатов моделирования.

При проведении настоящей работы использованы общепринятые *методы* синтеза и анализа. При синтезе модели использовались положения классической теории электромагнитного поля в части определения величины магнитной индукции и закона Фарадея. Кроме того, использованы общеизвестные положения тригонометрии.

При разработке модели учтены размеры применяемых железнодорожных рельсов, а также действующие нормативные документы в области проектирования и оборудования контрольных пунктов.

² Технический справочник железнодорожника. Том 8. Сигнализация, централизация, блокировка, связь. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1952. – 976 с.

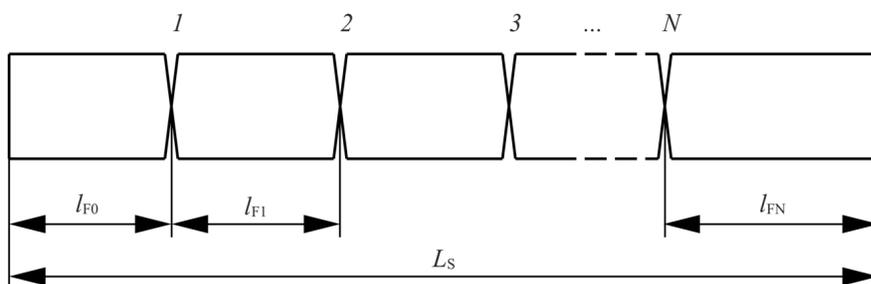


Рис. 1. Графическое представление существенных параметров модели испытательного шлейфа со скрежываниями [выполнено авторами на основе действующей нормативной документации – Инструкции 35002-00-00, 36090-00-00 МУ].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Построение модели

Разрабатываемая модель должна быть направлена на изучение влияния параметров испытательных шлейфов и геометрического положения относительно них приёмных катушек испытуемой единицы тягового железнодорожного подвижного состава. Модель характеризует индуктивную связь между следующими объектами: приёмная катушка и испытательный шлейф.

Параметрами модели являются:

- количество скрежываний испытательного шлейфа N (при равенстве параметра нулю считаем, что испытательный шлейф выполнен в виде одной рамки);
- длина линии индуктивной связи испытательного шлейфа L_s ;
- расстояние между левой границей испытательного шлейфа и первым скрежыванием L_{F0} ;
- расстояние между правой границей испытательного шлейфа и последним скрежыванием L_{FN} ;
- расстояние между соседними скрежываниями испытательного шлейфа L_{Fs} , где s – натуральное число в диапазоне от 1 до $N - 1$;
- номер скрежывания K , за которым располагается приёмная катушка (отсчёт осуществляется от левой границы испытательного шлейфа);
- расстояние l_K от скрежывания K до приёмной катушки;
- высота расположения испытательного шлейфа относительно уровня головки рельса h_m ;
- высота $h_{r,k}$ подвеса приёмной катушки k относительно уровня головки рельса r (расстояние до центра сердечника приёмной катушки k);
- геометрические размеры (высота, ширина, длина сердечника, площадь сечения одно-

го витка S_k), материал сердечника (магнитная проницаемость материала сердечника μ_k) приёмной катушки k ;

- количество витков обмотки приёмной катушки N_k .

Все параметры, характеризующие геометрические размеры, должны быть выражены в метрах.

Для понимания приведём схематическую иллюстрацию, на которой показаны существенные геометрические параметры испытательного шлейфа (рис. 1).

Модель строится, исходя из следующих допущений:

1. Высота подвеса испытательного шлейфа для каждого из ходовых рельсов одной железнодорожной колеи одинакова; высота подвеса приёмных катушек относительно испытательного шлейфа одинакова.

2. Величина ЭДС, наводимой в рассматриваемой приёмной катушке от участка испытательного шлейфа, закреплённого на другом ходовом рельсе, равна величине ЭДС, наведённой от рассматриваемого участка испытательного шлейфа в другой приёмной катушке (следствие из первого положения) и потому за счёт встречного последовательного включения приёмных катушек между собой может не рассматриваться.

Идеальными условиями, обеспечивающими максимальную величину ЭДС, наводимой в приёмной катушке, будем считать ситуацию, когда приёмная катушка закреплена над бесконечно длинным прямым тонким проводником с током. При таких условиях чувствительность локомотивного приёмника может быть определена абсолютно точно. Реальными будем считать условия, при которых ЭДС в приёмной катушке наводится от прямого тонкого проводника с током



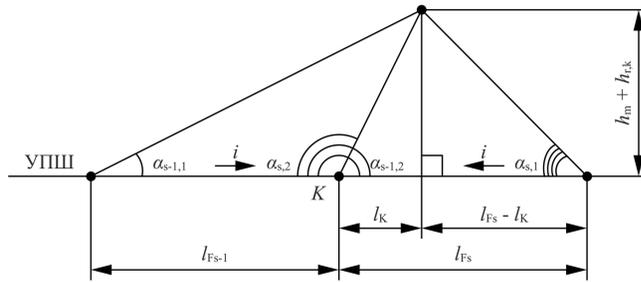


Рис. 2. Определение величин косинусов для модели [выполнено авторами].

конечной длины. Отношение ЭДС, наведённой в реальных условиях E_R , к ЭДС, наводимой в идеальных условиях E_I , будем считать коэффициентом эффективности испытательного шлейфа K_3 (1):

$$K_3 = E_R / E_I. \quad (1)$$

На этом этап концептуального проектирования модели можно считать законченным.

Перейдём к непосредственному построению модели, которое сводится к детерминации величин ЭДС в правой части (1). Вначале запишем основополагающие выражения, связывающие:

- величину индукции $B_{s,k}$ магнитного поля в сердечнике приёмной катушки k , формируемой током I_s в проводе шлейфа s , закреплённом на рельсе r , с высотой подвеса приёмной катушки относительно оси провода шлейфа $A_{r,k} = h_m + h_{r,k}$ (2);

- величину индукции $B_{s,k}$ магнитного поля для приёмной катушки k от провода шлейфа s с геометрическим положением приёмной катушки относительно провода шлейфа s конечной длины (3);

- а также величину ЭДС $E_{s,k}$ в приёмной катушке k от провода шлейфа s с индукцией магнитного поля (4):

$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{2\pi A_{r,k}}, \quad (2)$$

$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})), \quad (3)$$

$$E_{s,k} = - \frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = - \frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt}. \quad (4)$$

Подставляя (2) в (4) и (3) в (4), можно получить окончательные формулы для расчёта ЭДС в приёмной катушке k для проводника бесконечной длины (5) и проводника конечной длины (6):

$$E_{s,k} = - \frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = - \frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt}, \quad (4)$$

$$E_{s,k}^{MAX} = - \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{2\pi A_{r,k}} \cdot \frac{dI}{dt}, \quad (5)$$

$$E_{s,k} = - \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})) \frac{dI}{dt}. \quad (6)$$

Ранее оговаривалось, что испытательный шлейф чаще всего имеет скрещивания. Тогда при рассмотрении шлейф, проложенный вдоль одного рельса, следует разбивать на $N + 1$ участков – отдельных проводников, направление тока при этом в любых двух соседних участках будет противоположным. Для учёта направления тока введём в формулу (6) коэффициент k_s , который будем считать равным 1, если ток протекает слева направо (рис. 1) и -1, если ток протекает в обратном направлении. Следует отметить, что величина ЭДС, наводимая в приёмной катушке, в соответствии с принципом суперпозиции равна сумме ЭДС от каждого из проводников, следовательно ЭДС E^R , получаемая в реальных условиях, может быть рассчитана по формуле (7):

$$E_{s,k}^R = \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} \frac{dI}{dt} \cdot \sum_{s=0}^N -k_s (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})). \quad (7)$$

Подставив (5) и (7) в (1), сокращая попутно параметры приёмной катушки k (пользуясь тем, что рассматривается одна и та же катушка, и влияние её параметров на возможность измерения чувствительности приёмника в данной работе не рассматриваются), получим формулу (8):

$$K_3 = \frac{1}{2} \sum_{s=0}^N -k_s (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})). \quad (8)$$

Дальнейшая работа сводится к определению величин косинусов. Рассмотрим два случая: связь катушки с участком испытательного шлейфа, над которым она расположена,

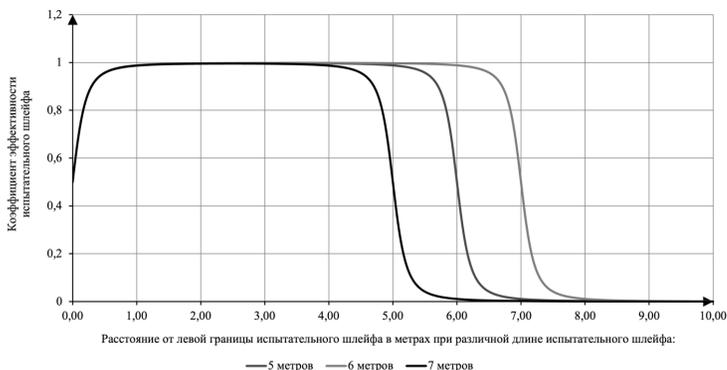


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от места расположения приёмной катушки над ним [выполнено авторами].

$$\cos(\alpha_{s,1}) = \begin{cases} \frac{I_k + \sum_{i=s}^{K-1} I_{Fi}}{\sqrt{(I_k + \sum_{i=s}^{K-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s < K; \\ \frac{I_k}{\sqrt{(I_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s = K; \\ -\frac{-I_k + \sum_{i=K}^{s-1} I_{Fi}}{\sqrt{(-I_k + \sum_{i=K}^{s-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s > K; \end{cases} \quad (9)$$

$$\cos(\alpha_{s,2}) = \begin{cases} \frac{I_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} I_{Fi}}{\sqrt{(I_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s < (K-1); \\ \frac{I_k}{\sqrt{(I_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s = (K-1); \\ -\frac{-I_k + \sum_{i=K}^s I_{Fi}}{\sqrt{(-I_k + \sum_{i=K}^s I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s > (K-1). \end{cases} \quad (10)$$

и связь катушки с участком шлейфа, над которым она не расположена (рис. 2). Линия УПШ на рисунке соответствует уровню прокладки испытательного шлейфа.

На основании вышеизложенного формулы для косинусов угла можно записать в общем виде как формулы (9) и (10), которые приведены отдельно выше.

Объединяя формулы (8)–(10) в систему, можно считать построение модели завершённым.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Первоначально осуществим моделирование коэффициента эффективности для испытательного шлейфа произвольной длины без скрещиваний. Это необходимо для оценки распределения коэффициента эффективности вдоль части испытательного шлейфа между

двумя соседними скрещиваниями без учёта влияния смежных участков испытательного шлейфа. Для этого дополним систему (8)–(10) следующим уравнением (11):

$$N = k = 0. \quad (11)$$

Кроме того, зададимся различными длинами линии индуктивной связи испытательного шлейфа. Пусть L_s принимает значения 4, 5 и 6 м. Построим график зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа без скрещивания (рис. 3). Высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса принята равной 100 мм.

Из графиков следует, что снижение эффективности испытательного шлейфа происходит только в области вблизи его границы. На удалении от границы испытательного шлейфа на 1,1 м и более величина магнитной индукции, формируемой испытательным шлейфом,



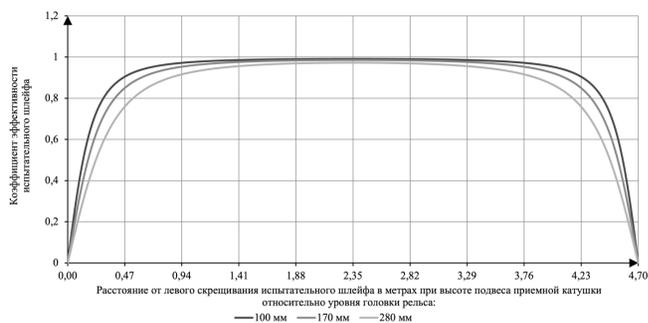


Рис. 4. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от положения приёмной катушки вдоль участка испытательного шлейфа между соседними скреплениями [выполнено авторами].

$$K_{\text{э}} = \frac{l_k}{\sqrt{(l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{-l_k + l_{F1}}{\sqrt{(-l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} - \frac{1}{2} \left(\frac{l_k + l_{F1}}{\sqrt{(l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{2l_{F1} - l_k}{\sqrt{(2l_{F1} - l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} \right). \quad (12)$$

составляет не менее 0,99 от аналогичной величины в идеальных условиях при данной высоте подвеса приёмной катушки. Заметим, что коэффициент эффективности испытательного шлейфа при размещении приёмной катушки вне его на расстоянии от границы не менее 1,5 м практически равен нулю. Это позволяет в значительной степени упростить модель и связанные с ней рассуждения. Достаточным в любом из случаев будет рассмотреть только три участка испытательного шлейфа: над которым непосредственно находится приёмная катушка и два смежных с ним – при условии, что длина испытательного шлейфа $L_s \gg 1,5$ м (на практике минимально допустимое расстояние между двумя соседними скреплениями составляет 4,7 м, согласно таблицы Г.1 Инструкции № 35002-00-00³). Тогда, полагая, что все участки испытательного шлейфа имеют одинаковую длину l_{F1} , систему (8)–(10) можно записать одним уравнением в более простом виде (12).

Далее в отношении шлейфов со скреплениями будем оперировать только формулой (12). Это значительно сократит количество расчётов при достаточной для исследования степени точности.

Рассмотрим случай, когда длины всех рамок одинаковы и равны типовой минимально возможной величине $L_s = 4,7$ м, согласно требова-

ниям таблицы Г.1 Инструкции № 35002-00-003 (рис. 4). Как мы ранее уже убедились, с увеличением длины линии индуктивной связи коэффициент эффективности испытательного шлейфа примерно равен единице на большей части её протяжённости. Наихудшим условием эксплуатации будет являться самое короткое из возможных расстояние между скреплениями.

Полученная картина позволяет судить о следующем. Чем ниже высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса при использовании шлейфа со скреплениями, тем меньше область вблизи мест скрепления последнего, в которой коэффициент эффективности испытательного шлейфа изменяется существенно. При равных расстояниях относительно соседних скреплений испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа при данных: его длине и высоте подвеса приёмной катушки – максимален (данное утверждение может быть достаточно просто доказано путём определения максимума функции, определённой выражением (12) относительно L_k). Вблизи мест скрепления испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа резко снижается за счёт влияния смежного участка испытательного шлейфа, что приводит к невозможности измерения чувствительности локомотивного приёмника в данной области при номинальной силе тока в испытательном шлейфе. С учётом этого построим график зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа при размещении приёмной катушки на равном удалении от соседних его скреплений (рис. 5).

С учётом графиков, представленных на рис. 5, можно сформулировать вывод о том,

³ Инструкция по оборудованию, техническому обслуживанию и ремонту испытательных шлейфов и путевых устройств АЛС контрольного пункта АЛСН № 35002-000-00, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 июля 2021 г. № 1510/р. [Электронный ресурс]: consultantplus://offline/ref=ACFC0F802E265D5609396C61FA2297645A36CD753B15BBF0F0683C6B87B643E0101F73D15E3E927DF0C91393978316kCG2L. Доступ 11.04.2022.

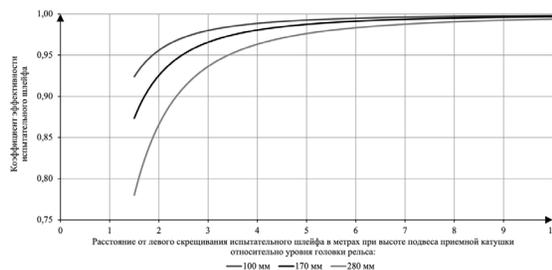


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от расстояния между соседними скреживаниями испытательного шлейфа [выполнено авторами].

что при известном допустимом диапазоне высот подвеса приёмных катушек относительно уровня головки рельса при оценке чувствительности локомотивного приёмника необходимо, во-первых, определить требуемую точность (может быть задана коэффициентом эффективности испытательного шлейфа; характеризует отличие получаемых результатов измерений ЭДС, наводимых в приёмных катушках, от максимально возможных значений), а, во-вторых, определить минимальное расстояние между скреживаниями, при котором при размещении приёмной катушки симметрично относительно соседних скреживаний будет достигаться заданная точность.

Полученные результаты позволяют проанализировать существующие нормы, установленные различными документами: п. 1.8.4 Методических указаний 36090-000-00 МУ⁴ и п. 3.4.6.6 Инструкции № 35002-00-003. Из указанных нормативных документов следует, что «приёмные катушки единицы тягового железнодорожного подвижного состава должны располагаться не ближе 200 мм к месту скреживания испытательного шлейфа». Согласно результатам моделирования на указанном расстоянии коэффициент эффективности испытательного шлейфа находится в диапазоне от 0,45 до 0,67, следовательно, чувствительность локомотивного приёмника не может быть определена при номинальных величинах силы тока в испытательном шлейфе (наводимая ЭДС будет отличаться от номинальной величины почти в два раза).

Для подтверждения полученных в результате моделирования данных требуется проведение натурного экспериментального исследования для уточнения величины коэффициента эффек-

тивности испытательного шлейфа в зоне скреживания испытательного шлейфа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проведённого исследования можно сформулировать следующие основные выводы:

1. На основе гипотезы о том, что в зависимости от положения приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа существенно изменяются условия для оценки чувствительности локомотивного приёмника, была разработана математическая модель, позволяющая осуществлять моделирование величины коэффициента эффективности испытательного шлейфа в зависимости от положения приёмной катушки и параметров испытательного шлейфа. При разработке модели учтены требования действующих нормативных документов к прокладке испытательных шлейфов.

2. По результатам моделирования установлено, что чем ниже высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса при использовании шлейфа со скреживаниями, тем меньше область вблизи мест скреживания последнего, в которой коэффициент эффективности испытательного шлейфа изменяется существенно. Форма зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа на различной его длине одинакова и имеет одинаковые характерные точки.

3. На основе сопоставления результатов моделирования с действующими нормами по размещению приёмных катушек испытуемой единицы тягового железнодорожного подвижного состава было установлено их несоответствие. Для указанного в нормативных документах расстояния между приёмной катушкой и местом скреживания испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа составляет только лишь 0,45–0,67, что не позволяет обеспечить условия для оценки чувствительности локомотивного приёмника.

⁴ Контрольный пункт АЛС. Методические указания по проектированию и оборудованию. 36090-00-00 МУ: Утверждены заместителем начальника управления сигнализации, связи и вычислительной техники 30.12.1996. Альбом 1. Всего альбомов 2. – М., 1996. – 24 с.





Для получения точных результатов оценки чувствительности локомотивного приёмника следует располагать приёмные катушки на равном удалении от мест скрещиваний, а расстояние между скрещиваниями испытательного шлейфа подбирать с учётом заранее принятой точности измерений.

Для уточнения результатов моделирования необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования, работа над которыми уже ведётся специалистами кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с. ISBN 5-900242-29-3.
2. Заколесник В. В., Меркулов П. М., Кузьмин В. С. Как улучшить работу контрольных пунктов АЛСН // Локомотив. – 2019. – № 10 (754). – С. 9–10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40808094> [ограниченный доступ].
3. Табунщиков А. К., Барышев Ю. А., Якимов С. М. Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки: в 2 ч. – Ч. 1. – Гомель: БелГУТ, 2017. – С. 201–202. [Электронный ресурс]: <http://elib.bsut.by/bitstream/handle/123456789/3167/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B5%202017%20%D1%871-201-202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Доступ 14.05.2022.
4. Шаманов В. И. Проблемы электромагнитной совместимости рельсовых цепей с тяговой сетью // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 160–185. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-160-185.
5. Биндго А. С., Кузьмин В. С., Меркулов П. М., Табунщиков А. К. Диагностический комплекс для автоматизированной проверки релейной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия: пат. 2700241 Рос. Федерация № 2018144988; заявл. 19.12.18; опубл. 13.09.19, Бюл. № 26. – 17 с. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002700241_20190913_C1_RU/. Доступ 14.05.2022.
6. Леонов А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
7. Теслев А. Н. Проверка локомотивной сигнализации в середине шлейфа ИШ-74 // Локомотив. – 2019. – № 4 (748). – С. 24. [Электронный ресурс]:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38536129> [ограниченный доступ].

8. Теслев А. Н. Реконструкция шлейфов ПТОЛ // Локомотив. – 2018. – № 9 (741). – С. 27. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35533528> [ограниченный доступ].

9. Теслев А. Н. Автоматическое включение-выключение шлейфа ИШ-74 у здания ПТОЛ // Локомотив. – 2022. – № 5 (785). – С. 31. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48379729> [ограниченный доступ].

10. Кузьмин В. С., Рядчиков П. О., Петров С. А. К вопросу о требованиях к прокладке испытательного шлейфа // Образование–Наука–Производство: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, 24 декабря 2020 года. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО Иркутский университет путей сообщения, 2020. – С. 149–154. [Электронный ресурс]: https://www.irgups.ru/sites/default/files/zabizht/docs/sciences/sbornik_dekabr_2020_tom_1.pdf (полный сборник материалов). Доступ 14.05.2022.

11. Шаманов В. И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 2–5. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17110803>. Доступ 14.05.2022.

12. Лисенков В. М. Индуктивная связь с поездами. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.

13. Бородин А. В., Овсянников С. А., Косьяненко В. В. Улучшать качество ремонта и обслуживания приёмных катушек // Локомотив. – 2021. – № 12 (780). – С. 15–17. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47275872> [ограниченный доступ].

14. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость тягового электрооборудования с линиями связи, устройствами железнодорожной автоматики и питающими электросетями / Дис... док. техн. наук. – М.: МИИТ, 1999. – 475 с.

15. Hou, W., Zhang, X., Wang, J., Sarris, C. D. Hybrid Numerical Modeling of Electromagnetic Interference in Train Communication Systems. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2020, Vol. 62, Iss. 3, pp. 715–724. DOI: 10.1109/TEMC.2019.2920656 [ограниченный доступ для подписчиков].

16. Feng, J., Cao, J. G., Wu, Z. H. Analysis and Research on Electromagnetic Compatibility of High Speed Railway Traction Current Harmonics to Track Circuit. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2021, Vol. 31, Iss. 8, pp. 1–4. DOI: 10.1109/TASC.2021.3090347 [ограниченный доступ для подписчиков].

17. Yang, L., Hian, L. C., Leong, L. W., Kevin, O. M. C. Induced voltage study and measurement for communication system in railway. Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), 2018, pp. 32–35. DOI: 10.1109/ISEMC.2018.8393733 [ограниченный доступ для подписчиков].

18. Zhang, L., Zhu, Y., Chen, S., Zhang, D. Simulation and Analysis for Electromagnetic Environment of Traction Network. Proceedings of 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), 2021, pp. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560338. ●

Информация об авторах:

Кузьмин Владислав Сергеевич – аспирант, ассистент кафедры автоматика, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, vs.kuzmin@bk.ru.

Табунщиков Александр Константинович – кандидат технических наук, доцент, кафедры автоматика, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, tabunshikov1@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.04.2022, одобрена после рецензирования 30.05.2022, принята к публикации 27.06.2022.

Т



ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 40

Анализ существующих, выбор и апробация моделей, оптимальных для прогнозирования грузопотоков по Северному морскому пути с учётом выделения наиболее весомых факторов.



УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ 50

Синтез безопасных систем: концепция и практическое применение. Учёт не только собственных и внешних отказов управляющих систем и их составляющих, но и отказов объектов инфраструктуры, непосредственно взаимодействующих с устройствами управления.

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА



ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ 58

Оценка готовности транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга к внедрению электротранспорта. Комплексный анализ производственных, телекоммуникационных, экологических и иных факторов, состояния улично-дорожной инфраструктуры, наличия и перспектив развития сети электростанций.



ЦЕПИ ПОСТАВОК: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ 69

Специфика диагностики цепей поставок отдельного региона с преобладанием железнодорожных перевозок: общая характеристика, концептуальные подходы и фактические выводы. Пример Оренбургской области.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ 75

Поиск оптимальных методов прогнозирования пассажиропотоков в крупных агломерациях на примере Москвы. Анализ традиционных и автоматизированных методов и переход к инновационным цифровым, основанным на Wi-Fi аналитике.



Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях



Анатолий КИСЕЛЕНКО



Евгений СУНДУКОВ



Надежда ТАРАБУКИНА

Анатолий Николаевич Киселенко¹, Евгений Юрьевич Сундуков², Надежда Андреевна Тарабукина³

^{1, 2, 3} Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

✉ ³ translab@iespn.komisc.ru.

АННОТАЦИЯ

Целью работы является исследование методов прогнозирования развития транспортных систем и определение их пригодности в условиях нестабильности экономики.

Современная методология прогнозирования развития региональных транспортных систем включает в себя экспертные и формальные методы, методы активного и пассивного прогнозирования.

В качестве перспективных направлений можно назвать применение в прогнозировании экспертных систем, сценарного прогнозирования и стратегического планирования.

Сценарное планирование в большей степени приспособлено к нелинейным преобразованиям в экономике, чем традиционное линейное планирование. В традиционном планировании прошлое объясняет настоящее, в сценарном планировании будущее является смыслом настоящего, будущее создается.

Многообразие и нестабильность статистических показателей побуждает создавать гибридные системы моделей прогнозирования. Их основу составляют регрессионные,

а также интеллектуальные модели, в том числе искусственные нейронные и аналитические сети и др., которые дополняются сценарным прогнозированием.

Выявлены основные факторы, определяющие функционирование транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики, и осуществлен выбор методов прогнозирования её развития. Основными факторами, негативно влияющими на развитие транспортной сети исследуемого региона, являются нехватка грузовой базы портов; недостаточная пропускная способность транспортных подходов к морским портам; политические, социальные, природно-климатические и другие риски.

На примере Северного морского пути показано использование гибридной системы моделей прогнозирования для получения возможных значений объемов перевозок. На основе анализа регрессионных моделей и исследования возможности достижения целевого показателя объемов перевозок к 2024 году был сделан вывод о принципиальной применимости данной модели к прогнозированию объема перевозок по СМП.

Ключевые слова: транспортная система, методы прогнозирования, Европейская и Приуральская Арктика, регрессионные модели, интеллектуальные модели, сценарное прогнозирование, гибридные модели прогнозирования.

Источники финансирования: работа выполнена по теме НИР «Разработка научных основ анализа функционирования и прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики» (№ гос. регистрации 121021800127-1).

Для цитирования: Киселенко А. Н., Сундуков Е. Ю., Тарабукина Н. А. Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-5>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт, являясь отраслью экономики и поставщиком услуг, обеспечивает предпосылки активизации хозяйственной деятельности на той или иной территории, а развитие транспортной инфраструктуры должно носить опережающий характер [1] по отношению к материальным производствам. Поэтому необходимо выявление тенденций и показателей, позволяющих прогнозировать развитие транспортных систем как в ближайшей, так и в отдалённой перспективе.

На протяжении всей своей истории человечество пыталось заглянуть в будущее и узнать, что ждёт впереди. Мартин ван Кревелд [2] рассказывает с позиций историка о возникновении различных методик предсказания, принципах и убеждениях, лежащих в их основе. Сегодня учёные стремятся делать прогнозы с использованием новейших компьютерных технологий.

Анализ различных методологий прогнозирования, в том числе и применительно к транспортным системам, выполнен А. М. Андроновым, А. Н. Киселенко, Е. В. Мостивенко [3, с. 26–41]. В условиях плановой экономики (с начала 1970 г. и до 1991 г.) методы, основу которых составляют теория вероятностей, математическая статистика, теория регрессии, широко использовались при прогнозировании объёмов перевозок.

Целью настоящей работы является определение применимости этих и ряда перспективных методов прогнозирования развития транспортных систем в современных экономических условиях, характеризующихся высокой степенью неопределённости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методология

Прогнозирование развития транспортных систем и научные методы

Авторы [3] разработали современную методологию прогнозирования развития региональных транспортных систем, включающую в себя экспертные и формальные методы, методы активного и пассивного прогнозирования, методы «снизу–вверх» и «сверху–вниз», индивидуальные и групповые модели.

Под *экспертными* понимаются методы составления прогнозов на основе предположений экспертов. Среди них выделяются методы «Дельфи», «мозговой атаки», «морфологический» и т.п.

Методами *пассивного прогнозирования* значение интересующего показателя предсказывается без указания того, каким образом оно будет достигнуто, например, при экстраполяции временных рядов.

При *активном прогнозировании* точно описывается механизм формирования рассматриваемого показателя. В зарубежной литературе подобные методы также называют *нормативными*, а пассивные – *поисковыми*.

Прогнозы имеют разные временные признаки (свыше пяти лет, пять лет, год, квартал, месяц и т.п.).

Транспортные объекты имеют определённую иерархию по принадлежности к различным ведомствам, регионам, предприятиям различных форм собственности. Необходимым условием качества прогнозов, разрабатываемых для транспортных объектов (прогнозов разных уровней), является их соответствие друг другу.

Также при прогнозировании развития транспортных систем применимы *индивидуальные и групповые модели*. Индивидуальная модель прогнозирования основана на рассмотрении каждого объекта по отдельности (например, транспортное предприятие), групповая модель – на рассмотрении некоторой совокупности объектов одновременно (аэропорты и т.д.)

Для анализа и прогнозирования развития транспортных систем часто используют методы многомерной линейной регрессии.

Пригодность методов прогнозирования в условиях нестабильности экономики

Классические методы прогнозирования

Авторы работы [4] отмечают, что «при всех отмеченных ограничениях наиболее применяемыми в экономических исследованиях методами прогнозирования спроса на услуги инфраструктур на уровне региона остаются методы, основанные на статистических зависимостях. Причины – в доступности статистической информации и простоте реализации, когда на передний план выводится



Соотношение сценария, прогноза, видения [11]

Сценарий	Прогноз	Видение
Возможные, наиболее вероятные варианты будущего	Вероятные варианты будущего	Желаемый вариант будущего
Основан на неопределённости	Основан на определённых связях	Основано на ценности
Показывает риски	Скрывает риски	Скрывает риски
Качественный или количественный	Количественный	Обычно качественное
Необходим, чтобы знать, какое решение принять	Необходим, чтобы осмелиться принять решение	Побуждает к действию
Редко применяется	Применяется ежедневно	Применяется относительно часто
Эффективен в средней долгосрочной перспективе и при средней или высокой степени неопределённости	Эффективен в краткосрочной перспективе и при низкой степени неопределённости	Играет роль пусковых механизмов для сознательных преобразований

задача достижения экономического роста как общего, так и по составляющим».

Турбулентность экономики актуализирует разработку методов получения прогнозных значений социально-экономических показателей при нестабильных временных рядах. В качестве перспективных направлений прогнозирования можно назвать применение экспертных систем [5; 6], сценарного прогнозирования и стратегического планирования [7–9], что даёт возможность использовать при построении сценариев как экспертные, так и формализованные методы.

Сценарное планирование в большей степени приспособлено к нелинейным преобразованиям в экономике, чем традиционное линейное планирование. В традиционном планировании прошлое объясняет настоящее, в сценарном планировании будущее является смыслом настоящего, будущее создаётся.

Т. Саати и К. Кернс дают следующее определение сценарию: «В самом общем виде сценарий – это гипотетический исход, который определяется с помощью некоторых предположений о текущей и будущих тенденциях» [10, с. 144].

М. Линдгрэн и Х. Бандхольд отмечали, что «сценарий не является прогнозом, то есть описанием сравнительно предсказуемого развития событий настоящего. Не является он и видением – желаемым будущим. Сценарий – это тщательно продуманный ответ на вопрос: «Что случится предположительно?» или: «Что произойдёт, если...?» [11]. Соотношение (различие) сценария, прогноза и видения, показанное в этой работе, приводится в табл. 1.

Б. В. Артамонов отмечает, что «целью написания сценария является не столько

предсказание будущего, сколько желание выявить основные закономерности и тенденции развития рассматриваемого объекта во времени, обеспечить более высокую вероятность выработки эффективного решения в тех ситуациях, когда это возможно, и свести ожидаемые потери к минимуму в тех ситуациях, когда они неизбежны» [12].

В монографии [13, с. 187] отмечается, что сценарный анализ стал активно использоваться начиная с 1970-х годов. Его следует «рассматривать как дополнительный инструмент прогнозирования к традиционным количественным методам прогнозирования и моделирования, как средство стратегического планирования», поскольку «основная цель сценарного анализа заключается не в прогнозировании будущего состояния экономической системы, а в снижении неопределённости её развития».

Кроме того, авторы [10; 13] выделяют следующие классы сценариев: *исследовательские сценарии* (построены на исследовании причинно-следственных связей между текущим состоянием системы и вариантами её будущего развития); *упреждающие (предваряющие) сценарии* (строятся на исследовании причинно-следственных связей в обратном направлении – от желаемого будущего состояния системы к текущему путём выявления стратегий развития, которые обеспечат искомый переход); сценарии, основанные на количественных математических моделях и имитационном моделировании. Единого подхода к методологии сценарного анализа нет, каждый метод имеет «свои достоинства и недостатки, свои ограничения в применимости».

Относительно транспортного обеспечения освоения Российской Арктики в монографии

Сравнение прогнозных оценок объёмов перевозок по СМП с фактическими значениями за 2020 и 2021 гг. (млн т) [18]

№ п/п	Системные объекты	Фактические грузопотоки	Прогнозные оценки						
			Пессимистический сценарий				Оптимистический сценарий		
			2020 г.	2021 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.
1	СМП	32,98	34,85	19,7	39,8	39,0	23,2	68,6	71,1
2	Транзит	1,28	2,04	1,5	2,0	3,0	2,0	4,0	8,0

[13, с. 63–64] говорится, что «необходимо обоснование расчётных вариантов сценарных условий формирования и развития энергетических и транспортных систем на арктических территориях ... во взаимодействии с процессами развития производительных сил базового региона».

Необходимость получения прогнозных значений в условиях нестабильности динамических рядов и неопределённости способствует использованию многопроцессорных архитектур, которые по своей производительности приближались бы к возможностям человеческого мозга, как, например, *искусственные нейронные сети* (ИНС) [14].

ИНС «составлены из множества отдельных процессоров, которые мы называем блоками обработки данных» (БОД), «так же, как сформированы нейронные сети в живых биологических системах» [15, с. 465–466].

БОД включает несколько входов (i), каждому из которых приписан некоторый вес (w_i). Вес может быть как положительным (возбуждающий эффект), так и отрицательным (тормозящий эффект). На входы БОД поступают переменные (x_i), принимающие значения «0» или «1».

Взвешенная сумма фактических входов S называется эффективным входом и определяется как множественная линейная регрессия:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + \theta,$$

где θ – параметр смещения. Если он не оговаривается, то $\theta = 0$.

Значение эффективного входа сравнивается с заданным пороговым значением P . Если $S > P$, на выход БОД выдаётся «1», в противном случае на выход выдаётся «0».

Определение весовых коэффициентов БОД ИНС имеет сходство с определением весовых коэффициентов при использовании метода анализа иерархий [16, с. 64–66; 17].

Кроме перечисленных, к методам прогнозирования развития транспортных систем

можно отнести *патентные исследования* (перспективные транспортные средства). «Ещё один аспект времени – это скорость внедрения инноваций» [11], в том числе и на транспорте.

Ниже рассмотрим применение вышеизложенных подходов к прогнозированию развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики (ЕиПА).

Основные факторы, определяющие функционирование транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики

Транспортная сеть ЕиПА, включающая железнодорожные, автомобильные, воздушные, водные пути и систему трубопроводов, функционирует на следующих сухопутных территориях Российской Арктики и примыкающих к ним водным путям, включая Северный морской путь (СМП): Мурманская область, Ненецкий автономный округ, части территорий Ямало-Ненецкого автономного округа (два городских округа и два муниципальных района), республик Карелия (пять муниципальных районов и городской округ) и Коми (три городских округа и муниципальный район), Архангельской области (три городских округа и четыре муниципальных района).

Основные факторы, определяющие грузовые перевозки в Российской Арктике, перечислены в работе [18, с. 89]. Они «разделены на две группы: экзогенные (природно-климатические условия, состояние глобальных сырьевых рынков, геополитические и геоэкономические отношения, стратегии глобальных корпораций и компаний) и эндогенные (государственная экономическая политика в отношении добычи полезных ископаемых, государственная политика в сфере регулирования арктического судоходства, состояние портовой и транспортной инфраструктуры, состояние торгового и ледокольного флотов, организационно-экономическая инфраструктура)».



Авторами [18] были получены прогнозные оценки объёмов перевозок по СМП по двум сценариям. Сравним их с фактическими грузо-потоками за 2020 и 2021 годы (табл. 2).

Сравнение показывает, что фактические значения объёмов перевозок по СМП в 2020 году оказались выше прогнозных оценок даже при оптимистическом сценарии. В то же время объём транзита в 2020 году оказался ниже прогнозных оценок, но достаточно близким к прогнозному значению в пессимистическом сценарии.

На наш взгляд, к основным факторам, негативно влияющим на развитие транспортной сети ЕиПА, являются:

- нехватка грузовой базы портов [19];
- недостаточная пропускная способность транспортных подходов к морским портам¹ [20];
- политические, социальные, природно-климатические и другие риски [21].

Процесс воздействия внешних и внутренних факторов имеет сложный и постоянно меняющийся характер. При прогнозировании объёмов перевозок ЕиПА на 2021 год основные группы факторов по значимости можно было расположить в следующей последовательности: достаточность (или недостаточность) грузовой базы; влияние ковид-ограничений (именно с этим можно увязать замедление темпов прироста объёмов перевозок по СМП в 2019–2021 гг.). Можно ожидать, что в 2022 году влияние ковид-ограничений постепенно будет снижаться, на первый план могут выйти другие ограничения.

Гибридная модель прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики

Б. В. Артамонов отмечает: «В условиях высокой неопределённости и быстрых изменений экономической и рыночной конъюнктуры при разработке стратегии любого хозяйствующего субъекта имеет смысл воспользоваться сценарным прогнозированием, в ходе которого с учётом одновременного изменения многих факторов рассматривается возможность возникновения различных ситуаций, в которых может оказаться изучаемый субъект» [22].

Е. О. Демидова выделяет три укрупнённых этапа сценарного прогнозирования

¹ Михайлов А. Мурманские порты столкнулись с нехваткой пропускной способности / Интернет-портал «Российской газеты». [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2021/11/30/reg-szfo/murmanskie-porty-stolknulis-s-nehvatkoj-propusknnoj-sposobnosti.html>. Доступ 27.05.2022.

и планирования: предсценарный, сценарный и этап внедрения сценариев [23, с. 3].

На предсценарном этапе должны быть определены цели сценарного прогнозирования и сформирована рабочая группа.

Основной задачей сценарного этапа является выявление ключевых факторов, которые определяют развитие производственных систем (в нашем случае – транспортных). Далее следует непосредственная работа по формированию сценариев, в ходе которой «для сценариев выделяют ключевые движущие силы со слабой корреляцией и намечают диапазон их возможных значений». Со ссылкой на зарубежных исследователей автор отмечает, что «сценарии в количестве больше четырёх начинают расплываться и терять свои важные для принятия решения различия» [24, с. 238].

Последний этап правильнее было бы назвать «этапом реализации сценариев». В ходе его выполнения необходимо уделять должное внимание каждому сценарию, осуществлять их мониторинг и анализировать обратные связи.

Автор работы [23, с. 3] также отмечает: «Сценарный метод является достаточно дорогостоящим и ресурсоёмким мероприятием. Однако при грамотном использовании сценариев в стратегическом планировании затраты многократно окупаются, так как дают большой экономический эффект за счёт более эффективного использования открывающихся возможностей и противостояния угрозам».

Б. В. Артамонов подчёркивает [22], что «набор вариантов сценариев образует конус сценарного прогнозирования, границами которого являются» оптимистический и пессимистический сценарии.

Прогнозируемое развитие системы определяется вектором (траекторией) сценарного развития, который находится внутри конуса прогнозирования.

Расположение этого вектора близко к границам контура (оптимистическому или пессимистическому сценариям) в обоих случаях несёт риски функционированию системы, поэтому для развития системы оптимальным будет выбор *базового сценария*, который позволит рационально использовать ресурсы системы для достижения целевого результата. При этом на основании данных непрерывного мониторинга осуществляется корректировка сценариев.

Один из возможных алгоритмов сценарного управления региональным развитием, который может быть применён и к управлению развити-

Таблица 3

Объёмы перевозок по Северному морскому пути в 2011–2021 гг. (тыс. т) [[29; 30], а также по аналитическим данным Дирекции СМП Госкорпорации «Росатом»*]

	Год										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Объёмы перевозок по СМП	3111,0	3752,0	3930,0	3982,0	5392,0	7256,0	10691,0	20180,2	31531,2	32978,9	34867,9
в т.ч. транзит	824,0	1212,0	1355,9	274,3	39,6	210,0	214,5	491,3	697,3	1281,0	2041,3

*Объём перевозок грузов в акватории Северного морского пути. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/51479>. Доступ 28.05.2022.

ем транспортных систем, представлен в работе Т. В. Соловьёвой и С. Г. Чефранова [25]. Условно можно выделить четыре этапа реализации этого алгоритма:

«На первом (начальном) этапе происходит: формирование цели синтеза сценария; определение временного горизонта сценария; формирование совокупности целевых ориентиров; идентификация текущего состояния.

Далее осуществляется синтез сценарных условий (второй этап). Проводится проверка, образована ли при этом полная группа событий. В случае успешной проверки оценивается вероятность наступления событий, определяющих сценарные условия; рассчитываются показатели качества набора сценарных условий; проверяется, достигнуты ли лучшие показатели. При достижении лучших показателей формируется система управляющих воздействий для различных сценарных условий.

На третьем этапе после синтеза совокупности индикаторов сценарных условий, мониторинга состояния объекта управления и внешней среды, проверяется реализация сценарных условий.

На завершающем этапе выполняется реализация управляющих мероприятий для наиболее вероятных сценариев (как оговаривалось выше трёх-четырёх)».

Н. М. Бухаров предлагает использовать сочетания различных подходов в прогнозировании и называет их «гибридными»: «При удачном исходе гибрида ожидают получение синергетического эффекта, это значит значительное улучшение его показателей» [26].

По мнению авторов работы [27, с. 130–131] гибридная система моделей прогнозирования состоит из комплекса регрессионных моделей и совокупности интеллектуальных моделей, в том числе искусственных нейронных сетей, аналитических сетей и др. (рис. 1).

Такая система является открытой и позволяет включать новые модели и показатели, может



Рис. 1. Гибридная система моделей прогнозирования [27].

иметь модульную архитектуру, что придаёт ей дополнительную устойчивость.

Использование гибридной системы моделей на примере получения прогнозных значений объёмов перевозок по Северному морскому пути

Количество показателей, характеризующих уровень перевозок пассажиров и грузов, используемых в различных задачах прогнозирования и планирования работы транспорта ЕиПА, очень велико. На сегодняшний день существует более 150 методов и моделей прогнозирования. Они, как правило, базируются на стабильных временных рядах показателей, математической статистике и программировании [1, с. 16–17].

Важным показателем функционирования транспортной системы ЕиПА является объём грузовых перевозок по СМП, который имеет исключительное значение, в первую очередь, для обеспечения безопасности Арктической зоны Российской Федерации. Определён его целевой показатель в 80 млн т к 2024 году². Такая целевая установка активизирует два возможных сценария развития Арктической транспортной системы и транспортной сети ЕиПА как её составной части: оптимистиче-

² Утверждён план развития инфраструктуры Северного морского пути до 2035 года. [Электронный ресурс]: <http://government.ru/docs/38714/>. Портал госпрограмм РФ. [Электронный ресурс]: https://programs.gov.ru/Portal/pilot_program/24/elements. Доступ 27.05.2022.



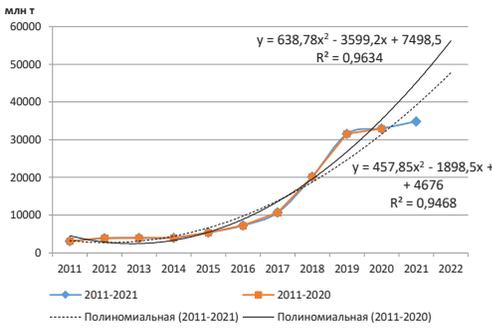


Рис. 2. Экстраполяция временных рядов 2011–2020 гг. и 2011–2021 гг. в части объёмов перевозок по СМП с использованием регрессионных моделей [выполнено авторами].

ский (указанный объём перевозок будет достигнут) и пессимистический (названный объём перевозок не будет достигнут). По какому из них пойдёт развитие, определяется экономическими, политическими, природными и другими рисками [28, с. 53].

В период с 2011 по 2019 гг. наблюдался неуклонный рост объёмов грузовых перевозок по СМП за счёт увеличения объёмов добычи углеводородов в ЕиПА и перевозки их на экспорт, что позволяло разрабатывать вполне адекватные модели для их прогнозирования методом регрессионного анализа.

Данные по объёмам перевозок по СМП в 2011–2021 гг. приведены в табл. 3.

Определённый вклад в этот рост вносили транзитные перевозки грузов из Азиатско-Тихоокеанского региона в Европу, однако, объёмы их незначительны.

По имеющимся значениям были построены регрессионные модели для временных рядов 2011–2020 гг. и 2011–2021 гг. (рис. 2).

Для временного ряда 2011–2020 гг. прогнозируемое значение, полученное по десяти фактическим значениям посредством квадратичной модели, на 2021 г., составило 45199,7 тыс. т, что значительно превышает реальное значение – 34850,0 тыс.т. Оценка объёмов перевозок в 2022 г. по этой модели равна 56292,4 тыс. т, дальнейшее продолжение

ние линии тренда подтверждает достижимость целевого показателя в 2024 году.

Для временного ряда 2011–2021 гг. значительные объёмы перевозок по СМП на 2022 г. (на основе 11 фактических значений) равно 47824,4 тыс. т, но при этом по результатам регрессионного анализа не исключено развитие по пессимистическому сценарию, в том числе с менее быстрыми темпами роста к 2024 году.

Таким образом, по результатам регрессионного анализа возможно сделать определённые предположения о достижимости или недостижимости целевого показателя при наличии стабильных динамических рядов. Схема таких исследований направлена «из прошлого в будущее» [31, с. 18].

При этом нужно исходить из большой зависимости регрессионного анализа от текущих изменений динамики достигнутых показателей, в том числе временного характера, что снижает точность прогноза.

В случае ИНС исследования направлены «из будущего к настоящему», т.е. сначала определяются основные факторы, которые могут оказывать влияние на функционирование системы в перспективе, а затем разрабатывается несколько сценариев текущего развития.

Ниже приведён принципиальный пример модели построения элементов ИНС, определяющий возможность достижения целевого показателя объёмов перевозок по СМП к 2024 г.

Построение базового БОД

С учётом исходных данных были определены входные и выходные переменные, для входов заданы предварительные веса (табл. 4), а также задано пороговое значение $P = 0,4$. Следует учесть, что предварительные группы учитываемых ограничений, их состав (в том числе декомпозированный по отдельным позициям) и соответствующие веса, определённые экспертным методом, не являются строго

Таблица 4

Входные и выходные переменные и их веса для базового БОД [составлено авторами]

Обозначение переменных	Смысловое значение переменных x_i	«Вес» переменной w_i
x_1	Внешние ограничения (экономические, экологические и иные)	0,2
x_2	Ковид-ограничения	0,3
x_3	Недостаточная грузообразующая база	0,5
y	Целевой показатель достигнут / не достигнут	

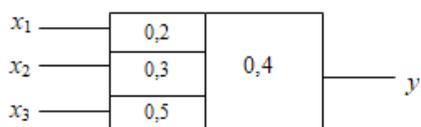


Рис. 3. Базовый БОД для заявленной цели прогнозирования.

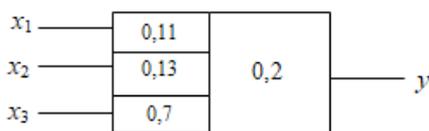


Рис. 4. Изменённый БОД_2.

	A	B	C	D
1		Смысловое значение переменных (условное наименование проекта)	Обозначение переменных	Вес переменной (объем перевозок по проекту, млн т), $w_{3,i}$
2	1	Новый порт	$X_{3,1}$	5,56
3	2	Восток Ойл	$X_{3,2}$	30,00
4	3	Ямал СПГ	$X_{3,3}$	19,70
5	4	Арктик СПГ2	$X_{3,4}$	12,60
6	5	Обский ГХК	$X_{3,5}$	0,60
7	6	Норильский Никель	$X_{3,6}$	0,96
8	7	Сырадасайское месторождение	$X_{3,7}$	3,50
9	8	Прочие проекты	$X_{3,8}$	0,31
10	9	Грузы обеспечения, «северный завоз», транзит	$X_{3,9}$	16,78
11		Смещение	θ_3	-10,01
12		Недостаточная грузообразующая база	X_3	
13				$P=80$

Рис. 5. Таблица исходных данных БОД_1 для анализа достаточности грузовой базы перевозок по СМП [составлено авторами на основе Распоряжения Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» / Справочно-правовая система «Консультант Плюс»].

заданными и в данном случае служат иллюстративным примером. При построении действующей модели они должны быть определены на основе широкого экспертного опроса.

Сформированный базовый БОД показан на рис. 3.

С использованием программной реализации ИНС – пакета Flux.jl (библиотека машинного обучения³, написан на языке программирования Julia⁴ и для него) весовые коэффициенты были пересчитаны, установлено новое пороговое значение $P'=0,2$, новые данные введены в БОД_2 (рис. 4).

Для анализа достаточности грузовой базы перевозок по СМП ИНС разработан БОД_1, таблица исходных данных которого представлена на рис. 5.

Выходная переменная БОД_1 поступает на вход БОД_2, который помимо достаточности грузовой базы анализирует воздействие других внешних факторов.

Исходные данные считывались из Excel-файла в Julia с помощью пакета XLSX.jl, что позволило легко корректировать данные (веса переменных) в зависимости от заявленных объёмов грузопотоков (рис. 5). Результаты всех вычислений также экспортировались в Excel-файл.

³ Flux: The Julia Machine Learning Library. [Электронный ресурс]: <https://fluxml.ai/Flux.jl/stable/>. Доступ 27.05.2022.

⁴ The Julia Programming Language. [Электронный ресурс]: <https://julialang.org/>. Доступ 27.05.2022.

В зависимости от целей исследования можно заменять входы элементов сети новыми БОД-ами, тем самым увеличивая число слоёв ИНС, либо число БОД-ов в каком-либо слое.

В результате оценки текущих и перспективных объёмов грузоперевозок по СМП можно сделать вывод о рисках, сопряжённых с достижением к 2024 г. директивно-прогнозного значения грузооборота в 80 млн т. Одним из препятствующих факторов, помимо выше названных, является ограниченная пропускная способность действующих железнодорожных подходов к морским портам ЕиПА Мурманска и Архангельска и отсутствие таковых для Сабетты и перспективного порта Индига.

Качество любого прогноза зависит от точности вводимых данных, в данном случае – перечня учитываемых факторов и присвоенных им экспертным путём весовых оценок. В этой связи прогноз в складывающихся динамически изменяющихся условиях не может рассматриваться как окончательно сформировавшийся.

Так, первая половина 2022 года показала, что группа зарубежных стран будет отказываться⁵ от российских нефти, газа и угля, притом, что в 2021 году эта группа стран

⁵ Поворот на Восток приказано ускорить: путь энергоресурсов в Азию будет тернист. [Электронный ресурс]: <https://eadaily.com/ru/news/2022/04/15/povorot-na-vostok-prikazano-uskorit-put-energoresursov-v-aziyu-budet-ternist>. Доступ 27.05.2022.



Обозначение переменных	Вес переменной w_i	Смысловое значение переменных
x_1	0,11	внешний фактор 1
x_2	0,13	внешний фактор 2
x_3	0,7	внешний фактор 3 (недостаточная грузообразующая база)
...
y		Целевой показатель не будет достигнут
$P=$	0,2	

Рис. 6. Пример таблицы исходных данных БОД₂ для прогнозирования достижения целевого показателя объема грузовых перевозок по СМП [составлено авторами].

обеспечила более половины выручки от экспорта энергоносителей (около 100 из 191,5 млрд долл.). Это может потенциально негативно повлиять на обострение проблемы нехватки грузовой базы арктических портов и, как следствие, вызвать снижение объёмов грузовых перевозок по СМП.

С другой стороны, снижения прогноза по достижению установленного показателя к 2024 году не произошло, целевым остаётся показатель в 80 млн т⁶. Происходит переориентация экспорта нефти и газа на перспективные рынки других групп стран (речь идёт в том числе о реализации инфраструктурных проектов: железнодорожных, трубопроводных, портовых, а также об обеспечении потребностей в энергоресурсах на внутреннем рынке). При этом, в целях определения приоритетности нефтегазовых проектов и их реализации, необходимо использовать прогнозные значения, обладающие высокой степенью достоверности.

В целом эта задача обусловлена не только складывающейся ситуацией на определённом отрезке времени, но и носит долгосрочный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Комплексность проблем экономического прогнозирования, в частности, развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики определяет необходимость междисциплинарного подхода к их решению, расширение и интеграцию уже имеющихся методик» [32].

Многообразие и нестабильность статистических показателей побуждает создавать гибридные системы моделей прогнозирования. Их основу составляют регрессионные моде-

ли, интеллектуальные модели, в том числе искусственные нейронные сети, аналитические сети и др., которые дополняются сценарным прогнозированием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мачерет Д. А. О законе опережающего развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2018. – № 7. – С. 14–19. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35249444>. Доступ 27.05.2022.
2. Ван Кревелд М. Прозревая будущее: Краткая история предсказаний / Пер. с англ. Д. Панайотти. – М.: Новое литературное обозрение, 2022. – 320 с. ISBN 978-5-4448-1758-2.
3. Андронов А. М., Киселенко А. Н., Мостивенко Е. В. Прогнозирование развития транспортной системы региона: Монография. – Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 1991. – 178 с.
4. Петров М. Б., Кожов К. Б. Новые подходы к прогнозированию в целях управления развитием больших систем территориальной инфраструктуры // Инновационный транспорт. – 2017. – № 2 (24). – С. 3–10. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-2-3-10.
5. Борисов П. А., Виноградов Г. П., Семёнов Н. А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечёткой логики в задачах прогнозирования // Известия российской академии наук. Теория и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 78–84. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9603710>. Доступ 27.05.2022.
6. Киселенко А. Н. Информационные системы в управлении. – Сыктывкар: СГУ, 1996. – 86 с. ISBN 5-87237-141-1.
7. Киселенко А. Н. Прогнозирование и планирование в экономике. – Сыктывкар: КРАГСиУ, 2003. – 87 с. ISBN 5-93206-050-6.
8. Мачерет Д. А., Титов Р. А. Стратегическое планирование и экономическая оценка развития интермодальной транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 30–45. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-30-45.
9. Киселенко А. Н., Малашук П. А. Стратегическое планирование развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики на федеральном уровне // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: Материалы Международной науч.-практ. конференции 09–10 ноября 2021 г. – СПб: ИПТ РАН, 2021. – Т. 1. – С. 50–54. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47983630> (полный текст сборника). Доступ 27.05.2022.
10. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
11. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование: связь между будущим и стратегией / Пер. с англ. И. Ильиной. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009. – 233 с. ISBN 978-5-9693-0137-5. [Электронный ресурс]: <https://>

⁶ Россия доставит по Севморпути 80 млн т грузов к 2024 году. Известия, 5 мая 2022 года. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/1329712/2022-05-04/rossia-dostavit-po-sevmorputi-80-mln-t-gruzov-k-2024-godu>. Доступ 27.05.2022.

www.cfin.ru/management/strategy/plan/scenario.shtml.
Доступ 27.05.2022.

12. Артамонов Б. В. Формирование сценариев при стратегическом управлении предприятием // *Инновации в гражданской авиации*. – 2015. – № 4. – С. 5–10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23238451>. Доступ 27.05.2022.

13. Андреева Е. Л., Душин А. В., Игнатова М. Н. и др. Сценарные подходы к реализации уральского вектора освоения и развития российской Арктики / Ответ. ред. Ю. Г. Лаврикова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, Издательство АМБ. – 2017. – 340 с. ISBN 978-5-94646-594-6.

14. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с. ISBN 5-8459-0890-6.

15. Брукшир Дж. Информатика и вычислительная техника. – 7-е изд. / Пер. с англ. Е. Мясникова, Е. Шикарева. – СПб.: Питер, 2004. – 620 с. ISBN 5-94723-650-8.

16. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Пер. с англ. – М.: ЛКИ, 2008. – 360 с. ISBN 978-5-382-00422-8 (рус.).

17. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь. – 1993. – 278 с.

18. Комков Н. И., Селин В. С., Цукерман В. А., Горючевская Е. С. Сценарный прогноз развития Северного морского пути // *Проблемы прогнозирования*. – 2016. – № 2. – С. 87–98. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389311>. Доступ 27.05.2022.

19. Музлова Г. Порты Арктики: условия для роста грузооборота // *Морские порты*. 2021. – № 4. [Электронный ресурс]: <http://www.morvesti.ru/analitika/1688/90941/>. Доступ 27.05.2022.

20. Киселенко А. Н., Малащук П. А., Сундуков Е. Ю. Оценка соответствия провозных и пропускных способностей транспортных путей Европейского и Приуральского Севера России потребностям Арктической транспортной системы // *Проблемы развития территории*. – 2019. – Вып. 3 (101). – С. 33–48. DOI: 10.15838/ptd.2019.3.101.2.

21. Лукьянец А. С., Брагин А. Д. Оценка масштабов и перспектив влияния климатических рисков на социально-экономическое развитие России // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2021. – Т. 14. – № 6. – С. 197–209. DOI: 10.15838/esc.2021.6.78.11.

22. Артамонов Б. В. Формирование сценарных композиций в условиях нестабильности рыночной конъюнктуры // *Инновации в гражданской авиации*. – 2016. – № 1. – С. 19–25. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27196739>. Доступ 27.05.2022.

23. Демидова Е. О. Проблемы разработки модели процесса стратегического сценарного прогнозирования и планирования развития предпринимательских структур

// *Управление экономическими системами: электронный научный журнал*. – Кисловодск: Кисловодский институт экономики и права. – 2011. – № 8 (32). – С. 50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17805187>. Доступ 27.05.2022.

24. Schwartz, P. P. *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. New-York, 1991, 238 p.

25. Соловьёва Т. В., Чефранов С. Г. Разработка алгоритма сценарного управления региональным развитием // *Новые технологии*. – 2011. – № 1. – С. 130–135. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16213551>. Доступ 27.05.2022.

26. Бухаров Н. М. Управление человеко-машинными комплексами на основе гибридного интеллекта // *Автореферат на соискание учёной степени доктора технических наук*. – М., 2011. – 43 с. [Электронный ресурс]: <https://new-dissert.ru/avtoreferats/01005089164.pdf>. Доступ 27.05.2022.

27. Китова О. В., Дьяконова Л. П., Савинова В. М. Система гибридных моделей прогнозирования для ситуационных центров региональных органов управления и их применение в образовании // *Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова*. – 2017. – № 5 (95). – С. 126–134. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30554038>. Доступ 27.05.2022.

28. Киселенко А. Н., Сундуков Е. Ю. Оптимистический и пессимистический сценарии формирования транспортных подходов к Арктической транспортной системе на основе достижения целевых показателей // *Мир транспорта*. – 2020. – Том 18. – № 6. – С. 46–62. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-46-62>.

29. Селин В. С., Селин И. В. Тенденции развития арктических морских портов // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. – 2018. – № 1 (57). – С. 55–66. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35134601>. Доступ 27.05.2022.

30. Лапин Н. С. Северный морской путь как международная транспортная магистраль // *Вестник академии*. – 2020. – № 3. – С. 111–126. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44310264>. Доступ 27.05.2022.

31. Артамонов Б. В. Особенности формирования стратегических моделей управления // *Инновации в гражданской авиации*. – 2016. – № 4. – С. 17–22. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28278954>. Доступ 27.05.2022.

32. Киселенко А. Н. О методологии функционирования и прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики // *Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий*. – Вып. 4. – Сборник статей IV всероссийской науч.-практ. конф. – 23–24 апреля 2021 года. – Котлас: Котласский филиал ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2021. – С. 8–14. ISBN 978-5-906619-85-3.

Информация об авторах:

Киселенко Анатолий Николаевич – доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, руководитель лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, kiselenko@iespn.kotisc.ru.

Сундуков Евгений Юрьевич – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, translab@iespn.kotisc.ru.

Тарабукина Надежда Андреевна – старший инженер лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, nadandtar@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 04.05.2022, одобрена после рецензирования 24.06.2022, принята к публикации 11.07.2022.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.25

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-6>

Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 50–57

Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов



Дмитрий ЕФАНОВ



Валерий ХОРОШЕВ



Герман ОСАДЧИЙ

Дмитрий Викторович Ефанов ¹⁻³, Валерий Вячеславович Хорошев ¹, Герман Владимирович Осадчий ^{4,5}

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² ООО «Научно-исследовательский и проектный институт «Транспортной и строительной безопасности», Санкт-Петербург, Россия.

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

⁴ ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург, Россия.

⁵ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹ TrES-4b@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье анализируется проблема синтеза безопасных систем управления ответственными технологическими процессами на примере систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Показано, что современные системы управления для сложных распределённых систем, таких как железнодорожная транспортная система, реализуются не с абсолютной безопасностью. Безопасность таких систем ограничена учётом только собственных отказов, внешних отказов управляющих систем и их составляющих, а также отказов объектов инфраструктуры, непосредственно взаимодействующих с устройствами управления. Другие объекты инфраструктуры никак не учитываются при автоматическом управлении и передаче данных на бортовые средства автоматики.

Ключевые слова: система управления движением поездов, железнодорожная автоматика и телемеханика, безопасность движения поездов, безопасный конечный автомат; опасный отказ объекта железнодорожной инфраструктуры, функциональная безопасность системы мониторинга.

Благодарности: настоящая работа является продолжением исследований заслуженных деятелей науки РФ, докторов технических наук, профессоров Валерия Владимировича и Владимира Владимировича Саложниковых, внёсших значительный вклад в развитие теории синтеза самопроверяемых, отказоустойчивых, надёжных и безопасных систем управления ответственными технологическими процессами, в том числе, движения поездов на железных дорогах. Выражаем благодарность своим учителям и коллегам за базовые идеи и создание возможности для развития интеллектуальных технологий синтеза безопасных систем управления.

Для цитирования: Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-6>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам синтеза безопасных систем управления ответственными технологическими процессами, в том числе, управления движением поездов на железнодорожном транспорте, посвящено огромное количество работ учёных, инженеров и исследователей [1–5]. При этом, как ни странно, до сих пор эта задача остаётся актуальной.

С развитием техники и технологий появляются способы повышения показателей безопасности и учёта функционирования и воздействия смежных объектов и систем. Однако к настоящему моменту они носят весьма ограниченный характер и направлены на улучшение «точечных» решений. Как пример – повышение надёжности и безопасности системы электрической централизации за счёт использования более надёжных компонентов и оборудования. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации в этой сфере, среди которых отметим работы [6–9].

Повышение безопасности системы управления движением поездов может быть достигнуто путём реализации более развитых способов самодиагностирования инфраструктурного комплекса за счёт использования внешних технических средств диагностирования и мониторинга. Из фундаментальных работ [2; 10] следует, что, к примеру, при синтезе безопасных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) до сих пор в полной мере не учитывается техническое состояние объектов железнодорожной инфраструктуры. Последние, хоть и проходят процедуру тестового и функционального диагностирования в процессе эксплуатации, но их результаты не учитываются при реализации алгоритмов управления. Они используются только для организации процедур по периодическому и внеплановому обслуживанию [11–13]. Более того, даже сами устройства автоматики в полной мере в автоматическом режиме не передают данные о своём техническом состоянии для учёта их в процессах управления [14; 15]. Это связано, прежде всего, с исторически сложившимися принципами построения систем управления на железнодорожном транспорте, со сформировавшимся институтом стандартизации, сертификации и доказательства безопасности, а также с отсутствием методик учёта данных от систем технического диагностирования и мониторинга (ТДМ) для автоматического управления процессами.

Задача синтеза безопасной системы управления решается за счёт исключения влияния тех событий, которые приводят к некорректной реализации алгоритмов управления и к возникновению опасных отказов. Такие отказы не просто влияют на технологический процесс в виде его остановок, а создают условия возникновения катастрофических нарушений, влекущих за собой повреждения, аварии и крушения. Поэтому при синтезе безопасных систем управления используется целый комплекс мер по защите и парированию опасных отказов: использование контролепригодных структур устройств, применение самоконтролируемых, самопроверяемых и отказоустойчивых логических схем, использование элементов с несимметричной характеристикой отказа, применение избыточного кодирования, внесение структурной, информационной и временной избыточности, реализация безопасных устройств сопряжения и пр. [1–5; 10; 16–20].

Целью настоящей работы является изложение теоретических основ синтеза безопасных систем сигнализации и управления движением поездов на железных дорогах. В отличие от предыдущих исследований предложено учитывать не только безопасность функционирования самих средств ЖАТ, но и объектов инфраструктуры и подвижного состава, непосредственно с ними не взаимодействующих. Такой учёт возможен за счёт использования систем ТДМ, которые, однако, должны реализовываться по вполне определённым принципам, являться высоконадёжными и давать информацию с высокой, наперёд заданной, достоверностью [21–23].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Безопасность системы управления движением поездов

В современной парадигме организации движения поездов можно утверждать, что технические средства обеспечения движения поездов находятся в частичном отрыве друг от друга и в своём большинстве напрямую не связаны [5]. Так, система ЖАТ находится практически в полном отрыве от устройств контактной подвески, частично в отрыве от объектов верхнего строения пути и искусственных сооружений, частично в отрыве от состояния подвижного состава. Например, событие искривления рельсового пути и на-



Управляющие воздействия и информационные сообщения

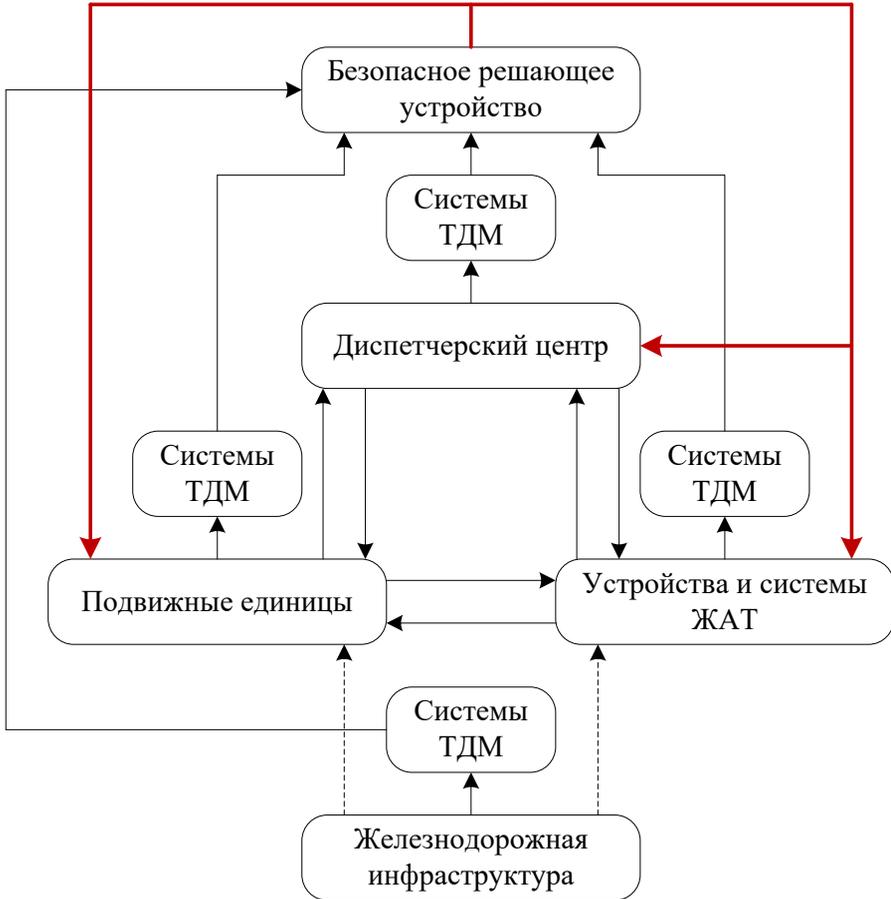


Рис. 1. Концептуальная организационная структура управления движением поездов [выполнено авторами].

рушения ширины колеи (выброс пути) при сохранении в целостности рельса никак не повлияет на систему ЖАТ: на светофоре, ограждающем въезд на участок с дефектом пути, будет гореть разрешающее показание. Более того, дать запрещающее показание в системе ЖАТ даже в таком случае искусственно, без нарушения правил эксплуатации средств автоматики невозможно.

Таким образом, рассуждения о безопасности устройств и систем ЖАТ становятся не вполне состоятельными в смысле безопасности перевозочного процесса в условиях отсутствия учёта безопасности инфраструктурного комплекса и подвижного состава в целом. Многолетний опыт эксплуатации и разработки систем ЖАТ, а также анализ научно-технической литературы по данному направлению показали, что в реальности при рассмотрении безопасности устройств ЖАТ можно говорить о некотором свойстве огра-

ниченной безопасности. Учитывается полностью внутренняя безопасность и частично внешняя.

Определение 1. Под внутренней безопасностью понимается свойство невозможности влияния неисправностей и ошибок в вычислениях на исполнение алгоритмов в части исключения переходов в опасные состояния.

Определение 2. Под внешней частичной безопасностью понимается свойство возможности парирования только тех внешних дестабилизирующих факторов, которые могут быть зафиксированы объектом автоматики.

Реализация устройств и систем ЖАТ в такой парадигме позволила построить безопасные управляющие комплексы, однако не позволила достичь абсолютной безопасности в движении поездов, так как состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава учитываются в управляющих комплексах только частично.

Технический объект железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава характеризуется следующими множествами:

$$\langle X, Z, A, P, S \rangle, \quad (1)$$

где X – множество входов;

Z – множество выходов;

A – множество реализуемых алгоритмов;

P – множество рабочих параметров;

S – множество состояний.

Для построения полностью безопасной системы автоматики требуется решать задачу получения информации о состоянии объекта, вовлечённого в перевозочный процесс (или его обеспечивающего), с заданной достоверностью $D \in [0, 1]$. На практике эта величина должна нормироваться и стандартизоваться. Безопасная система управления должна реализовываться за счёт применения технических средств встраиваемого и надстраиваемого тестирования и функционального диагностирования. Процедуры тестирования и функционального диагностирования должны производиться автоматически, в заранее выбранных и научно обоснованных контрольных точках и с заранее установленными и обоснованными периодами, реализуя определённую стратегию мониторинга [21–23].

При решении задачи диагностирования и мониторинга может контролироваться некоторое подмножество каждого из представленных выше множеств $X^* \subseteq X$, $Z^* \subseteq Z$, $A^* \subseteq A$, $P^* \subseteq P$, $S^* \subseteq S$. Это позволяет получать некоторое подмножество корректных и некорректных состояний каждого из объектов диагностирования. Для каждого из таких объектов выделяется множество корректных состояний S_g и множество некорректных состояний S_f ; $S^* = S_g \cup S_f$. На множестве S_f можно выделить те состояния S_R , которые связаны с конкретным заданным риском для управления движением поездов: $S_R \subseteq S_f$.

Утверждение. Все состояния S_R должны для каждого технического объекта фиксироваться и передаваться на единое безопасное решающее устройство для выработки им должных реакций для перехода в защитные состояния для управления движением поездов и информационных сообщений для участников движения и эксплуатации объектов диагностирования.

Таким образом, отдельные системы ТДМ объектов инфраструктуры, подвижного состава и ЖАТ должны вырабатывать сигналы

о достижении своих состояний S_R с заданной достоверностью D . Они либо напрямую (что сложнее технически), либо через безопасную платформу аналитики и принятия решения должны передавать сигналы для перехода во множество защитных состояний для системы управления перевозочным процессом. На рис. 1 изображена структура взаимодействия объектов железнодорожного транспорта.

2. Основные правила синтеза безопасной системы управления движением поездов

Безопасность перевозочного процесса существенно зависит от безопасности функционирования устройств и систем ЖАТ [1–3]. Фактически устройства и системы ЖАТ выполняют роль регулирующих технических средств для передачи достоверных данных машинисту. Традиционным способом передачи служит использование светофорной сигнализации. Каждый цветовой сигнал обозначает определённое действие для машиниста. Число таких сигналов весьма лимитировано, что ограничивает и градации для действий.

В процессе функционирования любое устройство ЖАТ или же вся система могут переходить между конечным множеством определённых заранее состояний. В таком случае в качестве математической модели объектов ЖАТ может использоваться модель абстрактного конечного автомата Z :

$$Z = \langle X, S, \Omega, s_0, \varphi, \psi \rangle, \quad (2)$$

где X – множество входных состояний, соответствующих булевым векторам, формируемым на входах объекта x_1, x_2, \dots, x_q ;

S – множество состояний автомата, соответствующих булевым векторам внутренних переменных y_1, y_2, \dots, y_p ;

Ω – множество выходных состояний автомата, соответствующих булевым векторам, формируемым на выходах объекта внутренних переменных z_1, z_2, \dots, z_p ;

s_0 – начальное состояние ($s_0 \in S$);

$\varphi: X \times S \rightarrow S$ – функция переходов, отображающая множество $X \times S$ в множество S ;

$\psi: X \times S \rightarrow \Omega$ – функция переходов, отображающая множество $X \times S$ в множество Ω .

При синтезе безопасных конечных автоматов можно использовать алгебру регулярных событий [24]. Автомат в таком случае рассматривается как преобразователь входных слов в выходные. Событием E для конечного автомата считается любое множество входных слов. Для описания алгоритма рабо-



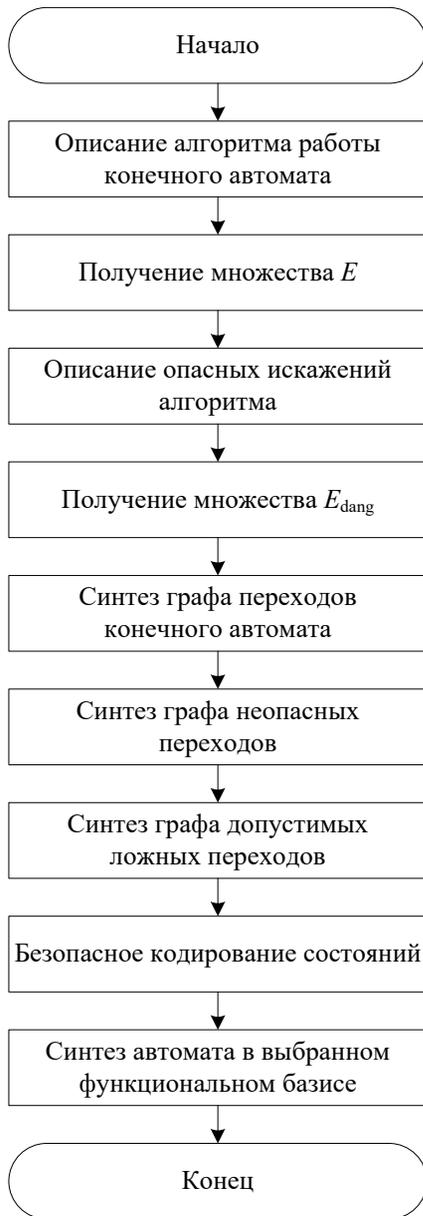


Рис. 2. Упрощённый алгоритм синтеза безопасного автомата [выполнено авторами].

ты конечного автомата требуется найти событие, включающее в себя все разрешённые слова – такие слова, которые представлены в автомате. Это делается с применением трёх операций: дизъюнкции, произведения и итерации множеств событий. Если это сделать с помощью обозначенных трёх операций, то событие E является регулярным. Известно [25], что любой конечный автомат представляет собой регулярное событие и наоборот, любое регулярное событие может быть представлено в конечном автомате.

События в конечном автомате могут реализовывать корректные переходы и некорректные, в том числе, опасные – нарушающие безопасность технологического процесса, реализуемого описываемым объектом. Множество опасных событий обозначим через E_{dang} .

Отказы в устройстве, которое описывается рассматриваемым автоматом, приводят к тому, что возникают ложные переходы автомата – вместо состояния S_i автомат переходит в состояние S_z ($S_i \rightarrow S_z$). Фактически исходный автомат трансформируется, и регулярные события в нём уже описываются выражением [24]:

$$E_k^* = E_i E_{z(k)}, \quad (3)$$

где E_i – все события (множество слов), переводящие исходный автомат из начального состояния в состояние S_i ;

$E_{z(k)}$ – все события, переводящие автомат из состояния S_i в состояние, представляющие события E_k , где k – номер опасного события.

Определение 3. Конечный автомат является безопасным, если исключает все ложные переходы, связанные с реализацией опасных событий, вероятность возникновения которых требуется учитывать.

В [10; 24] определено следующее.

Определение 4. Ложный переход автомата называется опасным, если при его возникновении для всех k выполняется условие:

$$E_k^* \cap E_{dang} \neq \emptyset. \quad (4)$$

Определение 5. Ложный переход автомата называется защитным, если при его возникновении для всех k выполняется условие:

$$E_k^* \cap E_{dang} = \emptyset. \quad (5)$$

Введённое понятие опасного отказа легло в основу работы [24], где была доказана теорема об отсутствии опасных отказов в конечном автомате.

Теорема 1. Опасные отказы в работе конечного автомата отсутствуют тогда и только тогда, когда для всех ложных переходов $S_i \rightarrow S_z$ и для всех ложных событий k выполняется условие:

$$E_{S_i \rightarrow S_z} E_{z(k)} \cap E_{dang} = \emptyset, \quad (6)$$

где $E_{S_i \rightarrow S_z}$ есть события, соответствующие ложным переходам автомата из состояния S_i в состояние S_z .

Введённые на основе регулярных выражений условия позволили авторам сформулировать алгоритмы синтеза конечных автоматов, которые исключают их переходы в опасные состояния при любых отказах, с вероятностью которых необходимо считаться. Для исключения опасных отказов в конечном автомате достаточно запретить все опасные ложные переходы.

Упрощённый алгоритм синтеза безопасного автомата представлен на рис. 2. В нём на финальном этапе подразумевается безопасное кодирование состояний конечного автомата с учётом графа неопасных ложных переходов.

Необходимо подчеркнуть, что в данном случае конечный автомат, описывающий работу некоего устройства или некой системы ЖАТ, будет безопасным со следующих позиций:

1) с позиции внутренней безопасности – отказы и сбои не приведут к переходу ни в одно из состояний риска для движения поездов S_R ;

2) с позиции внешней безопасности – внешние дестабилизирующие факторы не приведут к переходу ни в одно из состояний риска для движения поездов S_R .

Однако при этом конечный автомат никак не будет учитывать состояния S_R тех объектов инфраструктуры и подвижного состава, которые непосредственно не взаимодействуют с данным конечным автоматом. Это просто не определено в множествах событий E_{dang} . Таким образом, конечный автомат будет безопасным, однако он будет являться только ограниченно безопасным и не сможет выдать сигнала перехода в защитное состояние при возникновении одного из переходов в состояния S_R тех объектов инфраструктуры и подвижного состава, которые непосредственно не взаимодействуют с данным конечным автоматом.

Определение 6. Полностью безопасным конечным автоматом устройства или системы управления движением поездов будет являться конечный автомат, который способен переходить во множество защитных состояний при возникновении всех заданных переходов в состояния с установленным уровнем риска нарушения безопасности движения поездов для всех объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Во множество входных воздействий конечного автомата следует добавить ещё

одну переменную $\theta \in \{0,1\}$. Переменная θ принимает значение 1 в том случае, если безопасный решатель фиксирует переход одного из объектов мониторинга, с состоянием которого связано обеспечение безопасности перевозочного процесса, в одно из состояний S_R . В остальных случаях она равна 0.

В описанной логике работы безопасного решателя реализуется концепция строгого запрета для движения – виртуальный запрещающий сигнал (красное показание светофора). В таком случае переход осуществляется в единственное защитное состояние, уже имеющееся для конечного автомата: $s_{\text{safety}} \in S$. Выход из этого состояния осуществляется при участии человека.

Однако в практической реализации в конечный автомат может быть введён не один сигнал θ , а кодовый вектор $\langle \theta_1 \theta_2 \dots \theta_i \rangle$, соответствующий одному из защищённых состояний с заданной градацией. Например, если требуется передать информацию о снижении скорости проследования именно через систему сигнализации, то можно ввести аналог трёх цветов: «зелёный», «жёлтый» и «красный». Это потребует две переменные для кодирования. Если требуется передавать градацию скоростей в диапазоне 10 км/ч в промежутке от 0 до 300 км/ч, то потребуются передать 30 защитных состояний и, соответственно, требуется использовать пять двоичных переменных.

В общем случае потребуются изначальное введение $t = \lceil \log_2 N \rceil$ (N – число защитных состояний) переменных для кодирования. Кроме того, должны быть заданы и условия выхода из них без участия человека. Эта задача требует особой проработки в будущем.

Отсюда следует такое умозаключение.

Теорема 2. Автомат будет безопасным в том случае, если:

$$\forall S_{R_j} : E_{\text{dang}} \supset E_{\text{dang}}^j, j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (7)$$

где n – число подсистем диагностирования и мониторинга.

Следуя (7) и реализуя системы диагностирования и мониторинга в соответствии с требованиями к безопасным системам, нормируя уровень достоверности фиксируемых диагностических событий, можно перейти к реализации систем управления перевозочным процессом нового, реально более высокого уровня безопасности.





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на колоссальный прогресс в развитии техники и технологий за прошедший век, системы управления во многих областях промышленности и транспорта не реализуются таким образом, чтобы можно было сказать, что они полностью безопасны. Ограниченность свойства безопасности для систем управления связана с различными факторами. С одной стороны, с человеческим фактором, не исключающим возможности внесения ошибок в проектную документацию и ошибок при монтаже устройств и проведении тестирования в процессе пусконаладочных работ. С другой стороны, с отсутствием комплексного подхода при рассмотрении процесса синтеза системы управления отдельными устройствами или подсистемами без полного учёта всех взаимодействующих объектов. Это в полной мере отражается на примере систем ЖАТ. Они являются ограниченно безопасными, так как не передают машинисту данные о допустимых скоростях для движения с учётом состояния объектов инфраструктурного комплекса. В предложенной статье сделан упор именно на решение этой проблемы и предложено синтезировать системы управления движением поездов с тесной интеграцией со средствами автоматического мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры.

Решение задачи синтеза полностью безопасной системы управления движением поездов в настоящее время напрямую невозможно. Это связано со сложившимся комплексом нормативной документации, исключающей использование диагностических данных от внешних систем напрямую в управлении. Требуется решить главную подзадачу – создать методику синтеза систем технического диагностирования и мониторинга, которые могут быть сертифицированы на какой-либо из уровней функциональной безопасности [26]. Так как задача относительно новая, целесообразно двигаться по пути эволюции действующих, не сертифицируемых на функциональную безопасность, внешних систем диагностирования и мониторинга к системам нового уровня безопасности (Система ТДМ 0 (современная реализация, не сертифицируемая на функциональную безопасность) → Система ТДМ 1 → ... → Система ТДМ 4, по числу уровней полноты безопасности SIL 1...SIL 4). Это потребует и решения следующих задач:

- определение критериев опасного отказа систем диагностирования и мониторинга;
- определение функциональных требований к архитектуре, составляющим и к самим системам мониторинга;
- использование риск-ориентированного подхода к определению и ранжированию диагностических событий по степени влияния на безопасность движения поездов;
- нормирование достоверности фиксируемых событий;
- определение способов безопасной увязки решающих систем с управляющими комплексами (данные вопросы, например, для устройств ЖАТ рассматривались ранее в [21–23]).

Следование принципам комплексного учёта параметров объектов инфраструктуры железных дорог и подвижного состава позволит достичь существенного повышения (и даже скачка!) в уровне безопасности движения поездов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=3949&option_lang=rus. Доступ 26.02.2022.
2. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Христов Х. А., Гавзов Д. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики: Монография / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с. ISBN 5-277-01690-2.
3. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 331 с. ISBN 5-900242-29-3.
4. Бестемьянов П. Ф. Методы обеспечения безопасности аппаратных средств микропроцессорных систем управления движением поездов // Электротехника. – 2020. – № 9. – С. 2–8. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44000551> [платный доступ].
5. Railway Signalling and Interlocking: International Compendium. 3rd ed. Eds.: Dr. G. Theeg, Dr. S. Vlasenko. Germany, PMC Media House GmbH, 2020, 560 p. ISBN 978-3-96245-169-1.
6. Joung, Eui-jin; Lee, Changmu; Lee, Hanmin; Kim, Gil-dong. Software Safety Criteria and Application Procedure for the Safety Critical Railway System. 2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 26–30 October 2009, Seoul, Korea (South), pp. 1–4. DOI: 10.1109/TD-ASIA.2009.5356897 [ограниченный доступ].
7. Markov, D. S., Nasedkin, O. A., Manakov, A. D., Vasilenko, M. N., Kotenko, A. G., Belozarov, V. L. Method for Assessing Probabilistic Reliability Estimation and Safety of Railway Automation Systems Redundant Structures. Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4–7, 2020, pp. 356–361. DOI: 10.1109/EWDTS0664.2020.9224925 [ограниченный доступ].
8. Huang, Lujiang. The Past, Present and Future of Railway Interlocking System. IEEE 5th International

Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 11–13 September 2020, pp. 170–174. DOI: 10.1109/ICITE50838.2020.9231438 [ограниченный доступ].

9. Qian, Jinlong; Guo, Wei; Zhang, Hongtao; Li, Xiaona. Research on Automatic Test Method of Computer-Based Interlocking System. International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE), 3–5 July 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 298–302. DOI: 10.1109/CISCE50729.2020.00066 [ограниченный доступ].

10. Сапожников Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. – М.: Наука, 2021. – 229 с. ISBN 978-5-02-040877-7.

11. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб.: ПГУПС, 2016. – 171 с. ISBN 978-5-7641-0933-6.

12. Fritz, C. Intelligent Point Machines. Signal+Draht, 2018 (110), Iss. 12, pp. 12–16. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=469469&lng=en> [ограниченный доступ].

13. Heidmann, L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance. Signal+Draht, 2018, Iss. 9, pp. 70–75. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=325895&lng=en> [ограниченный доступ].

14. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of relay-contact circuits of railway signalling and interlocking. Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095 [ограниченный доступ].

15. Wernet, M., Brunokowski, M., Witt, P., Meiwald, T. Digital Tools for Relay Interlocking Diagnostics and Condition Assessment. Signal+Draht, 2019 (111), Iss. 11, pp. 39–45. [Электронный ресурс]: <https://eurailpressarchiv.de/SingleView.aspx?show=1136153&lng=en> [ограниченный доступ].

16. Бестемьянов П. Ф. Методы обеспечения безопасности и надёжности микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2007. – Т. 2. – С. 273–274. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15619177>. Доступ 26.02.2022.

17. Бочков К. А., Сивко Б. В. Выбор и определение функций безопасности при верификации микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Надёжность. – 2014. – № 2 (49). – С. 101–108.

18. Марков Д. С., Наседкин О. А. Инструментальное средство оценки вероятностных показателей надёжности и безопасности систем железнодорожной автоматики //

Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 23–34. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-1-23-34.

19. Ковкин А. Н. Релейно-полупроводниковая коммутация цепей в безопасных устройствах сопряжения на основе электромагнитных реле // Транспорт Урала. – 2020. – № 2. – С. 31–35. DOI: 10.20291/1815-9400-2020-2-31-35.

20. Бочков К. А., Комнатный Д. В. Обеспечение функциональной и информационной безопасности микроэлектронных систем управления движением поездов с учётом новых видов угроз // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 4–8. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44780175>. Доступ 26.02.2022.

21. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Аганов И. А. Увязка систем управления с техническими средствами диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 6. – С. 25–29. DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.004 [платный доступ].

22. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Аганов И. А. Барьерная функция систем мониторинга в увязке с системами управления движением поездов // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 3. – С. 51–56. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46683409> [платный доступ].

23. Efanov, D., Osadchy, G., Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Cracow, Poland, September 22–25, 2021, Vol. 1, pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985 [ограниченный доступ].

24. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. О синтезе конечных автоматов с исключением опасных отказов // Автоматика и телемеханика. – 1972. – № 8. – С. 93–99. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=8917&option_lang=rus. Доступ 26.02.2022.

25. Shannon, C. E., McCarthy, J. Automata Studies. In: Annals of Mathematics Studies, Vol. 34. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1956, 285 p. ISBN 9780691079165.

26. Smith, D. J., Simpson, K. G. L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards. 2nd ed., Simpson, Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK and Burlington, MA, 2004, 263 p. ISBN 978-0750652704. ●

Информация об авторах:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, член Института инженеров электротехники и электроники (IEEE member), профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО «Научно-исследовательский и проектный институт «Транспортной и строительной безопасности», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Москва / Санкт-Петербурге, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Хорошев Валерий Вячеславович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, hvv91@icloud.com.

Осадчий Герман Владимирович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – главный инженер ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», старший преподаватель кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, osgerman@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022, одобрена после рецензирования 27.05.2022, принята к публикации 20.06.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.331

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-7>

Оценка готовности транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург для электротранспорта



Екатерина КАЙЗЕР



Анна ЛЕБЕДЕВА

Екатерина Витальевна Кайзер ¹,
Анна Сергеевна Лебедева ²

^{1, 2} Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹ semina_e_v@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье представлена оценка готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург для электротранспорта. Актуальность темы очевидна, так как сегодня наблюдается активный рост рынка электротранспорта, а его дальнейшее развитие входит в официальную повестку транспортной отрасли. Поясняется, что активное использование электротранспорта в России предполагает соответствующее развитие инфраструктуры, особенно в таких крупных городах, как Санкт-Петербург.

Авторами дана характеристика основных исследований, посвящённых предпосылкам и перспективам развития рынка электротранспорта и транспортной инфраструктуры. Проведён анализ различных факторов популяризации электротранспорта, сделан вывод об отсутствии в научной литературе сложившейся методики оценки уровня готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта. Выявлены и проанализированы наиболее значимые факторы, влияющие на масштабирование электротранспорта, определены критерии и показатели оценки готовности инфраструктуры для электротранспорта, определён вес каждого крите-

рия, проведён текущий анализ состояния инфраструктуры. Достижению цели исследования – проведению оценки готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербурга для электротранспорта, способствовали оригинальный системный подход, анализ, интегральная и экспертная оценки.

Представленная методика расчёта индекса готовности к использованию новых транспортных решений включает оценку четырёх компонентов. На основе анализа научных работ выделены факторы, влияющие на развитие и популяризацию электротранспорта. Выявлено, что наиболее существенным фактором, определяющим темпы масштабирования электротранспорта, является наличие инфраструктуры. Сделан вывод о наибольшем развитии таких элементов, как работа электрической заправочной станции (ЭЗС) и информационной системы. Расчёт итоговой оценки транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург приведён в таблице. На основе проведённого анализа была получена общая оценка готовности транспортной инфраструктуры к масштабированию электротранспорта, а также оценки каждого элемента электротранспорта.

Ключевые слова: электротранспорт, инфраструктура, оценка готовности, электрическая заправочная станция, городской транспорт, информационные системы, факторы развития.

Для цитирования: Кайзер Е. В., Лебедева А. С. Оценка готовности транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург для электротранспорта // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 58–68. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-7>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается активный рост мирового и отечественного рынка электротранспорта.

В 2021 году в России спрос на электромобили вырос в девять раз, годовой объём новых электромобилей составил 2254 единиц, годовой объём подержанных электромобилей составил 9070 единиц¹. Дальнейшее развитие рынка электротранспорта входит в официальную повестку транспортной отрасли. Согласно планам Правительства Российской Федерации, к 2030 году каждый десятый выпускаемый автомобиль должен работать на электродвигателе². 23 августа 2021 года была утверждена Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в России на период до 2030 года, в которой поставлена задача развития широкой линейки транспортных средств с улучшенными показателями энергоэффективности, работающих на тяговой аккумуляторной батарее с локализацией производства в России³.

При этом активное использование электротранспорта в Российской Федерации предполагает соответствующее развитие инфраструктуры как экстенсивное, так и интенсивное. Недостаточная развитость тех или иных элементов инфраструктуры для электротранспорта сдерживает рост рынка и препятствует реализации установленных стратегических целей в данной сфере. В связи с этим вопросы, связанные с инфраструктурным обеспечением масштабирования электротранспорта в России, являются актуальными, особенно для таких крупных городов, как Санкт-Петербург, в которых наблюдается значительное влияние транспорта на экологическую безопасность.

В российской научной литературе существуют исследования, посвящённые предпо-

сылкам и перспективам развития рынка электротранспорта и транспортной инфраструктуры, а также анализу различных факторов популяризации электротранспорта. В исследовании В. Б. Мошкова, В. В. Овчинникова, Д. В. Черныкова и др., а также в работе А. Н. Афанасьева приводится перечень факторов, влияющих на развитие электромобилей, а также рассматриваются перспективы и прогнозы развития электротранспорта в России [1; 2]. Факторы, влияющие на развитие электротранспорта, также рассмотрены в статье Д. И. Демидова и В. В. Пугачева [3]. Одновременно с этим авторы изучают вопросы инфраструктуры, анализируя стандарты распределения электрозарядных станций (ЭЗС), источники энергии для электрозарядных станций и переработку отработанных аккумуляторных батарей. По мнению ряда авторов, к 2030 году в большинстве развитых и развивающихся стран будут приняты единые стандарты и требования к инфраструктуре для электротранспорта. В экспертно-аналитическом докладе, подготовленном под редакцией А. И. Боровкова и В. Н. Княгининой, утверждается, что развитие транспортной инфраструктуры для электротранспорта должно опережать развитие рынка электромобилей [4]. Однако в ряде источников зарядная инфраструктура рассматривается отдельно.

Таким образом, существующие исследования по данной проблематике преимущественно исследуют один или два сдерживающих масштабирование электротранспорта в стране фактора. При этом особое внимание уделяется именно электрозарядным станциям и не рассматривается весь комплекс элементов инфраструктуры. В научной литературе отсутствует методика оценки уровня готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта как в регионах, так и в целом по стране.

МЕТОДОЛОГИЯ

Целью настоящего исследования является проведение оценки готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург для электротранспорта.

В соответствии с поставленной целью предложена следующая методология исследования:

1. Выявить и проанализировать наиболее значимые факторы, влияющие на масштабирование электротранспорта.

¹ Российский рынок новых электромобилей в 2021 году вырос втрое. [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/news/50525/>. Доступ 22.05.2022.

² Развитие электромобильности: Этап II. [Электронный ресурс]: <https://events.kommersant.ru/events/elektromobilnost/>. Доступ 22.05.2022.

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р «Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJt.pdf>. Доступ 22.05.2022.



2. Определить критерии и показатели оценки готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта.

3. Определить вес каждого критерия оценки готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта.

4. Провести анализ текущего состояния инфраструктуры г. Санкт-Петербург и её готовности для внедрения электротранспорта.

5. Оценить уровень готовности элементов транспортной инфраструктуры для масштабирования электротранспорта.

Для решения задач исследования использованы методы анализа, синтеза, интегральной и экспертной оценки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ факторов, влияющих на масштабирование электротранспорта

В современных исследованиях, посвящённых распространению и популяризации электротранспорта, используются различные подходы к определению наиболее значимых факторов, влияющих на масштабирование электротранспорта.

Так, в исследовании Т. Йонга и Ч. Парка, посвящённом качественному сравнительному анализу факторов, влияющих на внедрение электромобилей, все факторы разделены на три группы: технологические факторы (автономность электромобилей, время зарядки, максимальная скорость, стоимость), политические факторы (все виды государственной поддержки), факторы окружающей среды (цены на топливо, потребительские характеристики, уровень развития инфраструктуры) [5].

Аналогичный подход используется в исследовании КМПГ, посвящённом уровню готовности стран к использованию беспилотного электротранспорта. В данном исследовании методика расчёта индекса готовности стран к использованию новых транспортных решений включает оценку четырёх компонентов: политика и законодательство, технологии и инновации, инфраструктура, уровень принятия потребителями⁴.

В исследовании С. Статароса и его соавторов главным фактором популяризации

электротранспорта является экономическая выгода потребителей [6]. Не менее важным фактором является популяризация экологичного образа жизни. Это подтверждается результатами опроса ВЦИОМа, которые показывают, что 50 % автовладельцев готовы при возможности пересесть на электромобиль. Главными причинами, определяющими их выбор, респонденты назвали экологичность и экономность эксплуатации электротранспорта, а также выгоду от использования электромобиля ввиду высокой стоимости бензина⁵.

Также существует подход, рассматривающий ВВП на душу населения и демографическую структуру населения в качестве важнейших факторов распространения электротранспорта наряду с развитием инфраструктуры и государственной поддержкой [7]. Аналогичного мнения придерживаются Д. Ю. Катаевский и Т. Р. Гареев, отмечая стоимость электромобиля и развитость зарядной инфраструктуры как первоочередные факторы для формирования потребительского предпочтения электромобиля автомобилю с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) [8].

В исследовании В. Б. Мошкова, В. В. Овчинникова, Д. В. Чернякова и других к факторам, влияющим на развитие электромобильного рынка, авторы относят государственную поддержку развития электромобилей и бизнеса электрического транспорта, наличие собственного производства электромобилей в стране, создание инфраструктуры зарядных станций и особые специфические российские условия эксплуатации электромобилей [2].

На основе анализа научных работ выделим факторы, влияющие на развитие и популяризацию электротранспорта:

- государственная поддержка развития электротранспорта;
- спрос на электротранспорт в коммерческом секторе;
- наличие собственного производства электротранспорта;
- уровень развития сети электрозарядных станций;
- научно-технический прогресс;

⁴ Индекс готовности стран к использованию автономного транспорта. [Электронный ресурс]: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2018/03/ru-ru-avri-index.pdf>. Доступ 25.05.2022.

⁵ Батарейка на колёсах: будущее аккумуляторов электромобилей. [Электронный ресурс]: <https://trends.rbc.ru/trends/green/62671a189a7947c85bb26f0f>. Доступ 02.06.2022.

- общемировой тренд на экологичность;
- переход на использование распределённой электроэнергетики;
- особенности организации транспортной инфраструктуры в регионе.

Государственная поддержка, по мнению многих авторов, является одним из важнейших факторов, влияющих на развитие электротранспорта [2; 5; 7]. К мерам государственной поддержки относятся различные способы стимулирования спроса на электротранспорт, например, субсидии на покупку электротранспорта, освобождение от налога на добавленную стоимость, освобождение от транспортного налога, организация бесплатных парковок, организация проезда по выделенным полосам и бесплатного проезда по платным дорогам. Также к мерам государственной поддержки необходимо отнести поддержку собственных производителей электротранспорта и субсидии на развитие сети электростанций (ЭЭС).

Наличие собственного производства в стране является важным фактором развития электротранспорта наряду с тенденцией к использованию распределённой электроэнергетики, так как электротранспорт не только потребляет энергию, но и накапливает её для дальнейшего распределения, что помогает сгладить дневные и ночные максимумы и минимумы в энергосистемах.

Спрос на электротранспорт в коммерческом секторе обусловлен как экономической выгодой, так и общемировым трендом на экологичность и сокращение углеродных выбросов. На протяжении жизненного цикла электромобили позволяют сократить суммарные выбросы CO_2 в атмосферу на 66–69 %⁶.

Перечисленные факторы играют существенную роль в развитии и популяризации электротранспорта, однако наиболее существенным фактором, определяющим темпы распространения электромобилей в стране, является наличие необходимой инфраструктуры [7]. Согласно исследованию КППМГ, минимум треть потенциальных потребителей электромобилей принимают решение о покупке на основании доступности зарядной инфраструктуры⁴.

⁶ Электрические автомобили оказались экологичнее традиционных с учётом их жизненного цикла. [Электронный ресурс]: <https://nplus1.ru/news/2021/08/04/comparison-of-life-cycle>. Доступ 22.05.2022.

Однако инфраструктура для электротранспорта не ограничивается ЭЭС. Транспортная инфраструктура представляет собой результат деятельности совокупности всех организаций, которые работают в транспортной сфере и обеспечивают эффективное выполнение и обслуживание транспортных перевозок [5]. Инфраструктура для электротранспорта состоит из следующих элементов:

- ЭЭС;
- автосервисы;
- информационные системы;
- производство электромобилей;
- предприятия рециклинга;
- улично-дорожная сеть и дорожное строительство.

При этом на масштабирование электротранспорта влияет не только количественное, но и качественное развитие всех элементов за счёт внедрения инноваций. Это подтверждается тем, что наибольший рост продаж электромобилей в ретроспективе был связан с изобретениями, улучшающими конструкцию и эксплуатационные характеристики электромобилей. Так, например, после изобретения нового типа батареи в 1986 году и появления гибридных автомобилей, комбинирующих традиционный двигатель внутреннего сгорания и электрический двигатель, объёмы продаж электромобилей возросли более чем в пять раз. Новую популярность электромобили получили с началом выпуска электромобилей Tesla в 2008 году, после чего многие автопроизводители обратили внимание на этот сегмент рынка и начали собственное производство электромобилей⁷.

Актуальные направления инновационного развития элементов инфраструктуры электротранспорта представлены на рис. 1.

Так как большинство выделенных факторов масштабирования электротранспорта напрямую или косвенно связано именно с инфраструктурной обеспеченностью, то для достижения стратегических целей увеличения доли электромобилей в России в общем объёме используемого транспорта, необходимо, в первую очередь анализировать готовность транспортной инфраструктуры региона к обслуживанию транспортных средств данного типа.

⁷ Global EV Data Explorer. [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>. Доступ 29.05.2022.





Рис. 1. Направления инновационного развития элементов инфраструктуры для электротранспорта [выполнено авторами].

Методика оценки готовности транспортной инфраструктуры региона для электротранспорта

В соответствии с факторами, влияющими на развитие и популяризацию электротранспорта, выделим критерии оценки готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта: обеспеченность ЭЭС, уровень локализации производства ЭЭС, структура сети ЭЭС, обеспеченность автосервисами, обучение персонала, информационная инфраструктура, организация производства, инновации, уровень развития рециклинга, доступность улично-дорожной сети, государственная поддержка, инвестиции. Вес каждого критерия был определен на основании оценки шести экспертов: отраслевых специалистов, а также научных сотрудников и преподавателей Национального исследовательского университета ИТМО, занимающихся вопросами развития электротранспорта в Российской Федерации.

Для каждого критерия были определены показатели оценки и их целевые значения на основе анализа зарубежного опыта, результатов аналитических исследований и стратегических документов (табл. 1).

Целевым значением обеспеченности электромобилей необходимым количеством ЭЭС установлено наличие одной ЭЭС на десять электромобилей. В исследовании, посвященном мировому сравнению показателей транспортной инфраструктуры для электротранспорта, средним показателем для Азии является одна ЭЭС на восемь электромобилей, для Европы – одна ЭЭС на 20 электромобилей, для Японии – одна ЭЭС на десять электро-

билей, для США – одна ЭЭС на 29 электромобилей⁸. В концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации до 2030 года целевым уровнем является одна ЭЭС на десять электромобилей³. Д. Ю. Каталевский и Т. Р. Гареев также считают оптимальным показателем одна ЭЭС на десять электромобилей [8]. В упомянутом выше исследовании, посвященном мировому сравнению показателей транспортной инфраструктуры для электротранспорта, средним показателем количества ЭЭС на один миллион населения для Азии является 3900 ЭЭС, для Европы – 2200, для Японии – 150, для США – 980⁸.

Целевым значением уровня локализации производства ЭЭС является 70 % ЭЭС российского производства³. Соответствующий уровень был установлен в Постановлении Правительства РФ от 03.12.2020 г. № 2014 «О минимальной обязательной доле закупок российских товаров и её достижении заказчиком»⁹.

Целевым значением соотношения быстрых и медленных ЭЭС является соотношение 2:3. Д. Ю. Каталевский и Т. Р. Гареев в своём исследовании оптимальной структуры сети ЭЭС считают соотношение 1:4 [8], однако в Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта целевым уровнем медленных ЭЭС является 60 %³.

Целевым значением количества электромобилей на один автосервис является 30 электромобилей на один автосервис. Количество гибридных машин и электромобилей, обратившихся за сервисным обслуживанием в 2021 году, составило 3500 единиц¹⁰. При этом общее количество автомобилей, обратившихся за сервисным обслуживанием в 2021 году, составило один миллион автомо-

⁸ How to build an electric vehicle city: deploying charging infrastructure. [Электронный ресурс]: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-build-an-electric-vehicle-city-deploying-charging-infrastructure?language=en_US. Доступ 29.05.2022.

⁹ Постановление Правительства РФ от 03.12.2020 г. № 2014 (ред. от 16.05.2022) «О минимальной обязательной доле закупок российских товаров и её достижении заказчиком». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370114. Доступ 22.05.2022.

¹⁰ Электромобили: за и против. [Электронный ресурс]: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ehlektromobili-za-i-protiv>. Доступ 22.05.2022.

Таблица 1

**Критерии и показатели оценки готовности транспортной инфраструктуры
для электротранспорта [выполнено авторами]**

Элемент инфраструктуры	Критерий оценки	Показатель оценки	Целевое значение	Вес критерия
ЭЭС	Обеспеченность ЭЭС	Количество электромобилей на 1 ЭЭС, шт.	10	0,4
		Количество ЭЭС на 1 миллион человек населения, шт.	200	
	Уровень локализации производства ЭЭС	Доля ЭЭС российского производства, %	70 %	0,4
	Структура сети ЭЭС	Соотношение быстрых и медленных ЭЭС	2:3	0,2
Автосервисы	Обеспеченность автосервисами	Количество электромобилей на 1 автосервис, шт.	30	0,5
	Обучение персонала	Наличие обучающих программ по обслуживанию электромобилей	Да	0,5
Информационные системы	Информационная инфраструктура	Наличие приложений по поиску и анализу зарядных станций	Да	1
		Индекс развития ИКТ	>0,5	
Производство	Организация производства	Количество организаций-производителей электромобилей, шт.	>1	0,6
		Количество организаций-производителей электротранспорта, шт.	>1	
		Количество готовых к производству образцов, шт.	>3	
	Инновации	Уровень изобретательской активности региона	>3,5	0,4
Рециклинг	Уровень развития рециклинга	Количество организаций, реализующих технологии рециклинга, шт.	>1	1
		Доля аккумуляторов на переработку, %	90 %	
Улично-дорожное строительство	Доступность улично-дорожной сети	Наличие выделенных полос для электротранспорта	Да	0,3
	Государственная поддержка	Наличие бесплатных парковок для электротранспорта	Да	0,4
		Наличие льготного проезда по платным внутригородским дорогам и участкам федеральных трасс	Да	
Инвестиции	Доля инвестиций на развитие электротранспорта в общем объёме инвестиций на транспортную инфраструктуру, %		5 %	0,3

билей. Общее количество электромобилей на конец 2021 года составило 10836 единиц¹¹.

Целевым значением уровня изобретательской активности региона с учётом полезных моделей является 3,5 [6]. Целевым значением уровня рециклинга является 90 %¹¹. Согласно директивам Европейской комиссии начиная

с 2015 года в ЕС при утилизации автомобилей минимум 85 % должен составлять рециклинг материалов, 5 % может составлять захоронение материалов, переработка аккумуляторов должна составлять минимум 50 % веса батареи [9]. Однако средний показатель эффективности переработки литий-ионных аккумуляторов за 2019 год достиг 74,5 %, в 2020 году – 80,1 %¹², поэтому сейчас идёт обсуждение новых правил с увеличением процентных

¹¹ Электромобилизация страны. Как в России будут развивать экологически чистый транспорт. [Электронный ресурс]: https://tass.ru/transport/13593109?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru. Доступ 02.06.2022.

¹² Переработка литий-ионных аккумуляторов. [Электронный ресурс]: <https://rocla.ru/>. Доступ 29.05.2022.



показателей утилизации различных элементов и использованием новых технологий⁵.

Целевым значением доли инвестиций на развитие электротранспорта в общем объёме инвестиций на транспортную инфраструктуру является 5 %. Согласно отчёту «Транспорт и окружающая среда» (Transport & Environment), опубликованному Европейской федерацией транспорта и окружающей среды, в 2020 году доля инвестиций в инфраструктуру для электротранспорта в ЕС составила 1 %. С текущими темпами инвестиций в инфраструктуру для электротранспорта и в дорожно-транспортную инфраструктуру ожидаемая доля инвестиций увеличится до 3 % в 2025 году и до 5 % в 2030 году¹³.

Для получения оценки по каждому критерию фактические значения показателей соотносятся с целевыми значениями, после чего используется равновзвешенный подход. Оценка каждого элемента инфраструктуры рассчитывается как средневзвешенная оценка с учётом важности критериев оценки:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

где R – средневзвешенная оценка элемента инфраструктуры;

A_i – оценка критерия;

w_i – вес критерия;

n – количество критериев для оценки элемента.

Для получения итоговой оценки готовности транспортной инфраструктуры региона для электротранспорта суммируются оценки каждого элемента, поэтому итоговая оценка находится в диапазоне от 0 до 6.

Оценка готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург для электротранспорта

В целях оценки готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург для использования электротранспорта необходимо, прежде всего, провести анализ текущего состояния её элементов в Санкт-Петербурге и России в целом и определить фактические значения установленных показателей.

¹³ Transport & Environment. European Federation for Transport and Environment AISBL, 2020. [Электронный ресурс]: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/01_%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf. Доступ 02.06.2022.

В Санкт-Петербурге общее количество зарегистрированных электромобилей в 2021 году составило 417 единиц, при этом за 2021 год было зарегистрировано 255 электромобилей¹⁴.

В Санкт-Петербурге и Ленинградской области действуют 83 зарядные станции (43 – медленные ЭЗС, 40 – быстрые ЭЗС), из них 46 зарядных станций эксплуатируются ПАО «Россети Ленэнерго» (10 – медленные ЭЗС, 36 – быстрые ЭЗС), 37 зарядных станций установлены и эксплуатируются иными организациями (33 из них – медленные ЭЗС, 4 – быстрые ЭЗС)¹⁵. На 12 марта 2022 года в России сертифицировано более десяти производителей ЭЗС, часть из которых уже функционируют («ФОРА ЭЗС – DC», «ФОРА ЭЗС – AC», «ИЭЗС-СКТ», «E-prom), однако на данный момент уровень локализации в Москве и Санкт-Петербурге не превышает 10 %¹¹.

В Санкт-Петербурге действует 30 автосервисов, предоставляющих услуги по ремонту и сервисному обслуживанию гибридных и электрокаров. Также действует восемь сервисов, осуществляющих послегарантийный ремонт автомобилей Tesla, 18 сервисов – Nissan Leaf, 18 сервисов – BMW i3. Обучающие программы по подготовке специалистов, предоставляющих услуги по сервисному обслуживанию электротранспорта, представлены в колледжах и вузах (техникум «Автосервис», Академия транспортных технологий), центрах профессиональной подготовки и повышения квалификации (Академия EuroAuto), а также реализуются в виде обучающих курсов на базе инжиниринговых центров (инжиниринговый научно-образовательный центр SMART).

В России отечественные информационные системы могут в полном объёме обеспечить спрос производителей и потребителей электротранспорта, так как на рынке существуют все необходимые программные продукты, в том числе программы по управлению сетями ЭЗС, отслеживанию уровня зарядки электромобиля и поиску свободной

¹⁴ Российский рынок новых электромобилей в 2021 году вырос втрое. [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/news/50525>. Доступ 22.05.2022.

¹⁵ Число зарядных станций для электромобилей в Петербурге увеличится в 2,5 раза. [Электронный ресурс]: <https://spbnevnik.ru/news/2022-02-03/chislo-zaryadnyh-stantsiy-dlya-elektromobiley-v-peterburge-velichitsya-v-25-raza>. Доступ 29.05.2022.

ЭЗС. На территории Санкт-Петербурга доступны к скачиванию более 15 приложений по поиску и анализу зарядных станций, например, Charge Map, PlugShare, NextCharge, «Заряд и парковка», PlugMe, IT Charge, Zevs. Данные приложения позволяют не только найти ближайшую ЭЗС на карте, но и оплатить зарядку и зарезервировать парковочное место. Индекс развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в 2020 году составил 0,511, при этом уровень доступа к ИКТ равен 0,671, а уровень использования ИКТ равен 0,803 [10].

В России существует производство электротранспорта, но до недавнего времени отсутствовало серийное производство электромобилей. Это связано с отсутствием отечественного производства конструктивных элементов и электроники, а также недостаточным объёмом добычи необходимых природных ресурсов. Наиболее крупным производителем электротранспорта в Санкт-Петербурге является ООО «ПК Транспортные системы» (производство моделей 71-911 «Сити-Стар», 71-911Е, 71-923 «Богатырь», 71-922 «Варяг», 71-931 «Витязь», 71-931 М «Витязь-М»). В сегменте электромобилей был реализован ряд проектов по подготовке моделей электрокаров, самым успешным из которых является создание «КАМА-1» на базе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, выполненный в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы»³. Данная действующая модель находится в процессе подготовки к серийному производству, выпуск запланирован в 2024–2025 годы [4]. Уровень изобретательской активности в 2021 году составил 3,23, а с учётом полезных моделей – 4,79. За период 2011–2021 годов в России было запатентовано 50 решений, связанных с развитием электротранспорта, которые включают в себя варианты исполнения зарядных станций, а также систем и способов управления зарядными станциями и зарядом аккумулятора, а также дистанционного управления и идентификации пользователей [11].

В электромобилях используются литий-ионные батареи, в среднем в каждом аккумуляторе 95–96 % материалов является возвращаемым сырьём, которое можно повторно

использовать в производстве. Переработкой литий-ионных аккумуляторов в мире занимается около сотни компаний¹⁶. Но в России рециклинг на данный момент является мало развитым, так как отсутствуют возможности по коммерчески выгодной законной утилизации литий-ионных аккумуляторов, а также механизмы контроля утилизации электромобилей. При этом рынок рециклинга является малопривлекательным для инвесторов ввиду недостаточного спроса на комплектующие электромобилей, получаемые в результате утилизации. В Санкт-Петербурге организаций рециклинга пока нет.

Улично-дорожное строительство подразумевает значительные капитальные затраты и лицензирование иностранных технологий, но при этом на данный момент отсутствует достаточный спрос для специализации улично-дорожного строительства на элементах инфраструктуры для электротранспорта. В Санкт-Петербурге для владельцев электромобилей существует возможность их бесплатного размещения в зоне платной парковки, ею можно воспользоваться при оформлении парковочного разрешения на электромобиль. Данную возможность уже реализовали 349 человек¹¹. В то же время отсутствует возможность проезда по выделенной полосе и льготного проезда по платным участкам внутригородских дорог и региональным участкам федеральных трасс [2]. Однако в рамках поддержки спроса в 2022 году планируется реализация пилотного проекта по отмене платы за проезд на платных дорогах для электромобилей³. Ожидаемый объём инвестиций для реализации региональных программ по развитию транспортной инфраструктуры для электромобилей за 2020–2023 годы составит не менее 70 млн рублей¹⁵.

На рис. 2 представлено актуальное состояние структурных элементов транспортной инфраструктуры для электротранспорта, где отмечены уже достаточно развитые, имеющие потенциал к развитию, а также имеющие существенные ограничения для развития в России элементы.

Согласно рис. 2, из элементов инфраструктуры в России лучше всего развиты ЭЗС и информационные системы, что об-

¹⁶ Китай делает бизнес на переработке Li-Ion, а почему другие нет? [Электронный ресурс]: https://neovolt.ru/blog/1045_pererabotka-li-ion-akkumulyatorov-v-kitae. Доступ 22.05.2022.





Рис. 2. Анализ развитости элементов инфраструктуры для электротранспорта в РФ [выполнено авторами].

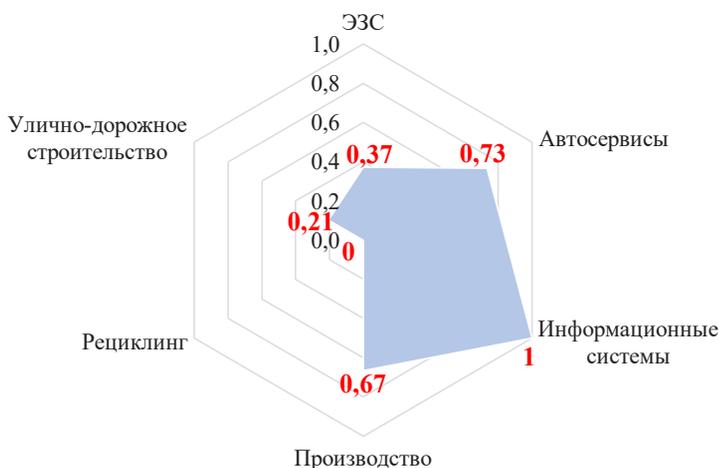


Рис. 3. Оценка готовности элементов транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербурга для электротранспорта [выполнено авторами].

условлено наличием соответствующих технологий и разработок на российском рынке. Менее всего развиты улично-дорожное строительство и рециклинг, а также автосервисы, что связано с отсутствием достаточного спроса на электромобили со стороны покупателей. Однако увеличение парка электрокаров до 1,4 миллиона единиц к 2030 году³ должно предусматривать модернизацию и адаптацию транспортной инфраструктуры под увеличившийся объём электромобилей. Для этого важно количественно оценить уровень готовности к масштабированию транспортной инфраструктуры конкретных регионов, в данном случае, г. Санкт-Петербург.

Расчёт итоговой оценки уровня готовности транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург, согласно предложенной методике, представлен в табл. 2.

Итоговая оценка уровня готовности элементов инфраструктуры для электротранспорта представлена на рис. 3.

Согласно результатам анализа, высокий уровень готовности отмечается у таких элементов, как «Информационные системы», «Автосервисы», «Производство», низкий уровень готовности – «ЭЭС», «Улично-дорожное строительство», «Рециклинг». Итоговая оценка уровня готовности инфраструктуры для электротранспорта составила 2,98 или 49,67 % от максимальной оценки, что говорит о среднем уровне готовности инфраструктуры для электротранспорта и необходимости реализации комплексных мер по её повышению.

ВЫВОДЫ

В результате проведённого анализа была получена общая оценка готовности транспортной инфраструктуры к масштабированию.

**Расчёт итоговой оценки готовности транспортной
инфраструктуры [выполнено авторами]**

Элемент инфра-структуры	Критерий оценки	Показатель оценки	Целевое значение	Факт	Интегральная оценка критерия	Вес критерия	Оценка элемента
ЭЭС	Обеспеченность ЭЭС	Количество электромобилей на 1 ЭЭС, шт.	10	5	0,288	0,4	0,37
		Количество ЭЭС на 1 миллион человек населения, шт.	200	15			
	Уровень локализации производства ЭЭС	Доля ЭЭС российского производства, %	70 %	10 %	0,143	0,4	
	Структура сети ЭЭС	Соотношение быстрых и медленных ЭЭС	0,67	0,93	1	0,2	
Автосервисы	Обеспеченность автосервисами	Количество электромобилей на 1 автосервис, шт.	30	14	0,467	0,5	0,73
	Обучение персонала	Наличие обучающих программ по обслуживанию электромобилей	1	1	1	0,5	
Информационные системы	Информационная инфраструктура	Наличие приложений по поиску и анализу зарядных станций	1	1	1	1	1
		Индекс развития ИКТ	0,5	0,51			
Производство	Организация производства	Количество организаций-производителей электротранспорта, шт.	1	3	0,444	0,6	0,67
		Количество организаций-производителей электромобилей, шт.	1	0			
		Количество готовых к производству образцов, шт.	3	1			
	Инновации	Уровень изобретательской активности региона	3,5	4,79	1	0,4	
Рециклинг	Уровень развития рециклинга	Количество организаций, реализующих технологии рециклинга, шт.	1	0	0	1	0
		Доля аккумуляторов на переработку, %	90 %	0 %			
Улично-дорожное строительство	Доступность улично-дорожной сети	Наличие выделенных полос для электротранспорта	1	0	0	0,3	0,21
	Государственная поддержка	Наличие бесплатных парковок для электротранспорта	1	1	0,5	0,4	
		Наличие льготного проезда по платным внутригородским дорогам и участкам федеральных трасс	1	0			
	Инвестиции	Доля инвестиций на развитие электротранспорта в общем объёме инвестиций на транспортную инфраструктуру, %	5 %	0,09 %	0,018	0,3	
Итоговая оценка							2,98





нию электротранспорта, а также получены оценки каждого элемента инфраструктуры.

Для успешного масштабирования транспортной инфраструктуры для электротранспорта необходимо привлекать больше инвестиций в те области, которые получили наименьшее количество баллов. Недостаточное количество ЭЗС на сегодняшний день является важнейшим сдерживающим фактором распространения электромобилей, поэтому необходима работа над их увеличением с использованием следующих инструментов: партнёрство с бизнесом, операторами АЗС и региональными энергетическими операторами для установки частных ЭЗС, участие во втором этапе реализации проекта Правительства, проводимого в рамках концепции по развитию производства и использования электротранспорта в РФ до 2030 года, информационная и административная поддержка российских производителей ЭЗС, содействие в заключении трёхсторонних контрактов между региональными органами власти, бизнесом и российскими производителями ЭЗС.

Содействие повышению уровня локализации ЭЗС и рост количества ЭЗС должны сопровождаться организацией производства электродвигателей, аккумуляторов, а также реализацией проекта по безопасной утилизации аккумуляторов для достижения целевого уровня рециклинга. Необходимо масштабировать существующий опыт российских компаний с привлечением современных научных разработок.

Для успешного развития улично-дорожной сети можно использовать зарубежные практики как пример реализации масштабных инфраструктурных проектов (например, обеспечение ЭЗС всех скоростных магистралей).

Разработанная методика может быть использована для оценки уровня готовности транспортной инфраструктуры для электротранспорта как в регионах, так и в целом по Российской Федерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев А. Н., Сазонов М. В. Перспективы развития электротранспорта // Символ науки: международный научный журнал. – 2020. – № 12 (1). – С. 29–31. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44389628>. Доступ 22.05.2022.
2. Мошков В. Б., Овчинников В. В., Баранник А. Ю., Черняков Д. В. [и др.] Предпосылки и тенденции развития электромобилей // Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18. – № 2 (68). – С. 14–19. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46170329>. Доступ 22.05.2022.
3. Демидов Д. И., Пугачёв В. В. Прогноз глобального развития электротранспорта и инфраструктуры электрических заправочных станций // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – С. 173–178. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41288910>. Доступ 22.05.2022.
4. Санатов Д. В., Абакумов А. М., Айдемиров А. Ю., Боровков А. И. [и др.]. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад / Под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Книгинина. – СПб.: Политех-Пресс, 2021. – 44 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46443315>. Доступ 22.05.2022.
5. Yong, Taeseok; Park, Chankook. A qualitative comparative analysis on factors affecting the deployment of electric vehicles. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 497–503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.066>.
6. Statharas, S., Moysoglou, Ya., Siskos, P., Zazias, G., Capros, P. Factors Influencing Electric Vehicle Penetration in the EU by 2030: A Model-Based Policy Assessment. *Energies*, 2019, Vol. 12, pp. 2739. DOI: 10.3390/en12142739.
7. Campisi, T., Ticali, D., Ignaccolo, M., Tesoriere, G., Inturri, G., Torrisi, V. Factors influencing the implementation and deployment of e-vehicles in small cities: a preliminary two-dimensional statistical study on user acceptance. *Transportation Research Procedia*, 2022, Vol. 62, pp. 333–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.042>.
8. Каталевский Д. Ю., Гареев Т. Р. Имитационное моделирование для прогнозирования развития автомобильного электротранспорта на уровне региона // Балтийский регион. – 2020. – Т. 12. – № 2. – С. 118–139. DOI: 10.5922/2079-8555-2020-2-8.
9. Кормишкина Л. А., Кормишкин Е. Д., Королева Л. П., Колосков Д. А. Рециклинг ресурсов в современной России: необходимость, проблемы и перспективы развития // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2018. – Т. 11. – № 5. – С. 155–170. DOI: 10.15838/esc.2018.5.59.10.
10. Касимова Т. М., Магомедова С. Р., Рабаданова М. Г. Оценка уровня развития информационно-коммуникационных технологий и его влияния на региональную экономику // *Фундаментальные исследования*. – 2021. – № 5. – С. 13–18. [Электронный ресурс]: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=43032>. Доступ 01.06.2022.
11. Проценко Н. В., Малоземов Б. В., Дмитриева Ю. В., Кузнецов С. А. Необходимость выявления и патентования перспективных решений в области электрического транспорта // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2021. – № 4 (53). – С. 36–48. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-4-36-48.

Информация об авторах:

Кайзер Екатерина Витальевна – магистрант факультета технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, semina_e_v@mail.ru.

Лебедева Анна Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, aslebedeva@itmo.ru.

Статья поступила в редакцию 24.06.2022, одобрена после рецензирования 08.07.2022, принята к публикации 12.07.2022.



Диагностика подсистем цепей поставок материально-технических ресурсов железнодорожным транспортом в Оренбургской области



Евгения ТАРАСЕНКО



Владимир ЕЛИСЕЕВ

*Евгения Алексеевна Тарасенко ¹,
Владимир Николаевич Елисеев ²*

¹ Оренбургский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия.

^{1,2} Оренбургский институт путей сообщения – филиал СамГУПС, Оренбург, Россия.

✉ ¹t_e_a_t@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Процесс доставки материально-технических ресурсов на предприятия является важнейшим условием для бесперебойного и производительного функционирования субъектов экономической деятельности. Поэтому важно обращать внимание не только на количество закупок и рациональное использование этих ресурсов, но и на продолжительность доставки на предприятия, время нахождения в пути. Задержка поставок необходимых ресурсов может привести к снижению эффективности процессов производства, что, в дальнейшем непременно повлечёт за собой убытки предприятий.

Эта проблематика является актуальной не только на уровне отдельных бизнес-структур и организаций или в

масштабах транспортной системы страны, но и в региональном аспекте.

В данной статье на примере Оренбургской области рассматриваются не только общие вопросы развития регионального транспортно-логистического комплекса, но и особенности железнодорожных перевозок.

В качестве рекомендаций предложена классификация подсистем управления цепями поставок по основным признакам деятельности, что в дальнейшем предполагает проведение детальной диагностики для выявления причин проявления признаков неэффективности железнодорожных перевозок и их оперативного устранения.

Ключевые слова: транспорт, перевозки, цепи поставок, кадры, инфраструктура, грузовладельцы, диагностика, региональная транспортно-логистическая система.

Источники финансирования: статья подготовлена в рамках плана НИР Института экономики УрО РАН на 2021–2023 гг.

Для цитирования: Тарасенко Е. А., Елисеев В. Н. Диагностика подсистем цепей поставок материально-технических ресурсов железнодорожным транспортом в Оренбургской области // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-8>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.



ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт заслуженно пользуется популярностью во всём мире не только среди грузовладельцев и грузополучателей, но и среди пассажиров (см., напр.: [1; 2]).

При этом в современном мире, в формате рыночных отношений, когда деятельность коммерческих предприятий нацелена не столько на удовлетворение ценности потребителей, сколько на получение собственной выгоды, и несмотря на то, что прибыль во многом зависит от удовлетворения спроса клиентов, не исключён риск принятия руководителями решений, которые могут привести к снижению качества предоставляемых перевозочных услуг.

В связи с этим появилась проблема формирования и развития систем управления цепями поставок с использованием диагностики всех её компонентов, затрагивающих участников перевозочного процесса.

Решение этой задачи требует тщательной подготовки, сбора огромного количества материала. Порой это является довольно затруднительным по причине того, что участниками цепей поставок являются субъекты экономической деятельности различного организационно-правового статуса, и ввиду того, что формат и объёмы доступной информации разнятся.

В процессе подготовки статьи авторы ставили *цель* раскрыть основные причины сбоя и задержек поставок материально-технических ресурсов, а также представили разработку подсистем управления перевозочным процессом, позволяющую в дальнейшем проводить диагностику всех участников и уровней цепи поставок.

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований по проблемам железнодорожных перевозок в Оренбургской области были использованы следующие *методы*: сбор данных о количественных и качественных показателях работы данной сферы, проведён сравнительный анализ различных видов транспорта с целью определения позиций железнодорожных перевозок на рынке транспортных услуг. Кроме того, был проведён SWOT-анализ характеристик Оренбургской области, связанных со сферой транспорта и логистики, чтобы определить, каким образом они могут оказывать влияние на перевозочную деятельность железнодорожного транспорта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью определения сильных и слабых сторон особенностей Оренбургской области, связанных с транспортно-логистическим сектором, в частности, железнодорожным транспортом, а также для выявления возможностей и угроз авторами был проведён SWOT-анализ (табл. 1).

В целом в Оренбургской области достаточно благоприятные условия для перевозочной деятельности, в том числе для деятельности железнодорожного транспорта.

В представленном в июне 2022 года на общественное обсуждение проекте «Стратегии развития Оренбургской области на период до 2030 года», отмечается, что область является «одним из наиболее интегрированных с казахстанскими партнёрами российских регионов, в том числе по технологическим цепочкам». Подчёркивается её расположенность на пересечении двух крупных транспортных коридоров – «Европа–Западный Китай» и «Север–Юг». Кроме того, через неё проходит самый короткий путь через Центральную Азию на Иран и далее на Индию и страны Персидского Залива. Это является предпосылками для реализации транзитного потенциала области¹.

Что касается железнодорожных перевозок, то так как Оренбургская область расположена на границе с Республикой Казахстан, а также имеет возможности сообщения с Китайской Народной Республикой, можно предположить, что они являются перспективными для транспортного обеспечения сотрудничества с этими странами при условии закупки у этих стран некоторых видов ресурсов: например, при поставках из Республики Казахстан дешёвого топлива, а из КНР – большого ассортимента принадлежностей для потребительских нужд, например, канцелярских товаров и офисной техники.

Наличие крупных промышленных предприятий подразумевает возможную отправку в другие города и области по железной дороге полезных ископаемых, включая каменный уголь, кокс, железные и марганцевые руды, продукты чёрной металлургии. Следует также учитывать, что, как отмечается в проекте стратегии развития области, на её долю приходится 100 процентов производящегося в стране сжиженного гелия,

¹ Стратегия развития Оренбургской области на период до 2030 года. Проект. [Электронный ресурс]: https://www.economy.gov.ru/material/file/6a52661b0123d0507aef907cec7d894/proekt_strategii.pdf. Доступ 06.07.2022.

SWOT-анализ основных характеристик Оренбургской области, влияющих на развитие железнодорожных перевозок [разработан авторами]

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Удобное географическое расположение области, близость к Республике Казахстан. 2. Достаточная степень развития агропромышленного комплекса. 3. Развитая транспортная сеть, удобство подъездных путей к объектам инфраструктуры. 4. Наличие промышленных предприятий.	1. Недостаточное развитие кадрового потенциала. 2. Отсутствие логистических распределительных центров и складов на территории области. 3. Недостаточное финансовое обеспечение региона. 4. Особенности климатических условий.
Возможности	Угрозы
1. Сотрудничество с Республикой Казахстан и КНР. 2. Добыча полезных ископаемых с последующим сбытом в соседние регионы.	1. Угроза загрязнения воздуха, связанная с промышленной деятельностью. 2. Отток населения ввиду отсутствия занятости. 3. Прогрессирующее истощение водных ресурсов.

одоранта и электролитического хрома высокой чистоты. Кроме того, область располагает и значительным потенциалом для расширения несырьевого сектора региональной экономики¹.

Особенности развития агропромышленного комплекса Оренбургской области позволяют обеспечивать объёмы перевозок в разное время года, отмечается «ежегодный рост экспорта сельскохозяйственной продукции»¹. Вместе с тем, на региональные перевозки влияет фактор сезонности. Например, доставка летнего урожая арбузов из города Соль-Илецка повышает уровень региональных перевозок, по данным Статистического ежегодника Оренбургской области (2021 год), на 2 %².

Вместе с тем, на территории Оренбургской области в настоящий момент не существует эффективно функционирующей единой транспортно-логистической системы, которая предполагает наличие логистического центра вместо действующих отдельных небольших предприятий, оказывающих перевозочные услуги.

В государственной программе «Развитие транспортной системы Оренбургской области» отмечается, что «несмотря на благоприятные тенденции в развитии отдельных видов транспорта, транспортная система не в полной мере отвечает существующим потребностям и перспективам развития» региона³. В числе причин

названы несбалансированное и несогласованное развитие отдельных видов транспорта и транспортной инфраструктуры.

В этой связи актуальной является задача развития транспортного комплекса, формирования межрегионального логистического кластера. Эта возможность обозначена в числе ключевых в проекте стратегии развития области. В частности, планируется, что строительство автодорожной инфраструктуры в рамках проекта «Новый Шёлковый путь» позволит создать в области важный мультимодальный узел. Для этого, необходимо последовательное устранение ключевых узких мест региональной дорожной сети и совершенствование инфраструктуры пропускных пунктов. Это будет содействовать созданию условий «для перераспределения грузопотока в пользу области, перетягивания в регион грузоперевозок и грузоперевозчиков»¹.

Создание единой транспортно-логистической системы будет в целом способствовать дальнейшему усилению привлекательности Оренбургской области на национальном рынке, позиционируя её «как крупный торговый, образовательный, культурный и административно-деловой центр» [3]. Более того, потенциально транспортно-логистический комплекс может стать одним из ключевых секторов региональной экономики и позволит области играть роль важного транспортного узла на пересечении транспортных коридоров «Европа–Западный Китай» и «Север–Юг»¹.

Но необходимо учитывать и ряд других факторов.

В частности, на развитие транспортной системы области оказывает влияние «продолжающийся отток населения, в особенности с восточной части области»¹. Следствиями этого являются, в частности, потеря ключевых ком-

² Статистический ежегодник Оренбургской области. 2021 г.: Стат. сб. / Оренбург: Оренбургстат., 2021. – 516 с. [Электронный ресурс]: https://orenstat.gks.ru/storage/document/document_statistic_collection/2021-12/30/Ежегодник_2021.pdf. Доступ 06.07.2022.

³ Постановление Правительства Оренбургской области от 29.12.2018 г. № 916-пп «Об утверждении государственной программы «Развитие транспортной системы Оренбургской области» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=153108768&backlink=1&nd=153123737>. Доступ 06.07.2022.





петенций в разных отраслях и увеличение нагрузки «на содержание социальной и транспортной инфраструктуры»¹.

Риски непосредственно в сфере кадрового обеспечения железнодорожного транспорта связаны с потенциальным недостатком работников, обладающих необходимой квалификацией, привлечением молодых специалистов [3, с. 115–116].

На снижение времени доставки материально-технических ресурсов на предприятиях железнодорожного транспорта наибольшее влияние оказывает общее время нахождения транспорта в пути. Сюда также включается простой вагонов и локомотивов на станциях во время погрузочно-разгрузочных, ремонтных, эксплуатационных и маневровых операций.

Одной из основных проблем транспортной инфраструктуры является высокая степень износа основных производственных фондов. Например, что касается автомобильного транспорта в Оренбургской области, то «по отдельным группам износ достигает 50–80 %, что влияет на пропускную способность дорог и требует постоянного притока инвестиций для ремонта и модернизации»³ [4]. Проблемы износа, в том числе подвижного состава, характерны в разной степени и для железнодорожных предприятий Оренбургской области. Также немаловажным фактором является текущее содержание инфраструктуры и подвижного состава (см., напр.: [5]), поддержание их в работоспособном состоянии.

Внимание должно уделяться и повышению безопасности железнодорожных переездов, несоблюдение правил проезда которых несёт риски нарушений железнодорожного движения.

Важно отметить и ещё один весьма актуальный фактор. Транспортно-логистический комплекс области нуждается в ускоренном внедрении цифровых технологий. Это важно как применительно к развитию области⁴, так и для транспортной отрасли в целом⁴, и для железнодорожного транспорта⁵ (напр.: [6]), как на национальном уровне, так и в масштабах области.

⁴ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZiOOpQhLl0nUT91RjCbEr.pdf>. Дата доступа 06.07.2022.

⁵ Совет директоров ОАО «РЖД» утвердил стратегию цифровой трансформации. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=184629>. Дата доступа 06.07.2022.

Вышеуказанное позволяет сделать вывод, что при оптимизации действующей системы управления цепями поставок в рамках транспортно-логистической системы области необходимо учитывать совокупность указанных факторов.

Кроме того, внимания как факторы эффективности реализации поставок заслуживают вопросы сохранности грузов, в том числе их правовые аспекты (напр.: [7–9]), комбинированных перевозок (напр.: [10]), тарификации и ценообразования (напр.: [11]).

Рекомендации по совершенствованию перевозок на железнодорожном транспорте

Учитывая, что по показателям погрузки и грузооборота железнодорожный транспорт Оренбуржья занимает одно из ведущих мест в Приволжском федеральном округе, а среди региональных структур России входит в десятку крупнейших, а также то, что доля перевезённых грузов железнодорожным транспортом в общем объёме грузоперевозок по области составляет около 67 %, а грузооборота – 95,3 %⁶, наибольшее значение имеют предложения в отношении железнодорожных перевозок.

По результатам проведённого анализа можно предположить, что риски негативного влияния на железнодорожные перевозки предопределяются рядом факторов, которые могут препятствовать развитию перевозочной деятельности и непрерывному функционированию цепей поставок ввиду недостаточной устойчивости.

Основой для этого послужил ряд исследований авторов, касающихся классификации объектов управления цепями поставок, интегрированных потоков ресурсов, классификации процессов, сопровождающих отдельные потоки, и их устойчивости [12], управления логистическими процессами [13], управления цепями поставок на уровне территориальных подразделений железной дороги [3; 14], работы других учёных в сфере управления цепями поставок [15].

Вопросам диагностики эффективности цепей поставок в целом, без акцента на транспортном звене, уделяют внимание специализирующиеся на этом зарубежные компании⁷, очень

⁶ Сайт Правительства Оренбургской области. Транспорт. [Электронный ресурс]: <https://orenburg-gov.ru/activity/1651/>. Доступ 06.07.2022.

⁷ Напр., Supply chain diagnostic: improving processes. [Электронный ресурс]: <https://www.mecalux.com/blog/supply-chain-diagnostic>. Доступ 06.07.2022.

Параметры подсистем управления перевозками на железнодорожном транспорте
[доработано авторами на основе [3, с. 140–141]]

Вид устойчивости	Клиенты	Бизнес-процессы	Финансы	Персонал
Экономическая	- объём перевозок; - ассортимент оказываемых услуг; - количество клиентов; - уровень логистического сервиса	- выполнение планов по перевозкам; - наличие складов и подъездных путей; - скорость выполнения заказов на перевозку	- объём прибыли от перевозочной деятельности; - маржинальная прибыль; - уровень дебиторской задолженности	- количество сотрудников; - средний уровень оплаты труда; - уровень производительности труда
Экологическая	- соответствие услуг экологическим стандартам; - количество случаев задержки доставки;	- выброс вредных веществ в окружающую среду; - уровень шума, вибрации, радиации; - соблюдение мер санитарии на рабочих местах	- затраты на средства охраны окружающей среды; - компенсация неработоспособности персонала по причинам нарушения стандартов экологии; - штрафы и выплаты за несоблюдение требований к охране окружающей среды	- соблюдение требований охраны труда и техники безопасности; - число профессиональных заболеваний; - наличие средств индивидуальной защиты; - обучение правилам поведения в экстренных условиях
Социальная	- число лояльных клиентов; - процент новых клиентов; - доля уходящих клиентов; - уровень доверия клиентов	- число поставщиков и посредников; - количество ошибок в сборке заказов; - потери из-за низкого уровня управления; - грамотное использование кадрового потенциала	- размер соцвыплат; - потери от простоя подвижного состава и работы сверх нормы; - затраты на приём, увольнение и обучение сотрудников	- психологический климат в коллективе; - несчастные случаи на производстве; - соблюдение трудовой дисциплины; - текучесть кадров

многими исследователями рассматриваются вопросы организации и оптимизации цепей поставок как для отдельных отраслей или предприятий, так и в общем контексте анализа управления ими, ряд работ (напр.: [16]), посвящён отдельным функциональным аспектам диагностики, в том числе использованию ИТ-технологий.

Исходя из этого, предлагается примерный набор показателей для проведения дальнейшей диагностики цепей поставок на железнодорожном транспорте, в основу которой взяты критерии устойчивости по экономическому, социальному и экологическому видам по подсистемам «Клиенты», «Бизнес-процессы», «Финансы», «Персонал».

В табл. 2 представлены возможные проблемы в каждой из выделенных подсистем цепей поставок, что позволяет дальнейшее проведение их диагностики с целью обнаружения «узких мест» и оперативного устранения проблем, осложняющих поставки материально-технических ресурсов железнодорожным транспортом в Оренбургской области [3]

В результате проведения диагностики можно выделить наиболее важные несоответствия

параметров логистических систем, которые при недостаточно качественном выполнении концентрации и распределения, а также под воздействием различных факторов внешней и внутренней среды могут оказывать негативное влияние на оказание перевозочных услуг железнодорожным транспортом Оренбургской области, увеличивая сроки и снижая качество доставки.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований были выявлены факторы, влияющие на деятельность железнодорожного транспорта, в том числе, на своевременность доставки груза, что при практическом использовании при проведении актуальной диагностики подсистем цепи поставок с привлечением массива необходимых данных позволит ответственным лицам железнодорожной компании, в данном случае, ОАО «РЖД», оперативно устранить возникающие проблемы.

Управление цепями поставок является важнейшей задачей для компаний транспортно-логистического комплекса, так как недостаточно эффективное управление





может привести к потере действующих клиентов, посредников и поставщиков, влечёт за собой упущенную выгоду, усиливает текучесть кадров и так далее, что повышает риск потери выгодного сотрудничества, а, следовательно, неизменно приводит к снижению прибыли предприятий, для которых железнодорожные перевозки являются основными.

Поэтому для наиболее точного выявления причин появления отдельных признаков неэффективности деятельности железнодорожного транспорта целесообразна разработка детализированных параметров всех подсистем цепей поставок с дальнейшей диагностикой каждого из них.

При условии соответствующей адаптации предложенный матричный подход к диагностике подсистем управления цепями поставок, по мнению авторов, может быть масштабирован на деятельность ОАО «РЖД» (в случае железнодорожного транспорта), а также компаний всех видов транспорта как на региональном, так и национальном уровне. Условием для этого является, в том числе и дальнейшая научная проработка данного подхода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голикова Ю. А. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта в России // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2015. – № 3. – С. 32–37. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25032318>. Доступ 06.07.2022.
2. Смирнов С. А., Смирнова О. Ю. Оценка эффективности видов наземного транспорта для массовых грузовых перевозок // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 204–220. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32237359>. Доступ 06.07.2022.
3. Тарасенко Е. А. Формирование системы управления цепями поставок в территориальном управлении железной дороги: диссертация на соискание учёной степени кандидата экономических наук. – М., 2022. – 208 с. [Электронный ресурс]: https://science.usue.ru/images/docs/down/tarasenko/dissert_Tarasenko.pdf. Доступ 06.07.2022.
4. Боброва В. В., Бережная Л. Ю. Направления совершенствования транспортной инфраструктуры Оренбургской области // Азимут научных исследований: экономика

и управление. – 2019. – Т. 8. – № 1 (26). – С. 93–96. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37206050>. Доступ 06.07.2022.

5. Булатов А. А., Андрончев И. К., Железнов Д. В., Тяпухин А. П. Комбинированный подход к оценке технического содержания электротехнического оборудования тягового подвижного состава // Электротехника. – 2017. – № 3. – С. 45–50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28370769>. Доступ 06.07.2022.

6. Елисеев В. Н. Аспекты применения цифровых технологий в деятельности ОАО «РЖД» // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 285–286. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47850181_54525887.pdf. Доступ 06.07.2022.

7. Коротаев А. Н., Новиков Е. Ф. К вопросу о предупреждении краж грузов с подвижного состава железнодорожного транспорта // Актуальные проблемы государственно-правового развития России. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2020. – С. 218–222. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44005276>. Доступ 06.07.2022.

8. Шмакова А. С. Особенности ответственности участников по договору перевозки грузов железнодорожным транспортом // Уральский журнал правовых исследований. – 2020. – № 2 (9). – С. 80–103. DOI: 10.34076/2658-512X-2020-2-80-103.

9. Арустмян С. М. Перевозки грузов на железнодорожном транспорте // Актуальные проблемы права: Сб. научных трудов. – М.: МГИУ, 2009. – Вып. 9. – С. 146–176.

10. Колик А. В. Комбинированные железнодорожно-автомобильные перевозки в цепях поставок. – М.: ООО «Техполиграфцентр», 2018. – 302 с. ISBN 978-5-94385-143-8.

11. Житинев П. Ю. Оценка существующих подходов к ценообразованию на железнодорожном транспорте // StudNet. – 2020. – Т. 3. – № 10. – С. 70.

12. Тарасенко Е. А. Классификация объектов управления цепями поставок с целью обеспечения их устойчивости // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 2 (93). – С. 50–56. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-2-7.

13. Тарасенко Е. А., Карх Д. А., Тяпухин А. П. Управление логистическими системами: Монография. – М.: Русайнс, 2021. – 156 с. ISBN 9785436579191.

14. Карх Д. А., Аббазова В. Н., Тарасенко Е. А. Методический инструментарий диагностики системы управления цепями поставок в подразделениях железной дороги // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2022. – Т. 16. – № 2. – С. 150–164. DOI: 10.14529/em220215.

15. Tyapukhin, A. P., Matveeva, O. V., Tasmaganbetov, A. V. Distinctive features of the logistics approach to managing information flows. Journal of the Ural State University of Economics, 2019, Vol. 20, No. 1, pp. 112–130. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-8.

16. Naim, M., Childerhouse, P., Disney, St., Towill, D.R. A supply chain diagnostic methodology: Determining the vector of change. Computers & Industrial Engineering, 2002, Iss. 43, pp. 135–157. DOI: 10.1016/S0360-8352(02)00072-4 [ограниченный доступ]. ●

Информация об авторах:

Тарасенко Евгения Алексеевна – кандидат экономических наук, преподаватель кафедры логистики и транспортных технологий Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного университета путей сообщения, научный сотрудник Оренбургского филиала Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, t_e_a_t@mail.ru.

Елисеев Владимир Николаевич – кандидат педагогических наук, доцент кафедры логистики и транспортных технологий Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного университета путей сообщения, Оренбург, Россия, evsei86@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.06.2022, актуализирована 06.07.2022, одобрена после рецензирования 07.07.2022, принята к публикации 11.07.2022.



Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 1



Николай Юрьевич Алексеев
АО Ситроникс, Москва, Россия.
✉ alekseev-trn@mail.ru

Николай АЛЕКСЕЕВ

АННОТАЦИЯ

В современных, быстро развивающихся городах мира для построения транспортной модели городов требуются данные о пассажиропотоках. Отсутствие таких данных не позволяет своевременно принимать управленческие решения на уровне их распределения, в том числе в рамках общих транспортных потоков.

На данный момент существуют различные методы и системы для подсчёта пассажиропотоков, такие как глазомерный, анкетный и талонный методы и различные автоматизированные системы. Однако известные методы имеют свои недостатки.

По этой причине актуальной является задача поиска альтернативных методов и источников данных для исследования пассажиропотоков.

Данная статья опирается на актуализированные результаты исследования, проведённого в рамках подготовки автором магистерской диссертации. В его процессе и в развитие более ранних работ автора, в качестве источника данных были выбраны данные о подключении пассажиров к Wi-Fi роутерам. Так как на данном этапе исследование приводилось на территории Московского транспортного

узла, в метрополитене и на Московских центральных диаметрах (МЦД), в вагонах которых установлено огромное количество Wi-Fi роутеров, при подключении к которым можно бесплатно получить доступ в Интернет, это значительно расширило выборку Wi-Fi данных.

Целью данного исследования является изучение возможностей обработки Wi-Fi данных, полученных от Wi-Fi сканеров, в качестве инструмента анализа пассажиропотоков.

По результатам проведённого исследования было определено, что в среднем до 40 % пассажиров, находящихся в вагонах метрополитена и МЦД на исследованных линиях поездов, используют включённый Wi-Fi модуль в своём мобильном устройстве.

Результаты исследования подтвердили, что Wi-Fi данные могут быть использованы в качестве инструмента для анализа пассажиропотоков, но в то же время выявили необходимость сочетать их с другими источниками данных, а также сильную зависимость результатов обработки Wi-Fi от технических характеристик Wi-Fi сканера и его расположения в транспортном средстве при проведении замеров.

В данном номере публикуется первая часть статьи.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, метро, городская железная дорога, пассажиропоток, анализ данных, Wi-Fi аналитика.

Благодарности: автор выражает искреннюю признательность кандидату географических наук, старшему научному сотруднику Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) Павлу Владимировичу Зюзину за его неоценимую помощь при проведении исследования и подготовке к публикации его результатов.

Для цитирования: Алексеев Н. Ю. Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 1 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 75–82. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-9>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.



ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных элементов создания современной городской среды и повышения качества жизни проживающих в городе Москве граждан является городской общественный транспорт. Из года в год за счёт неуклонного развития системы городского общественного транспорта столицы^{1, 2, 3}, интеграции в неё новых объектов транспортной инфраструктуры, обновления и включения новых видов подвижного состава, повышения интегрированности её составных частей популярность общественного транспорта возрастает.

При этом значительная доля объёмов перевозок пассажиров по-прежнему приходится на Московский метрополитен. Основываясь на данных департамента транспорта г. Москвы, в 2021 году в среднем пассажиропотоке в рабочий день на метрополитен приходилось 56,7 % (из них по 4,135 % как на Московское центральное кольцо (МЦК), так и на Большую кольцевую линию (БКЛ), открытую в 2020 году), на наземный транспорт – 30,3 %, на железнодорожный – 13 % (причём из них 4,21 % – на Московские центральные диаметры (МЦД)). Значительно улучшились по сравнению с 2020 годом показатели пассажиропотоков (на 37 %) и по числу перевезённых уникальных пассажиров (на 38 %), хотя полностью показатели по сравнению с допандемийным 2019 годом не восстановились. Исключением являются быстро развивающиеся перевозки по МЦД, МЦК, которые уже превысили уровень 2019 года⁴, и есть все основания полагать, что положительная динамика показателей по всем видам общественного транспорта сохранится и ускорится в 2022 году, а также будет преодолено обусловленное пандемией временное изменение тренда в изменении нарастающего до этого тренда в соотноше-

нии доли общественного и личного транспорта (доля общественного транспорта в 2019 году – 70 %, в 2020 году – 60 %, в 2021 году – 62 %) ⁴.

Комфортность перевозок в общественном транспорте и на Московском метрополитене [1] ежегодно улучшается. Следствием планомерного развития общественного транспорта Москвы и роста комфортности поездок стал рост удовлетворённости пассажиров как общественным транспортом в целом (с 76 % в 2019 году до 89 % в 2021 году), так и работой метрополитена (по данным опроса CoMET в 2021 году Московский метрополитен вошёл по этому показателю в тройку мировых лидеров)⁴.

Учитывая общую тенденцию к росту популярности использования городского общественного транспорта, а в частности, Московского и Санкт-Петербургского метрополитенов, в том числе в различных аспектах, например, как туристического объекта [2], очень важным фактором является анализ пассажиропотоков для оптимизации трассировок маршрутов и уточнения интервалов движения городского общественного транспорта (например, [3]).

На данный момент для расчёта пассажиропотоков используются как традиционные системы сбора данных (визуальные, анкетные, билетные), так и построенные на основе обработки массивов цифровых данных, поступающих от автоматизированных систем контроля проезда (валидации), мониторинга пассажиропотоков, сотовых операторов и другие. В мировой практике, помимо вышеуказанных источников, по которым возможен частичный расчёт пассажиропотоков, используют Wi-Fi аналитику, отдельным аспектам которой была, в частности, посвящена публикация [4].

В городском общественном транспорте города Москвы, на его остановочных пунктах, станциях метрополитена и других местах с 2016 года внедряется бесплатная сеть Wi-Fi под названием «MT FREE»⁵. Увеличение количества бесплатных точек сети Wi-Fi в городском общественном транспорте города Москвы по определению увеличивает аудиторию потенциальных пассажиров, которые пользуются данной бесплатной сетью. Соответственно, с увеличением числа пассажиров, пользующихся бесплатной сетью Wi-Fi, увеличивается поток получаемых Wi-Fi данных, которые можно использовать для анализа пассажиропотоков, с задействованием современных Wi-Fi сканеров и алгоритмов обработки Wi-Fi данных.

⁵ В метро и наземном транспорте теперь доступна единая сеть Wi-Fi. Сайт Московского транспорта. [Электронный ресурс]: https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/14254. Доступ 10.04.2022.

¹ Презентация «Транспортный Комплекс Москвы». [Электронный ресурс]: https://report2010-2017.transport.mos.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_spreads.pdf. Доступ 10.04.2022.

² Итоги работы транспортного комплекса города Москвы с 2010 года. Презентация. [Электронный ресурс]: https://transport.mos.ru/common/upload/public/prezentacii/Prezentatsiya_Itoги_raboty_%2008_11_19.pdf. Доступ 10.04.2022.

³ Индекс развития транспортного комплекса: сопоставление ведущих российских и зарубежных городов. Презентация МГУ на Московском урбанистическом форуме 6–12 июля 2017 года. [Электронный ресурс]: https://transport.mos.ru/common/upload/docs/1499956207_PrezentatsiyaMGUv2.10.pdf. Доступ 10.04.2022.

⁴ Итоги работы транспортного комплекса Москвы в 2021 году и планы на 2022 год. Департамент транспорта г. Москвы. Презентация. [Электронный ресурс]: <https://transport.mos.ru/common/upload/public/prezentacii/106/itogi-raboty-tk-2021-i-plany-na-2022.pdf>. Доступ 10.04.2022.

Цель работы – изучить и проанализировать метод сбора и обработки Wi-Fi данных как инструмента для анализа пассажиропотока.

Объектом исследования являются пассажиропотоки в Московском транспортном узле.

Предмет исследования – свойства пассажиропотоков на исследуемых маршрутах.

Задачи исследования включали изучение существующих методов обработки Wi-Fi данных; сбор и анализ Wi-Fi данных в Московском транспортном узле в утренний час пик с использованием Wi-Fi сканера на выбранных маршрутах; создание алгоритма анализа и обработки Wi-Fi данных, получаемых с динамического Wi-Fi сканера; получение данных о количественных характеристиках пассажиропотоков: средней дальности поездок пассажиров, среднем времени пути пассажиров.

Структурно статья предполагает три части, первая из которых посвящена изучению методов расчёта пассажиропотоков и мирового опыта в области Wi-Fi аналитики, вторая – методологии сбора данных, алгоритму для анализа Wi-Fi данных, третья – непосредственным результатам исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методы исследования пассажиропотоков

Исследования в области пассажиропотоков являются наиболее важным элементом анализа и планирования деятельности транспортной системы любой крупной агломерации, так как напрямую связаны с шагами по улучшению комфортности перемещения пассажиров и скорости их перемещения.

В Москве рост пассажиропотока даёт большую нагрузку на всю внутригородскую транспортную сеть, в целом на весь Московский транспортный узел и его пересадочные узлы. Сопутствующим загрузке транспортной сети города риском является увеличение времени ожидания и самой поездки пассажиров. Условием планирования мероприятий по его нейтрализации через оптимизацию транспортной инфраструктуры и маршрутных сетей становится очень тщательный анализ транспортных потоков и пассажиропотоков.

Систематизация существующих методов сбора сведений и анализа пассажиропотоков как в мировой практике, так и в Российской Федерации может позволить ответить на следующие вопросы: «какой инструмент сбора и анализа данных о пассажиропотоках является наиболее точным?», «каковы преимущества и недостатки того или иного метода сбора данных о пассажиропотоке?», «существует ли единое решение по сбору и обработке данных о пассажиропотоках?».

Под термином «пассажиропоток» подразумевается понятие, связанное с перемещением пассажиров, которое выражается в объёме перевезённых пассажиров на любом виде общественного транспорта (наземного, подземного и других) или индивидуальном транспорте за единицу времени.

В случае данного исследования ограничительным условием является рассмотрение пассажиропотоков на общественном городском транспорте города Москвы.

На данный момент для расчёта пассажиропотока в Московской агломерации могут быть использованы уже существующие традиционные методы сбора и анализа данных, такие как:

- Визуальный метод (глазомерный метод).
- Анкетный метод (опросный метод).
- Билетный метод (талонный метод).
- Автоматизированные системы мониторинга пассажиропотоков (АСМП).
- Автоматизированные системы контроля проезда (АСКП), валидация.
- Данные сотовых операторов (GSM).
- Система видеонаблюдения.

В статье [5] подробно описаны различные методы сбора и обработки данных для подсчёта пассажиропотока и существующие проблемы, выявленные Департаментом транспорта города.

Вместе с тем целесообразно дать краткую характеристику наиболее распространённых из таких методов.

Неавтоматизированные методы

Визуальный (глазомерный) и табличный (натурный) метод

Данный вид подсчёта пассажиропотока характеризуется визуальным расчётом количества пассажиров, вошедших и вышедших из общественного транспорта⁶. Для получения результата используют балльную шкалу. Задачей лица, проводящего визуальное наблюдение, является оценить «на глаз» количество пассажиров в транспортном средстве и выставить соответствующий балл.

Отчасти его разновидностью является табличный (натурный) метод, при котором наблюдения могут производиться контролёрами, кондукторами, водителями транспортных средств и другими лицами, находящимися внутри транспортных средств. При табличном (натурном)

⁶ Рошин А. И., Акопов Ф. В., Жуков А. И. Методические указания к лабораторным работам для подготовки студентов по дисциплине «Методы обследования транспортных процессов». МАДИ. – 2015. – 35 с. [Электронный ресурс]: <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel16M435.pdf>. Доступ 10.04.2022.





собираются более детальные сведения путём подсчёта входящих и выходящих на отдельных остановках пассажиров, их категорий и т.д.

Во многих городах России утверждены методики его использования для оценки и прогнозирования пассажиропотоков (например, ⁷, ⁸).

В результате использования визуального метода [6] удалось рассчитать такие показатели, как среднее наполнение городского общественного транспорта, коэффициент неравномерности, коэффициент использования вместимости, среднее расстояние поездки пассажира в обе стороны маршрута.

Преимущества: недорогой способ подсчёта пассажиропотока, который может быть рассчитан действующими сотрудниками, перемещающимися на конкретном общественном транспорте, такими как контролёр, кондуктор или водитель.

Недостатки: разовость использования, отсутствие возможности систематизации сбора данных, зависимость от большого количества человеческих ресурсов.

Анкетный (опросный) метод

Данный метод подразумевает опрос пассажиров (совершающих поездку или потенциальных) путём заполнения анкеты (сбора ответов) непосредственно на улично-дорожной сети или в сети Интернет. Вопросы могут касаться цели поездки пассажира, направления и времени поездки. Ответы на задаваемые вопросы могут быть применены и использованы для решения проблем, связанных с перспективой развития транспортной сети как целого города, так и отдельного микрорайона.

Этот метод также широко используется в практике административных органов городов и субъектов Российской Федерации. Наполняемость анкеты зависит от цели, поставленной перед исследователем, в том числе представителем транспортной дирекции города или городской агломерации. Результат анкетного метода зависит от человеческого фактора и объёма поставленных

вопросов, а также в большой мере от фактически полученных от пассажиров данных.

При помощи данного метода возможен также расчёт в отношении транспортной сети отдельного микрорайона в случае проведения опроса его жителей. Полученные данные могут быть достаточно достоверны, так как жители конкретного микрорайона заинтересованы в улучшении транспортной доступности ближайшего транспортно-пересадочного узла (ТПУ), транспортного сообщения, особенно с местом работы по рабочим дням, и именно они обладают обширной реальной информацией о транспортной ситуации микрорайона [7].

Преимущества: возможность получить расширенную информацию от пассажиров, а также обратную связь от потенциальных пассажиров конкретного микрорайона города.

Недостатки: отсутствие возможности расчёта пассажиропотока, получение только частичных данных об оценке пользования общественным транспортом, невозможность выявить маршруты перемещения через промежуточные остановки и ТПУ.

Билетный (талонный) метод

Данный метод заключается в подсчёте количества проданных билетов в конкретном транспортном средстве. Для улучшения результативности применения полученных данных методом показателей, как правило, используют следующую схему работы: один участник подсчёта пассажиропотока находится у входной двери общественного транспорта, фиксируя время и место (остановку общественного транспорта) входа пассажира, и выдаёт талон, либо билет данному пассажиру, а второй участник подсчёта забирает данные талоны либо билеты, фиксируя время и место выхода пассажира. Таким образом в результате может быть рассчитана взаимная корреспонденция, которая позволит получить данные о входе и выходе из общественного транспорта конкретных пассажиров. Данная информация очень важна для планирования количества выходящих в рейс единиц общественного транспорта и возможности введения остановок по требованию, что позволит увеличить скорость перемещения транспортных средств и в итоге сократить время поездки пассажиров.

При этом данный метод (в форме учёта билетов) не применим к Москве и ряду других городов, где отсутствует продажа билетов на проезд в общественном транспорте в бумажном виде или существует большое число пассажиров, не использующих разовые билеты.

Преимущества: не требует специальной подготовки для подсчёта.

⁷ Постановление Администрации Ангарского городского округа Иркутской области от 06.12.2016 г. № 2697-па «Об утверждении Порядка проведения обследования пассажиропотоков на регулярных городских и пригородных маршрутах автомобильного и наземного электрического общественного пассажирского транспорта на территории Ангарского городского округа». [Электронный ресурс]: https://angarsk-adm.ru/upload/iblock/5c4/2697_pa-poryad-obsled-passazhiropot.doc. Доступ 10.04.2022.

⁸ Приказ Департамента промышленности, транспорта и связи Брянской области от 17.10.2016 г. № 175-П «Об утверждении порядка изучения пассажиропотока». Приложение 1. [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/42574462/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>. Доступ 10.04.2022.

Недостатки: отсутствие возможности расчёта пассажиров с льготным проездом, неприменим при отсутствии бумажных билетов, требует большое количество человеческих ресурсов.

Все вышеуказанные методы подсчёта пассажиров являются не автоматизированными, требующими задействования большого количества человеческих ресурсов, недостаточно информативны, сопряжены с потенциально большими погрешностями, что делает их в современных условиях устаревшими.

Более того, полученные данными методами результаты являются разовыми, не системными, не позволяют проводить протяжённые во времени замеры.

Учитывая большую эффективность использования современных технологий, данные методы могут быть использованы в частных случаях, либо в небольших городах, в которых отсутствует возможность использования автоматизированных систем из-за отсутствия финансирования, либо отсутствия необходимости их внедрения по причине низкой интенсивности транспортных потоков.

Автоматизированные методы

Распространение получили автоматизированные системы, которые не требуют нахождения осуществляющего замеры человека непосредственно в общественном транспорте либо на остановке.

Автоматизированные системы мониторинга пассажиропотоков на городском пассажирском транспорте (АСМ-ПП)

Такие системы получили достаточно широкое распространение на территории Российской Федерации.

В числе первых данную технологию стало внедрять научно-производственное предприятие «Транснавигация»⁹. Условием применения является оснащение подвижного состава городского общественного транспорта специальным оборудованием, включающим инфракрасные датчики, навигационно-связные блоки с GSM и GPS/ГЛОНАСС антеннами.

Суть реализации технологии заключается в размещении над дверными проёмами городского общественного транспорта (в частности, автобусов, троллейбусов, трамваев) инфракрасных датчиков, фиксирующих вход и выход пассажиров, включая время и место. Таким

образом в результате собираются данные о количестве вошедших и вышедших пассажиров в конкретном транспортном средстве [4, с. 56–57].

Преимущества: система, не требует использования человеческих ресурсов в транспортных средствах в процессе эксплуатации.

Недостатки: финансовые затраты на внедрение системы, погрешности системы, сложность синхронизации системы с GPS/ГЛОНАСС модулями.

Автоматизированная система контроля проезда (АСКП), валидация

На данный момент АСКП, по мнению автора, входит в число наиболее точных методов сбора данных о пассажиропотоке как на территории Российской Федерации, так и в мире среди получивших массовое распространение.

В России впервые данная технология была внедрена на территории Московской агломерации в 2001 году на территории Зеленоградского административного округа на автобусных маршрутах¹⁰.

Основной задачей АСКП является проверка проездных документов и оплаты проезда. Для внедрения АСКП требуется установка валидаторов в городской общественный транспорт. Данная технология достаточно проста в использовании: для получения данных пассажиру достаточно приложить проездной документ к валидатору, который считывает данные с проездного документа и фиксирует оплату. Момент прикладывания проездного документа и будет являться фиксацией пассажира [4, с. 56; 8].

Преимуществом данной системы является точность полученных данных.

Недостатки: возможная погрешность в случае отсутствия принудительного прикладывания билета к валидатору, стоимость внедрения.

В общественном транспорте Московской агломерации преимущественно внедрена АСКП только при входе пассажира в автобус, троллейбус, трамвай и метро. Таким образом, недостатком АСКП является отсутствие данных о месте выхода пассажира, что существенно влияет на расчёт пассажиропотока.

Ещё одним недостатком системы является то, что внедрение АСКП часто сопровождается установкой турникетов. Установка турникетов может существенно увеличивать время посадки пассажиров и соответственно, время пути пас-

⁹ Автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков на городском пассажирском транспорте (АСМ-ПП). Сайт НПЦ «Транснавигация». [Электронный ресурс]: <http://www.transnavi.ru/projects/asmpp/about/about.php>. Доступ 10.04.2022.

¹⁰ В столице вводится Автоматизированная система контроля на городском наземном транспорте. [Электронный ресурс]: <https://duma.mos.ru/ru/34/news/novosti/v-stolitsyavvoditsya-avtomatizirovannaya-sistema-kontrolya-nagorodskom-nazemnom-transporte>. Доступ 10.04.2022.



сажиров. Учитывая, что турникет устанавливается в передней двери автобуса и турникет срабатывает только при оплате проезда, в случае неработающего проездного документа у потенциального пассажира увеличивается время ожидания и время пути следования. Данная проблема имеет огромное значение в утренние и вечерние часы пик для пассажиров, перемещающихся ежедневно в рабочие дни с места проживания до ближайшей станции метро и обратно.

В Московской агломерации в городском наземном общественном транспорте с недавнего времени решениями Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры и ГУП «Мосгортранс» турникеты отключены, оплата проезда производится пассажиром с использованием валидатора ^{11, 12}. Данное решение позволило существенно ускорить время посадки и высадки пассажиров на наземном городском транспорте. Ранее, до отключения турникетов, исследователь на собственном примере наблюдал данную проблему, например, на автобусном маршруте № 906 ГУП «Мосгортранс».

Данные сотовых операторов (GSM)

Данные сотовых операторов тоже используются для расчёта пассажиропотоков [4, С. 57]. Статья [9] раскрывает возможности использования данных сотовых операторов GSM, описывает процесс сбора данных о перемещении пятисот тысяч пользователей, использующих мобильную связь, разработку модели для изменения маршрутов городского общественного транспорта. Модель была использована и протестирована в городе Абиджан – крупнейшем городе Кот-д’Ивуар (численность населения составляла 3,8 миллиона человек по данным на 2013 г.). Данные были получены от крупнейшего оператора мобильной связи за период с декабря 2011 г. по апрель 2012 г. Все использованные данные были очищены от персональной идентификации, что является очень важным элементом сохранения конфиденциальности. Авторы статьи предложили оптимизировать шестьдесят пять существующих маршрутов и создать три новых маршрута городского общественного транспорта. Также авторы указали

¹¹ Валидатор против турникета: пассажиры экономят до 20 минут, оплачивая проезд в салоне. Официальный сайт мэра Москвы. [Электронный ресурс]: <https://www.mos.ru/news/item/38508073>. Доступ 10.04.2022.

¹² С 1 сентября 2018 года бестурникетная система оплаты проезда введена на всех маршрутах наземного транспорта Москвы – вход во все двери. Официальный сайт ГУП «Мосгортранс». [Электронный ресурс]: <https://www.mosgortrans.ru/alldoors>. Доступ 10.04.2022.

на снижение времени ожидания на 10 % в пассажиро-минутах.

Основной особенностью данной модели, на взгляд автора, является возможность оптимизации существующих маршрутных сетей для новых микрорайонов города.

В статье [10] авторы предлагают использовать данные сотовых операторов для подсчёта пассажиропотоков на входе и выходе из метрополитена. Авторы описывают матрицу корреспонденции и дальнейшее возможное использование получаемых данных, например, при открытии новой станции метро. Они также считают, что полученные данные необходимо использовать при планировании строительства метро и при его эксплуатации, при планировании запуска необходимого количества подвижного состава в утренние и вечерние часы пик, то есть, использовать данные не только в экономических целях, но и в целях городского транспортного планирования. Также авторы полагают, что полученные результаты можно использовать для синхронизации всего городского общественного транспорта, особенно в часы пик и в разные периоды времени, например, летом и зимой.

В другой статье [11], благодаря данным сотовых операторов, был предложен метод классификации станций в утренние и вечерние часы пик и сформулированы четыре группы характеристик.

Таким образом, преимуществом использования данных сотовых операторов для расчёта пассажиропотоков и оптимизации существующих маршрутов городского общественного транспорта является большое количество информации, получаемой от сотовых операторов связи, и возможность её дальнейшей автоматизированной обработки и анализа.

Потенциальным недостатком является точность получаемых данных, которая напрямую зависит от расположения базовых станций сотового оператора. Также имеются риски сохранения конфиденциальности получаемых данных, их защиты от посягательств злоумышленников.

Система видеонаблюдения

Использование видеонаблюдения для получения данных о пассажиропотоках, описывается в статье [12] как полноценное решение для подсчёта количества пассажиров, которые находятся в салоне транспортного средства (вагона) на сидячих местах. Для реализации данного решения требуются камеры видеонаблюдения и бортовой компьютер, который при помощи Wi-Fi сети посредством Интернета направляет данные на сервер. Далее на сервере полученные данные

**Преимущества и недостатки существующих методов и систем подсчёта
пассажиropотоков [выполнено автором]**

Метод/система	Преимущества	Недостатки
Глазомерный (визуальный), табличный (натурный) метод	Дешевизна использования	Разовость использования, отсутствие возможности систематизации сбора данных, зависимость от большого количества человеческих ресурсов
Анкетный метод (опросно-табличный)	Получение обратной связи от потенциальных пассажиров конкретного микрорайона города	Отсутствие возможности расчёта пассажиropотока, получение частичных данных об оценке пользования общественным транспортом
Талонный метод (билетный)	Не требует специальной подготовки для подсчёта	Отсутствие возможности расчёта пассажиров с льготным проездом, требуется большое количество человеческих ресурсов
Автоматизированная система мониторинга пассажиropотоков (АСМ-ПП)	Система позволяет вычислять количество вошедших и вышедших пассажиров	Требует дополнительного оснащения общественного транспорта и финансовых вложений. При большом потоке вероятны дублирования
Автоматизированная система контроля проезда (АСКП), валидация	Высокая точность данных о вошедших пассажирах	При отсутствии валидаторов на выход недостижима информация о месте выхода пассажира
Данные сотовых операторов (GSM)	Большое количество данных, получаемых от сотовых операторов связи с возможностью их обработки и анализа	Точность данных, которая напрямую зависит от расположения базовых станций сотового оператора
Система видеонаблюдения	Позволяет получить точные данные о пассажиropотоке	Требует финансовых вложений и создания алгоритма обработки данных

обрабатываются: каждому видеофрагменту присваивается координата GPS/ГЛОНАСС и маркировка с номером поезда, вагона, камеры, датой и временем получения видеофрагмента. Вторым решением, предлагаемым в статье, является уже упомянутая АСМ-ПП.

Сравнительные характеристики существующих методов подсчёта пассажиropотоков

Если резюмировать вышеуказанные виды подсчёта пассажиropотока, то можно обобщить указанные выше преимущества и недостатки методов подсчёта пассажиropотока (табл. 1).

Как мы видим из табл. 1, не существует идеального инструмента или метода для анализа и расчёта пассажиropотоков.

В статье [13] подтверждается теория о проблемах в существующих методах сбора и анализа данных о пассажиropотоках, при этом даётся количественная оценка преимуществ более современных методов (в частности видеонаблюдения).

Есть работы, направленные на изучение поведения пассажиров, и соответственно, их корреспонденций [14], и работы, классифицирующие пассажирские потоки [15]. Также подтверждается информация о том, что данные, получаемые от перевозчика, зачастую бывают недостоверными [16].

Совокупность указанных условий делает актуальным поиск новых методов для расчёта пассажиropотоков, которые были бы лишены всех или по крайней мере большинства упомянутых недостатков.

Одним из важнейших критериев в поиске нового, более надёжного и многофункционального метода сбора данных и анализа пассажиropотоков является способность определять маршруты потенциальных пассажиров, загрузку в дальнейшем конкретных транспортных единиц (в случае данного исследования – вагонов метрополитена) на конкретной остановке городского общественного транспорта.

Исходя из общей гипотезы о возможности применения в этом качестве сбора данных об использовании Wi-Fi и его распространённости в Московской агломерации, было определено, что она заслуживает более подробного исследования и экспериментальной апробации.

Продолжение в следующем номере

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пашина А. С., Кравчук И. С. Инновации в инфраструктуре Московского метрополитена // Сб. трудов конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки». – М.: Перо, 2019. – С. 330–335. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39227779>. Доступ 10.04.2022.





2. Долматеня Ю. В., Грандина Е. В. Особенности метрополитена, как площадки для организации и развития туристических мероприятий // Актуальные проблемы развития сферы услуг: Сборник научных трудов. – Выпуск XIII. Санкт-Петербургский государственный экономический университет. – 2019. – С. 135–139. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42476132>. Доступ 10.04.2022.
3. Подхалюзина В. А. Анализ пассажиропотока на наземном общественном транспорте Москвы // Вызовы глобального мира. Вестник ИМТП. – 2015. – № 2 (6). – С. 31–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24245177>. Доступ 10.04.2022.
4. Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В. Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы. Мир транспорта. – 2021. – № 3 (94). – С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.
5. Петрова Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 47–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Доступ 10.04.2022.
6. Боровиков А. В. Анализ пассажиропотока городского автобусного маршрута // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 3. – Ст. 46. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38318095>. Доступ 10.04.2022.
7. Новиков А. Н., Радченко С. Ю., Севостьянов А. Л. [и др.]. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в г. Орле // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – С. 69–77. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17280343>. Доступ 10.04.2022.
8. Рубцова К. А. Особенности учёта пассажиропотока на наземном городском пассажирском транспорте общего пользования // Экономика предпринимательства, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами. – 2015. – С. 168–172. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24866446>. Доступ 10.04.2022.
9. Berlingerio, M., Calabrese, F., Lorenzo, G., Nair, R., Pinelli, F., Sbodio, M. AllAboard: A System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. Mobile phone Data for Development, 2013, pp. 397–411. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_50.
10. Намиот Д. Е., Некраплённая М. Н., Покусаев О. Н., Чекмарёв А. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажирских потоков // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 25–30. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42748922>. Доступ 10.04.2022.
11. Поматилов Ф. С., Намиот Д. Е. Об анализе пассажиропотоков Московского метрополитена // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 375–385. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.375-385.
12. Брусянин Д. А., Вихарев С. В., Попов В. Ю., Горбенко А. А., Шека А. С. Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса региона // Инновационный транспорт. – 2012. – № 2 (3). – С. 41–43. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18225474>. Доступ 10.04.2022.
13. Щетинин Н. А., Коряков В. Б., Семикопенко Ю. В. Методика обследования пассажиропотоков // European Journal of Natural History. – 2020. – № 3. – С. 105–108. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43172623>. Доступ 10.04.2022.
14. Степанченко И. В., Крушель Е. Г., Панфилов А. Э., Лютая Т. П. Алгоритм имитации пассажиропотока на остановках транспортной сети мегаполиса // Математические методы в технике и технологиях. – 2019. – Т. 10. – С. 19–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41261453>. Доступ 10.04.2022.
15. Сытник Р. А. К вопросу об исследовании пассажиропотока в городских транспортно-логистических системах // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – № 7 (186). – С. 43–48. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26322476>. Доступ 10.04.2022.
16. Янков К. В., Лавриненко П. А., Фадеев М. С. Опыт прогнозирования пассажиропотоков и социально-экономических эффектов при ускорении железнодорожного сообщения в Самаро-Тольяттинской агломерации // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2016. – Т. 14. – С. 622–646. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633857>. Доступ 10.04.2022.
17. Nakagawa, Y., Nishida, J., Asao, H., Mukoko, B., Tamura, K. Application of AMP Collectors in Nairobi CBD for Transport Planning. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 34, pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.020>.
18. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of antenna characteristic effects on pedestrian and cyclists travel-time estimation based on Bluetooth and Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, Vol. 60, pp. 124–141. DOI: 10.1016/j.trc.2015.08.010.
19. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D. Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 32, pp. 62–68. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.012.
20. Hong, J., Thakuriah, P. Examining the relationship between different urbanization settings, smartphone use to access the Internet and trip frequencies. Journal of Transport Geography, 2018, Vol. 69, pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006.
21. Oransirikul, T., Nishide, R., Piumarta, I., Takada, H. Measuring Bus Passenger Load by Monitoring Wi-Fi Transmissions from Mobile Devices. Procedia Technology, 2014, Vol. 18, pp. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.023>.
22. Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C. [et al]. A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and When it Fails. US Naval Academy, Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, March 2017, 23 p. DOI: 10.1515/poets-2017-0054. ●

Информация об авторе:

Алексеев Николай Юрьевич – магистр по транспортному планированию НИУ ВШЭ, руководитель проектов АО «Ситроникс», Москва, Россия, alekseev-tm@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.06.2022, одобрена после рецензирования 11.07.2022, принята к публикации 13.07.2022.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 625.1.002:625.31:662.64
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-10>

На краю Мещёры. История лесных дорог. Некоторые факты об истории строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво. Часть 2



Алексей ФЕДЯНИН

АННОТАЦИЯ

Окончание статьи, начало которой опубликовано в предыдущем номере.

В статье с привлечением архивных и других ранее не публиковавшихся материалов рассматривается история проектирования и строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво, относившихся к Московско-Рязанскому отделению Московской железной дороги. Целью написания статьи является выяснение обстоятельств проектирования, строительства и эксплуатации указанных линий, а также выявление причин, приведших к их упадку и закрытию в середине 2000-х годов. Для достижения поставленной цели были проанализированы известные публикации в печати и сети Интернет. Кроме использования данных из указанных источников была выполнена работа по поиску письменных источников по исследуемому воп-

росу в архивных учреждениях г. Москвы. Некоторые документы публикуются впервые.

Результатом всей проведённой работы стало установление следующих ранее бывших неизвестными или подвергавшихся сомнению фактов: железнодорожная линия Кривандино–Рязановка построена в 1943–1944 годах, участок Сазоново–Рязановка построен позже остальной линии. Назначение линии Кривандино–Рязановка по проекту и в первые годы её существования – перевозка дров для отопления Москвы. Дата приёма линии Сазоново–Пилёво в полном объёме на обслуживание Куровской дистанции пути – 1 января 1978 года. От северной горловины станции Пилёво подъездной путь отходил к стройдвору торфопредприятия «Мещёрское». По данным Куровской дистанции пути, перегрузочная станция широкой колеи торфопредприятия «Мещёрское» называлась Торфяная.

Ключевые слова: железнодорожная линия, Кривандино, Рязановка, Сазоново, Пилёво, торфопредприятие, Великая Отечественная война, транспортное строительство.

Благодарности: автор выражает благодарность составителям книги «Мещёрская магистраль» за интересное произведение, ставшее источником вдохновения для работы и лично Вадиму Миронову за рецензирование и предоставленные фотографии; авторам неоднократно упоминавшихся источников [2–4] за познавательные ресурсы с массой фактов об исследованных линиях; исследователю узкоколейных железных дорог С. В. Костыгову за живое описание узкоколейной железной дороги торфопредприятий «Рязановское» и «Радовицкий Мох» (Костыгов С.В. Прощание с Рязановкой. [Электронный ресурс]: http://www.pereyezd.ru/readarticle.php?article_id=124. Доступ 28.03.2020.) и выражает надежду, что когда-нибудь он всё же опубликует полную её историю, а настоящий материал будет в этом чем-то полезен; заведующему кафедрой «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ) профессору О. Е. Пудовикову; службе пути Московской железной дороги и лично начальнику службы Д. А. Коренькову, главному инженеру П. Ю. Богданову за проявленный интерес к теме исследования и предоставление доступа к архивным материалам дороги; ГБУ «ЦГА Москвы» за сохранение важнейших документов по истории рассмотренных линий; сотрудникам читального зала Отдела хранения научно-технической документации за их высокий профессионализм.

Для цитирования: Федянин А. И. На краю Мещёры. История лесных дорог. Некоторые факты об истории строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 84–91. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-10>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

Военные годы

Для обеспечения функционирования ветви строились два отдельных пункта – станции Пожого и Лесная, а также реконструировалась станция Кривандино. На станциях проектом предусматривались строительство следующих служебно-технических зданий:

- паровозный сарай на одно стойло, песко-сушилка с навесом, погреб для хранения и выдачи смазки – на станции Пожого;

- пункт технического осмотра – на станции Кривандино, на станции Пожого таковой размещался в станционном здании (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 51).

Кроме них, на двух новых станциях проектом предусматривалось строительство вокзалов. В Кривандино вокзал к моменту строительства линии уже имелся, но половина здания была занята под жилые помещения, в другой половине располагались начальник станции, дежурный по станции, пассажирский зал и билетный кассир.

На рис. 3–5 (нумерация рисунков продолжается начатую в первой части) представлены их схемы, реконструированные на основе проектных чертежей.

Учитывая стратегическую важность строящейся линии – обеспечение столицы воюющего государства топливом, а также тот факт, что земляные работы являются наиболее трудоёмкими при строительстве железнодорожного пути, было бы небезинтересно привести таблицу (табл. 1 на следующей странице) из проекта [5] (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 60).

Несмотря на требование постановления ГКО о строительстве линии без сметы и экспертизы, последняя была выполнена. Приведём из неё некоторые выдержки:

«Заключение бюро Экспертизы проектов и технических условий Строительства ЦОН НКПС.

26 января 1944 г.

По техническому проекту к смете постройки ж.д. ветви Кривандино–Радовицы.

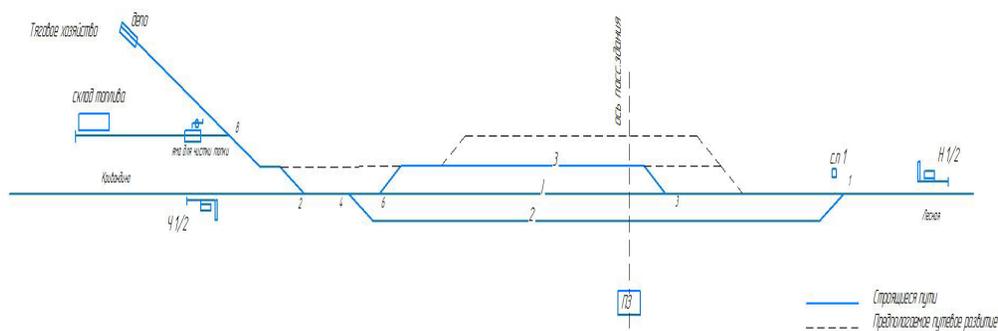


Рис. 3. Схематический план станции Пожого. Реконструкция на основе ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 54. Публикуется впервые.

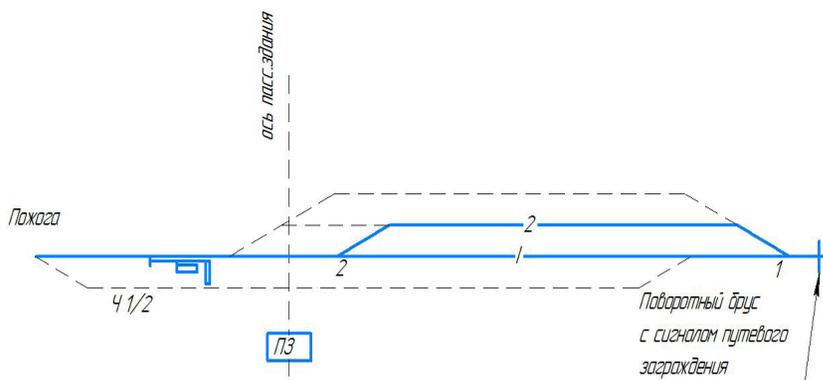


Рис. 4. Схематический план станции Лесная. Реконструкция на основе ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 55. Публикуется впервые.



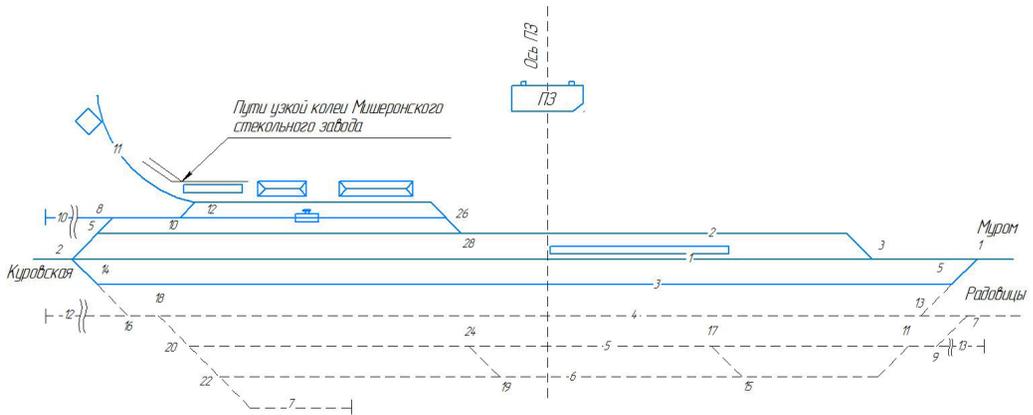


Рис. 5. Схематический план станции Кривандино. Реконструкция на основе ГБУ «ЦГА Москвы»
Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 53. Публикуется впервые.

Таблица 1

Выполнение земляных работ, м³

Способ разработки	На вымет с двойной перекидкой	Тачками до 75 м	Носилками до 20 м	Грабарями	Экскаваторами с транспортёрной (не-разб.)	Взрыв на выброс	Экскаваторами с транспортёрной автомашинами	Ручная разработка с транспортёрной автомашинами
Главный путь	10464	11888	49007	54195	3500	22437	130431	13371
Станционные пути	—	1020	—	—	29730	—	10186	1000
Сумма	10464	12908	49007	54195	33230	22437	140611	14371
%	3,1	3,8	14,6	16,2	9,9	6,6	41,6	4,2

Бюро Экспертизы проектов и технических условий строительства, рассмотрев разработанный Московским Отделением Союзтранспроекта технический проект ж.д. ветви Кривандино–Радовицы считает, что он может быть представлен на утверждение НКПС.

На 1/1-1944 г. на участке Кривандино–Лесная выполнены работы по сооружению земляного полотна, укладке верхнего строения пути, постройке искусственных сооружений и частично выполнены работы по постройке пассажирских зданий, депо на ст. Пожого и устройству водоснабжения.

Стоимость выполненных работ 6666 тыс. руб.

Бюро Экспертизы проектов считает, что при выполнении оставшегося объёма работ в технический проект необходимо внести следующие изменения и дополнения:

Принято в технич. проекте:

1. Погрузка дров производится на перегонах.

Предложено Бюро Экспертизы проектов:

Погрузку дров на перегонах ветви допустить на перегонах лишь на первый период при незначительных размерах движения.

Организацию движения поездов по ветви принять с погрузкой дров на разъездных путях и усовых тупиках.

В работы 1 очереди дополнительно включить укладку, для погрузки дров, разъездных путей на разъездах Минино и Бобынино: полезной длиной 200 м и укладку на перегонах 3 временных тупиков протяжением по 200 метров...» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 81).

Подводя итог рассмотрения условно первого (военного) этапа существования линии, повторим уже сделанные ранее выводы:

1) Железнодорожная линия Кривандино–Рязановка была построена для снабжения Москвы дровами из Радовицкого лесного массива.

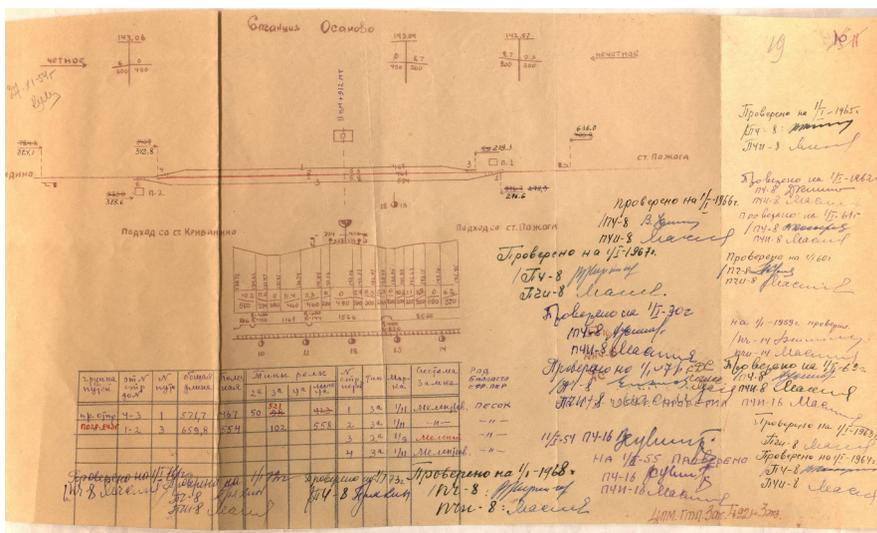


Рис. 6. Масштабная схема станции Осаново по состоянию на 1954–1974 гг. (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 19. Публикуется впервые).

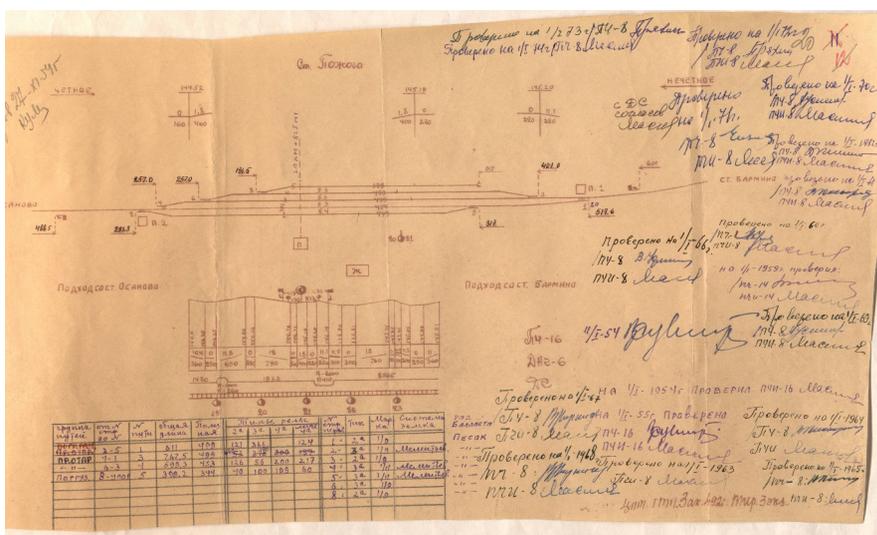


Рис. 7. Масштабная схема станции Пожого по состоянию на 1954–1974 гг. (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 20 Публикуется впервые).

2) Перевозки торфа по линии в этот период не осуществлялись, а лишь планировались в будущем.

3) Участок Лесная (Сазоново)–Рязановка был построен позже участка Кривандино–Лесная.

4) Линия Сазоново–Пилёво на своих первых километрах была построена в 1943 году.

Послевоенные годы. Развитие линий

О послевоенном периоде в истории рассматриваемых линий имеются сведения в паспортах Куровской дистанции пути (ПЧ-8) Московской железной дороги, которая приняла на обслужи-

вание рассматриваемые объекты практически с самого начала их существования. Эти документы имеются в ГБУ «ЦГА Москвы».

В частности, сохранились паспорта за 1960–1962 ГБУ («ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 157), 1970–1973 (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 179), 1974–1977 (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 245), 1978–1982 (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269) годов.

На основании этих документов можно сказать следующее.

По состоянию на 1960–1962 годы на участке дистанции пути имелся главный путь



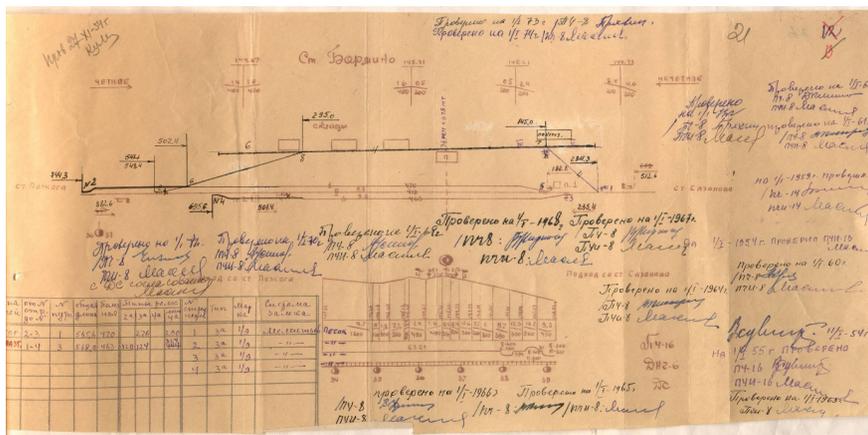


Рис. 8. Масштабная схема станции Бармино по состоянию на 1954–1974 гг. (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 21. Публикуется впервые).

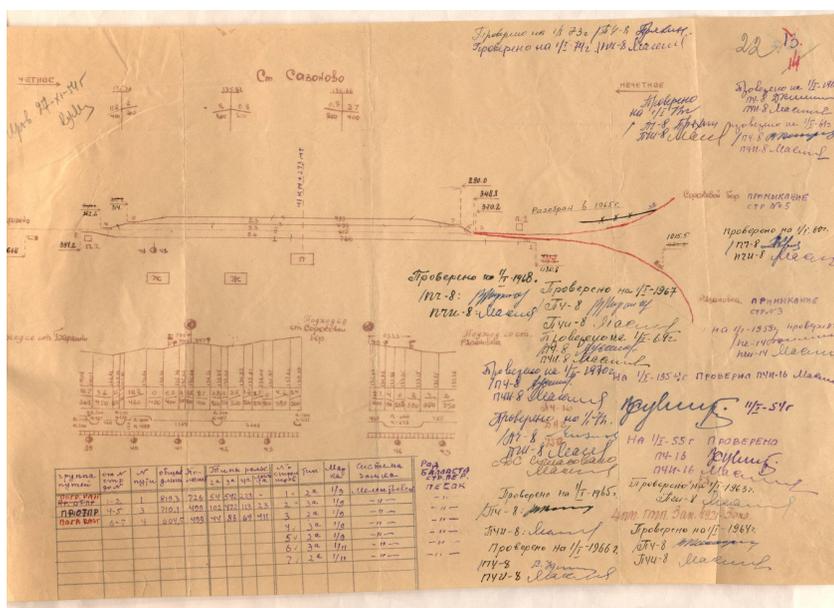


Рис. 9. Масштабная схема станции Сазоново по состоянию на 1954–1974 гг. (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 22. Публикуется впервые).

Кривандино–Рязановка и Сазоново–Сороковой Бор, последний также назывался Прудовской веткой. Последняя учитывалась от 42 до 50 километра, развёрнутая длина составляла 8379 м, на 50-м километре сводный график состояния пути заканчивался на середине страницы дела пометкой «граница с торфопредприятием», никакого отдельного пункта в этом месте не числилось. В пути на участке лежали рельсы марок Р-38 и легче, максимум Р-43, и то на протяжении всего 525 м, имелся один стрелочный перевод.

На участке Кривандино–Рязановка, развёрнутой длиной 52 500 м, имелось 22 стрелочных перевода, в пути преобладали рельсы

лёгких марок, например, Р-38 уложено 19533 м. По результатам прохода путеизмерительного вагона в 1961 году участок был оценён следующим образом: «отлично» – 2 км, «хорошо» – 8 км, «удовлетворительно» – 42 км. Построенные в 1943 году деревянные мосты продолжали эксплуатироваться. Схемы отдельных пунктов рассматриваемых линий приведены ниже.

В техническом паспорте ПЧ-8 за 1970–1973 годы участок Сазоново–Сороковой Бор назван Прудовской веткой, учтён до 50-го километра. В пути по-прежнему уложены рельсы лёгких марок. На линии Кривандино–Рязановка к 1974 году из 52 500 м на 13940 м

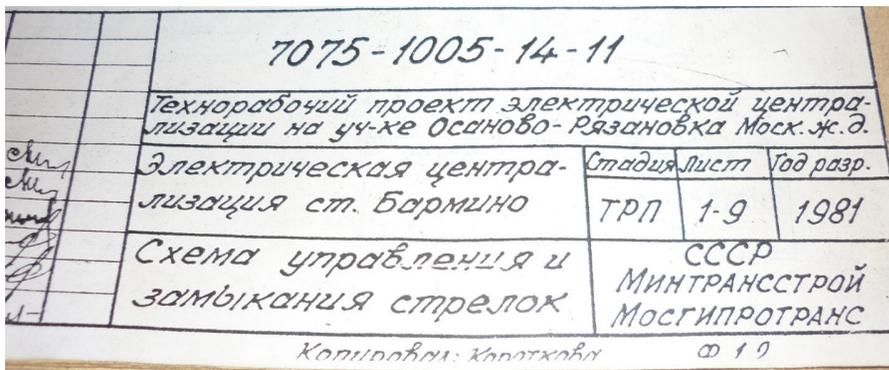


Рис. 10. Фотография одной из страниц «Технорабочего проекта электрической централизации на участке Осаново-Рязановка». Фото автора.



Рис. 11. ТЭ2-479 на станции Рязановка 1983 г. Фото В. Миронова. Публикуется с его разрешения.

и 22527 м уложены рельсы соответственно Р-65 и Р-50. В период 1960–1972 годов произведена замена всех деревянных мостов на железобетонные трубы, кроме самого длинного – через реку Летовку на 40-м километре. На участке Сазоново–Сороковой Бор мосты оставались деревянными, год постройки указан 1945, что противоречит приведённым выше выдержкам из проектной документации. Впервые указана серия применяемых локомотивов и вид путевой блокировки: ТЭ1, 2, а для линии Кривандино–Рязановка ТЭ2 и полуавтоматическая блокировка (ПАБ).

Наиболее интересен паспорт дистанции пути за 1974–1977 годы.

В нём на общей схеме путей, обслуживаемых ПЧ-8, к линии Кривандино–Рязановка добавлен участок Сазоново–Сороковой Бор–

Пилёво от 50-го километра, обозначены станции Сороковой Бор и Пилёво (именно так, с буквой «Ё»).

На этом участке произведена смена нумерации километража от станции Сазоново в сторону Сорокового Бора, отсчёт начался от нуля, граница с торфопредприятием на сводных графиках обозначается до 1977 года, в этом году стоит пометка «С 1–1-78 см Сазоново–Пилёво». С 1 января 1978 года участок учитывается как главный путь Сазоново–Пилёво длиной 34460 м, годы постройки указаны следующим образом: до 9-го км – реконструкция пути произведена в 1970 году, после 9-го км пути обозначены как «новостройка» с годами строительства: 10–22 км – 1971, с 22 до 28-го – 1972, после 28-го – 1973, 30 и 31 км – 1974. В пути уложены, в основном, рельсы





Рис. 12. Тепловоз ТЭ2-489 на станции Пилёво. Фото В. Миронова, публикуется с его разрешения.



Рис. 13. Горловина станции Пилёво. Справа налево перегоны: Пилёво–Тюково, Пилёво–Спас-Клепки узкой колеи, Пилёво–Сороковой Бор нормальной колеи. Фото В. Миронова, публикуется с его разрешения.

Р-50. Все искусственные сооружения заменены на бетонные. Новые станции сразу строились на современном техническом уровне – все стрелочные переводы на станции Сороковой Бор с 1976 года имеют электрическую централизацию, на станции Пилёво – с 1978. В качестве путевой блокировки применена ПАБ, серии локомотивов для тяги поездов – ТЭ1, 2.

На линии Кривандино–Рязановка также произведена реконструкция – до станции Сазоново все рельсы заменены на Р-50, Р-65, сама станция оборудована электрической централизацией стрелок и сигналов, однако другие станции этого участка получили её только в 1981 году (рис. 10).

Перегон Сазоново–Рязановка реконструкцию не прошёл.

Река Летовка в 1974 году была заключена в железобетонную трубу, тем самым последний деревянный мост на линии был ликвидирован (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269 л. 71).

На станциях Сороковой Бор и Пилёво имелись пассажирские платформы, а на последней ещё и вокзал. Но, по имеющимся данным, движение пассажирских поездов начато так и не было. По какой причине – неизвестно.

Последние годы линий

Сокращения на описываемых линиях начались в 1990-е годы.

По данным источника [3], первой станцией, закрытой на линии Кривандино–Рязановка, стала Пожого, что произошло в 1995 году.

Следующей, в 2004 году, по данным того же автора, была закрыта станция Осаново.

Смена собственника основного потребителя торфа – Шатурской ГРЭС-5 и последовавший за этим полный перевод её на природный газ, – эти события стали причиной прекращения торфодобычи в Шатурском районе, а, следовательно, и сделало ненужной всю инфраструктуру его перевозки, то есть и рассматриваемые линии. По данным источника [2], транспортировка торфа по ним прекратилась в 2009 году.

Надобность в промежуточных отдельных пунктах на линии Кривандино–Рязановка вследствие этого отпала. Других поездов, кроме ежедневного пригородного в объёме трёх пар, фактически не осталось. На линии Сазоново–Пилёво движение прекратилось вовсе.

Приказы о закрытии оставшихся станций вышли только через несколько лет после их фактической ликвидации: станция Бармино официально была переведена в разряд остановочных пунктов приказом Росжелдора от 26 марта 2010 года № 105, Сазоново, Сороковой Бор, Пилёво – приказом от 4 апреля 2013 года № 127.

Применительно к линии Сазоново–Пилёво приказ был формальностью – вскоре после прекращения движения путь начали расхищать на металлолом, по этому факту было возбуждено уголовное дело¹, но сведений о поимке преступников так и не было опубликовано. К середине 2010-х от линии фактически осталась просека в лесу и искусственные сооружения.

Юридически история этой дороги прекратилась списанием по балансу разрешительным письмом от 5 октября 2015 года № 54 за подписью первого заместителя начальника Московской железной дороги.

Линия Кривандино–Рязановка превратилась в один перегон, по которому курсирует ежедневный пригородный поезд, который, вероятно, дотирует Московская область. И тем удивительнее факт проведения капи-

¹ По материалам прокурорской проверки возбуждено уголовное дело по факту хищения железнодорожного пути протяжённостью более 2 км. [Электронный ресурс]: <http://www.mmtproc.ru/news/1/7811/>. Доступ 28.03.2020.

тального ремонта всех 54 километров с полной сменой верхнего строения пути в 2015 году. При этом, по состоянию на 2015 год, скорость пригородного поезда оставалась такой же, как и до реконструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящего исследования установлены или уточнены следующие факты:

- железнодорожная линия Кривандино–Рязановка построена в 1943–1944 годах;
- участок Сазоново–Рязановка построен позже остальной линии;
- назначение линии Кривандино–Рязановка по проекту и в первые годы её существования – перевозка дров для отопления Москвы;
- дата приёма линии Сазоново–Пилёво в полном объёме на обслуживание ПЧ-8 – 1 января 1978 года;
- от северной горловины станции Пилёво подъездной путь отходил к стройдвору торфопредприятия «Мещёрское»;
- по данным ПЧ-8, перегрузочная станция широкой колеи торфопредприятия «Мещёрское» называлась Торфяная.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Берзин А., Миронов В. Мещёрская магистраль. – Владимир: Посад, 2004. – 190 с.
2. Сайт о железной дороге. [Электронный ресурс]: <http://infojd.ru>. Доступ 28.03.2020.
3. Железнодорожная линия Кривандино–Рязановка. [Электронный ресурс]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13196.html>. Доступ 28.03.2020.
4. Железнодорожная линия Сазоново–Пилёво. [Электронный ресурс]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13483.html>. Доступ 28.03.2020.
5. Технический проект ж.д. ветки Кривандино–Рядовицы. ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 229–232.

СПИСОК АРХИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

- Российский государственный архив социально-политической истории (РГАСПИ) Ф. П-68 оп. 2 д. 7 л. 20.
- Центральный государственный архив города Москвы» (ГБУ «ЦГА Москвы») Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 5–81.
- ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 157.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 179.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 245.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 19–22.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269 л. 71. ●

Информация об авторе:

Федянин Алексей Игоревич – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, lekha.fedianin@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.02.2021, представлен исправленный и расширенный текст 26.01.2022, одобрена после рецензирования 14.02.2022, принята к публикации 05.03.2022.





Обсуждение доклада Н. П. Верховского по книге «Железнодорожная неразбериха» в Императорском Российском техническом обществе в 1910 году



Пресс-архив

В трёх предыдущих номерах была воспроизведена содержательная часть доклада, с которым в 1910 году в VIII Отделе Императорского Российского Технического Общества выступил Николай Петрович Верховский, представляя написанную им книгу «Железнодорожная неразбериха», посвящённую комплексному решению широкого круга насущных вопросов организации работы железных дорог. Доклад, по сути, представлял подробное и акцентированное изложение её содержания.

Не меньший интерес представляет последовавшая на заседании дискуссия, которая позволяет представить суть имевшихся более 110 лет назад в профессиональном железнодорожном сообществе взглядов и подходов к таким «вечным» проблемам, как оптимальная карьерная траектория, корпоративная культура, производительность труда, роль премирования в стимулировании эффективности работы руководителей и специалистов, соотношение роли и оплаты труда управляющего и инженерного звена компаний, борьба с нарушениями дисциплины, нагрузка от избыточной отчётности и её парадоксальная роль в освобождении от несправедливых наказаний.

Любопытным является и частный аспект дискуссии председателя собрания и докладчика по поводу отсутствия реакции читателей на публикации в отраслевых журналах.

Представляем основное содержание стенографического отчёта, опубликованного в журнале «Железнодорожное дело». В тексте максимально сохранены оригинальная пунктуация, лексика и сокращения, принятые в то время.

Ключевые слова: история, железные дороги, управление, управление персоналом, социальная политика на железных дорогах.

Для цитирования: Обсуждение доклада Н. П. Верховского по книге «Железнодорожная неразбериха» в Императорском Российском техническом обществе в 1910 году // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 92–98. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-11>.

Благодарности: редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Полный текст архивной статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the archived article in English is published in the second part of the issue.

Стенографический отчёт по докладу Н. П. Верховского и беседе в VIII Отделе И. Р. Технического Общества 2-го декабря 1910 года, под председательством А. Н. Горчакова.

Председатель. Позвольте, Николай Петрович, предложить Вам некоторые вопросы. Я записал несколько замечаний. Вообще, по Вашему многосодержательному докладу можно сделать и много вопросов, но я ограничусь немногими. Мне кажется, что Ваш доклад значительно выиграл бы, если Вы не обошли исторической стороны дела, т.е. историю образования железных дорог, того, как русские железные дороги дошли до нынешнего состояния. То же самое – нет даже краткой параллели с заграничными дорогами.

Затем, у нас в Обществе в 1892 г. издан «Очерк сети железных дорог», и, мне кажется, эта книга Вам тоже неизвестна, по крайней мере о ней Вы не упомянули и обошли некоторые из сообщённых в ней фактов. Вот если бы это было не упущено, то Вы ни гр. Баранова, ни А. А. Вендриха и В. М. Верховского не отнесли к дефектам со стороны начальников дорог и управляющих, а отнесли бы деятельность этих лиц к положению дорог в России¹. Не всё ведь лежит на обязанности управляющих и начальников дорог. Затем я хотел сказать, что в настоящее время, вследствие не особенно хорошего управления службой движения коммерческой части эксплуатации дорог, коммерческая часть скоро образует отдельную службу, наравне со службой движения. К этому жел. дор. уже готовятся.

Относительно артели, насколько помню, докладывал нам весной, в мае, г-н Траустель, который также сочувствовал этой русской организации. Меня удивляет долгое шествие этого вопроса по всем учреждениям. Вы

¹ В неопубликованной в «Мире транспорта» части выступления Н. П. Верховского отмечалось, что «... затруднения перевозки хлеба во время голода 1901 года вызвали назначение грозного полковника Вендриха с крупными Высочайшими полномочиями, для принятия энергичных мер к успешной перевозке. Очевидно, взаимной солидарности и самостоятельности управляющих и начальников дорог (т.к. тогда уже много дорог находилось в казённом управлении) высшие сферы не доверяли и пришлось прибегнуть к военной энергии, с объединением власти в одних руках... Ещё ранее этого периода железнодорожные неурядицы вызвали назначение Высочайше утверждённой комиссии графа Баранова для исследования железнодорожного дела». – *прим. ред.*

сказали, что придётся это разрешить Гос. Думе. Значит, это встречается как будто много трений, и о таких трениях ничего не сообщается в официальной печати. Чему же это приписать? Артель свойственна русскому труду, остаётся взять и принять её; но, очевидно, трения существуют по другим причинам может быть – это причины законодательные или административные, которые нам неизвестны, так что хорошее дело тормозится не железными дорогами, и их обвинять в этом никто не может, а по причинам посторонним.

Относительно разработки того вопроса, чтобы железнодорожники, при содействии нынешнего министра и администрации, принялись за усовершенствование жел. дор., кажется, в этом в нашем Техническом Обществе недостатка не было. В Техническом Обществе печатались в своё время доклады, и оно продолжает этим вопросом заниматься в своём журнале, а иногда в наших заседаниях. Доказательством этого служит и сегодняшняя беседа с Вами по поводу вашего доклада. В содействии со стороны Общества недостатка нет, и вообще, если проследите историческую часть железных дорог, то можете увидеть, что первые начинания во всех вопросах шли не от правительственных учреждений, а от частных. Это замечательно и совершенно натурально и, я думаю, во всех странах так ведётся наше дело. Вот что я хотел Вам сказать. Господа, кому угодно предложить вопросы докладчику?

Докладчик. Тот труд, о котором вы говорите, действительно, мне на глаза не попался, но я высказал то, что мне самому пришлось пережить. Я тоже сделал исторический очерк, но его не читал, и я пришёл к заключению, что начальники дорог и управляющие не могли солидарно действовать, и вследствие этого им пришлось ждать указки со стороны. Кажется, Вы сами создали проект о распределительных бюро. Если бы начальники сумели направлять грузы по собственному соглашению, то никто не мешал бы начальникам съезжаться, а Вы устроили бюро.

Председатель. Ваше указание на меня даёт мне право поправить Вас. Начальники дорог, и тогда, когда я был директором департамента железных дорог, были связаны распоряжениями департамента железных



дорог, и проекты, которые представлялись, залёживались. Винават общий строй. И теперь это дело обстоит точно так же. Это зависит от общего строя и отношения общества к администрации и, значит, причины лежат глубже, чем воля начальников дорог и управляющих. Бюро не так просто учредили: взяли и учредили. Нет, была некоторая борьба, но я не буду входить в подробности, и этого не нужно, действительно, жел. дор. были стеснены. К этому же вопросу можно присоединить и порайонные комитеты. Во все не оплошность начальников дорог и управляющих являются причиной образования порайонных комитетов, а та деятельность, которой эти комитеты себя посвятили, была бы не по плечу одним начальникам и управляющим дорог.

Докладчик. Я хочу сказать относительно артелей. Как редактор «Журнала Министерства Путей Сообщения», я хотел помочь, и я провозгласил: «Господа, говорите!». Мы сделали так: в редакции у нас 2 редактора. Я написал одно, а другой заведомо не соглашался со мной, чтобы показать, насколько мы смотрим беспристрастно. Мы ждали, не найдутся ли какие-нибудь возражения. Предполагали, что юридический отдел железных дорог посмотрит на это с юридической точки зрения и осветит этот вопрос, но полгода все молчат и, очевидно, никто не интересуется. Нужно понудить Управление железных дорог дать данные.

Председатель. Хотите знать мой ответ?

Докладчик. Я хотел бы знать.

Председатель. Причина вашего волнения по этому поводу – Ваша молодость, как редактора. В этом отношении я имею некоторое старшинство перед Вами. Я был бы очень удивлён, если бы на такое предложение с моей стороны были получены отзывы. Их нет. Публика наша особенная, и мы сами часто на полученные письма не отвечаем. У нас в журнале был учреждён отдел вопросов и ответов, и что же? Мы должны были делать то, что вы продельваете с 2-мя редакторами, т.е. мы, задавая вопросы, сами на них отвечали, желая примером вызвать обмен мнений. Мы должны были ограничиться этим.

[Выступления в прениях]

Ю. Н. Эрлих. Я должен сказать, что прочитал книгу, о которой идёт речь, так что я достаточно осведомлён о мнениях доклад-

чика. Как видно из доклада, книга содержит много интересных цифр, и я не знаю, почему докладчик так скромно озаглавил её: «Неразбериха». Я думаю, при том громадном опыте, который проглядывает в авторе, он понял, что нужно особенно подчеркнуть.

Мы практики дела, знаем, что мы обязаны держать слишком много служащих, а почему? Автор книги знает, потому что мы обременены доставлением массы сведений, которые никому не нужны. Эти сведения составляются потому, что начальство, по теории, должно знать всё и мы должны обо всём доносить. Дело доходит до того, что недавно было совещание, где задалась задачей уменьшить число бланков отчётности, и нам было поставлено такое требование, что центральные учреждения желают знать, сколько в России по каждому перегону всех железных дорог направляется грузов в одном и другом направлении. Когда на этом заседании один из присутствовавших начальников службы движения сказал: «казённых дорог 40 000 вёрст и с частными всего 60 000 вёрст, а у меня 2000 версты в моём распоряжении, и я интересуюсь лишь 2–3 загруженными направлениями, а остальными не интересуюсь», ему отвечали: Вы можете так смотреть, но нам это не годится; мы должны знать всё.

Потом одна из причин, один из недостатков жел. дор. заключается в непроизводительности труда. Неурядица жел. дор., может быть, зависит от того, что у нас гонятся за нивелировкой содержания. У нас считается прекрасным, если содержание подобрано одинаково для всех, все получают одинаково. Если человек работающий получает столько, сколько и другой, менее работающей, то это в большинстве случаев производит нехорошее действие, уменьшает его энергию, а тут нужно придерживаться системы, которую автор верно указал, что люди должны вознаграждаться неравномерно. Этот принцип противоположен принципу казённых жел. дор., которые этого избегают.

В частных предприятиях ответственные лица, хотя и младшие служащие, выделяются и получают гораздо больше, чем их сослуживцы. Поэтому они и стараются. Вот это один из приёмов в нашем общем деле неизбежный.

Затем я не могу согласиться относительно премий, что старшие служащие будто бы

получают слишком много, а младшие мало. Так я понял?

Докладчик. Нет, я указал частичный пример, который был сообщён в Гос. Думе, что премии по товарно-станционным работам выдаются начальникам движения.

Ю. Н. Эрлих. Если премировать всех без исключения, то, какие бы кредиты ни были, в конце концов на долю каждого получится очень мало, а малая прибавка к жалованию не есть премия. Поэтому приходится людей делить на таких, которые руководят делом, и тех которые руководимы. Поэтому для того, чтобы иметь успех, нужно руководителей выделить. Способ, который вы указываете, на частных дорогах практикуется с полным успехом.

Что касается того, что успех в таком деле зависит от подбора служащих, то это ясно, но где это может быть осуществлено? Это может быть осуществлено только на новых линиях. Здесь, предположим, начальники могут подбирать себе служащих, а на старых линиях люди служат много лет, устроились, и этот подбор начальникам линий менее доступен, и такая каста, о которой говорит докладчик, сама собой образуется из старослужащих. Я не могу относиться к этому явлению, как к такому, которое приносило бы большую пользу. Я, напротив, думаю, что это приводит на жел. дор. именно к тому, что на жел. дор. исчезает тот импульс, который есть тогда, когда люди подбираются по талантности. Тут поневоле приходится считаться с тем, что приходится держать людей, которых нельзя не принять на службу. Это будет громадной обузой, так что образование касты я не могу признать мерой рациональной, которая может способствовать прогрессу жел. дор., тем более, что сам автор, когда указывает, что на службе тяги проглядывает цеховое начало, ставит это в минус службе тяги. Казалось бы, если по службе тяги бывает, что не разбираются, кто прав, кто виноват, и только своих отстаивают, то тем более это будет, если все служащие железной дороги будут составлять собой касту.

Затем докладчик предлагает предопределение в выборе начальника дороги. Как я понял, заранее как будто определяется, что такой-то молодой человек может быть проведён в будущем начальники. Как я могу разобрать, что один молодой человек имеет материал быть начальником, а другой не

имеет? Если молодой человек будет знать, что готовится в начальники, то будет ли это полезно?

Докладчик. По поводу касты я скажу, что образование касты я связываю с систематической и планомерной подготовкой личного состава. Я ни одним словом не обмолвился, чтобы касту понимать таким образом, чтобы каждый железнодорожнику раз его родители были железнодорожными служащими, приобрёл право на звание железнодорожника, чтобы каждый служащий, какими бы отрицательными качествами он ни отличался, непременно был на службе. Я так не понимаю и говорю, что если существует такая каста на службе тяги, то я указываю её отрицательную сторону. Когда попадётся принципал, не особо развитый, то даст направленные касте нехорошее в смысле поддержки друг друга во что бы то ни стало. Во всяком случае, железнодорожных служащих такая масса, что всех их, понятно, пристроить никак нельзя на жел. дор. Железные дороги обладают такой массой молодежи, что из неё можно делать выбор; так что негодящие не будут приниматься.

Что касается приготовления начальников дороги, то способы есть разные. Я останавливаюсь на этом способе именно потому, что, мне кажется, лица, подготавливающиеся к деятельности начальников дорог, должны пройти массу должностей, чтобы ознакомиться со службами, и такие лица будут, может быть, более компетентными начальниками дорог, и из них возможен выбор. После издания этой книги я получил массу писем, и один инженер пишет, что я таким образом ставлю вопрос, что инженер, подготовленный таким способом, будет ставить известные требования: я так подготовился и должен быть начальником дороги. Подготовиться он подготовился, но, может быть, обладает такими отрицательными талантами, которые недопустимы в жел.-дор. деле. Я не ставлю вопроса так, что если инженер проделал всё, что я рекомендую, то может требовать места начальника дороги. Он может быть начальником службы, потому что у него есть недостатки, которые не дают ему возможности быть назначенным начальником дороги.

М. А. Щукин. Мне кажется, в этом отношении вы едва ли правы. По опыту мы знаем массу начальников дорог, которые как раз



никаких служб не проходили и оказывались самыми лучшими начальниками дорог. Я не буду называть фамилии, но это так.

Затем вы говорите, что на жел. дор. существует нивелировка. Это неверно. Начальники станций получают от 40 р. до 150 р.

Ю. Н. Эрлих. Слишком малая разница.

М. А. Щукин. Простите, разницу между окладами в 40 и 150 едва ли можно считать малой. Разницы в окладах существуют во всякого рода должностях и зависят от дела, которое поручается известным лицам, хотя и занимающим одинакового названия должности.

П. А. Александров. Я хотел бы сказать по поводу рекомендованного докладчиком способа бороться с хищениями. Автор, с одной стороны, призывает к совместной дружной работе и, с другой, расписывается в полном бессилии, т.е. говорит – «сеть наша велика и обширна, но порядка в ней нет – давайте варягов». Я говорю о всероссийской артели «Варяг», усиленно рекомендуемой докладчиком. Я совершенно присоединяюсь к заявлению г-на Эрлиха о перегруженности железнодорожных служащих работами по составлению различных сведений, в ущерб прямым обязанностям.

Сколько одних статистических сведений, никому не нужных? Глубокоуважаемый Иван Иванович ф.-Рихтер произвёл подсчёт этой массе бумаг. Он может подтвердить, сколько делается излишней, повторной. Дайте людям заниматься своим прямым делом, обеспечьте их материально, – и тогда теми же средствами мы справимся с хищениями! Такой призыв к варягам не нужен, нужно только поставить дело правильно.

Докладчик. Тому, что сейчас сказано, я совершенно сочувствую и, по правде сказать, это я упустил из виду. Я сам, как опытный человек, страдал от представления массы таких материалов, хотя и очень ценных и прекрасно подобранных. Например, на службе движения, как любитель этого дела, я старался представлять самые точные и верные сведения, и каково было моё положение, когда зачастую я получал запросы – дать сведения. Я говорил – позвольте обратиться к этому. «Нет, говорят – давайте сведения», и я должен был сообщать депешами о том, что послал месяц назад правильно изложенное на бумаге. Я позабыл об этом написать, но об этом можно написать немало

хороших страниц, особенно мне, как свободному человеку. Это – большая язва, хотя переписка многих спасла от кутузки. С тех пор как стали писать, мы перестали сидеть. Инженер способный и дельный отсиживал за то, что не успел выработать инструкцию. Что касается вашего замечания, то в моей книге я не раз говорил, что могу указать массу способных и дельных инженеров. Не мог я говорить о людях живущих; я об Ададурове мог сказать, и эта прибавка была сделана после смерти его. Я сделал прибавку потому, что служил 11 лет с ним. Это был великолепный администратор. То же самое могу назвать массу дельных инженеров, превосходных администраторов, которые рекомендуемой мною школы не проходили. Это зависит от таланта. Было бы прискорбно, если бы мы не обладали такими талантливыми элементами. Мы не достигли бы того, чего достигли теперь, и положение наше, может быть, было бы хуже, чем теперь.

И. И. ф.-Рихтер. Я также прочитал книгу докладчика с большим вниманием и притом дважды, и нахожу, что картина, им нарисованная, верна, но, мне кажется, столь же важны, как самые явления, причины их. Я совершенно присоединяюсь к мнению, г-на Председателя, что исторический разбор мог бы раскрыть все условия современного положения жел.-дор. дела. Я думаю, железные дороги суть плоть от нашей плоти. Мы имеем жел. дор. такие, какие заслуживаем иметь. Оглянемся кругом на то, что делается в России. Разве жел. дор. хуже действуют, чем весь остальной механизм? Нет, нисколько. Мы видим, что некоторые относятся к этому делу с пессимизмом, другие с оптимизмом. Я сначала был оптимистом, но сделался настолько пессимистом, что меня не поражает даже то, что нас огульно обзывают мошенниками. Почему жел. дор. должны образовать оазис, где будет царствовать нравственная чистота? Я думаю, что нужно изучить, все условия, и тогда всё будет ясно, и можно перейти к оценке выводов и предложений, которые делаются для исправления зла. Я говорю: тщательное изучение истории несомненно раскрыло бы, что для ведения войны, как и жел.-дорожного дела, нужны три вещи: деньги, деньги и деньги.

Вся неудовлетворительность наших жел. дор. слагается из их убыточности. Вам известно, насколько раздута эта убыточность,

сколько воды заключается в капиталах, насколько недостоверны наши балансы. Недавно анкетная комиссия указала, что ни пассивная, ни активная сторона этого баланса никому в точности неизвестны.

Если бы дороги наши давали прибыль, то мы находили бы, что всё хорошо. В настоящее же время мы, чины Управления, являемся козлами отпущения. Тарифами мы не заведует, обслуживаем не только торговлю и промышленность, но и всевозможные государственные потребности, которые в активе нашего баланса не фигурируют. Управления дорог подвергаются неслыханной опеке; мы не можем ни шагу ступить без того, чтобы не подвергнуться руководительству, в котором, однако недостаёт единства. Здесь возник вопрос: нужны ли советы. Я думаю, они неизбежны: там, где Министр путей сообщения не может распорядиться без Министра финансов и целого ряда других министров, там начальники дорог не могут быть самостоятельны. Говорят, что начальники дорог плохи. Я оставляю этот вывод на ответственности докладчика и готов допустить, что это так. Мне интересны не факты, а их причины. Говорят, что личный состав не организован. Он дезорганизован. Мы замечаем, что за последние 50 лет он стал много хуже. Такого всеобщего бегства, как теперь, не было. Сколько бы ни подготавливали служащих, они уйдут от нас. Они оплачиваются грошами. Я был в Вашингтоне, в Америке, и поинтересовался узнать, какими средствами обладает служба сборов.

На сети в 2400 станций, т.е. в 10 раз больше чем на Северо-Западных жел. дор., было служащих 200, у нас же 800. Барышни получают по 1800 р. на наши деньги. Это объясняется не только напряжённостью работы, но и другими условиями.

В Америке жел. дор., чтобы избежать контроля федерального правительства, выдают накладные лишь в пределах собственных линий. Процедура учёта проста – учитывается перевозка по нормам и правилам внутреннего сообщения. Сравнение с нашими условиями показывает, насколько это проще, однако ни о чём подобном мы думать не можем.

Затем говорилось здесь о перепроизводстве статистики. Это есть результат воздействия целой массы органов, которые предъявляют свои требования к жел. дор., не сооб-

разуясь со средствами последних. Я произвёл опыт классификации соответствующих данных и показал, как велико это перепроизводство. Я знаю, мы действуем неудовлетворительно во всех отношениях, и в техническом, и в хозяйственном, но почему? Потому что на одной дороге, на которой я служил, средний возраст паровозов был 37 лет, а продолжительность службы служащих 5,7. Самовар такого возраста годился бы в кунсткамеру. Помнится ещё, в 60-е гг. приезжал в Россию американец и спрашивал, что мы делаем со старыми паровозами? Мы их ремонтируем, паровозы ведь не стареют. Оказывается, в Америке меняют шкуру каждые 10 лет, а мы продолжаем ставить заплатки на старую подошву. Что касается служащих, то в этой области обнаруживается как раз обратное.

Говорят, станционные расходы поглощают громадные деньги.

Прошло 40 лет, и сдельный учёт станционных расходов существует только на бумаге. Я позволю себе рассказать, что было на Николаевской ж.д.: директор, покойный И. Ф. Кениг, вследствие моего заявления, что условие такого учёта заключается в концентрации помещений и аппаратов, при помощи которых производится движение, решил перестроить для опыта одну из маленьких станций. Известно, что станции эти имеют двойные здания и приходится содержать службу в 2 корпусах. На этой маленькой станции устроен тоннель, чтобы соединить все службы в одном корпусе. Покойный сказал: я построю вам этот памятник, и он останется в назидание потомству, но, я думаю, ни я, ни вы не доживём до этого момента. Это и есть неизбежный продукт наших условий. Пока условия не изменятся, это дело не изменится. Эти условия очень разнообразны, и даже есть подцензурные условия, которых я назвать не могу, а другие подвергаются гласному обсуждению. Их так много, что если я начну их обсуждать, то до завтра не договорю.

Докладчик. У меня есть такая фраза: «Общество увидит, насколько жел.-дор. мир сложен и как довести его до совершенства, при общем несовершенстве всех ведомств вообще и даже самой общественной среды, из которой черпаются деятели нашего обширного хозяйства». Следовательно, я понимал, что не можем быть мы совершенством, когда несовершенны другие.





Наше общество должно снисходительно, поэтому относиться к дефектам путейским.

М. А. Щукин. Я знаком с некоторыми заводчиками и в откровенной беседе я слышал мнение, что воровство, о котором шла речь в последнее время, распространено в России очень серьёзно, и довольно трудно иметь дело с разными учреждениями, но легче всего с тем учреждением, которое так ругают. Я это слышал собственными ушами.

И. И. ф.-Рихтер. Я думаю, что есть много преувеличений. Я думаю, воровали всегда и прежде, и теперь, но теперь общественное мнение реагирует больше. Общий Устав создал много невыгодных для дорог условий, и воруют то, что плохо положено, например, недостаточная специализация грузовых помещений и недостаточное развитие сортировочных устройств, препятствующая классификация и специализация поездов и вагонов, играют большую роль, а чтобы устранить это, нужно много денег. Рецепт, который рекомендуется, – специализация не есть что-нибудь новое. Чтобы сравнить прежние взгляды и пожелания с теперешними, я взял библиографический указатель, составленный ещё по распоряжению гр. Баранова, и оказалось, что тогда так же, как и теперь, нас занимала эта специализация. Не имеется специально построенных пакгаузов и путей, а приказы и циркуляры по этой части существовали всегда. Когда груз разбросан по всему поезду, по всем вагонам, вскрываемым на каждой станции, то как же, чтобы его не похищали?

Ю. М. Эрлих. Я скажу о квартирном вопросе. Я знаю, дорогу, которая, проводя расценочную ведомость на несколько миллионов, включила несколько сот тысяч рублей на жилые помещения. Линия идёт по степной местности, где негде жить, и вот при рассмотрении ведомости возражал представитель Государственного контроля. Он заявил: «вам гораздо проще давать квартирные деньги».

М. А. Щукин. Соображения по этому вопросу были представлены всеми казёнными железными дорогами и, насколько я знаю, без особых мнений Контроля; но само Министерство Путей Сообщения нашло более выгодным выдачу квартирных денег.

Председатель. В заключение я хотел бы сказать только то, что нынешний доклад выслушан был с большим интересом. Доклад коснулся сферы, отлично нам знакомой, и тем не менее до самого конца он не утратил

интереса. Конечно, такое сохранение интереса принадлежит самому докладчику. Мы должны его за это благодарить. А что из этого доклада выйдет? Прибавятся в общем сознании ещё факты, заслуживающие внимания. У нас нередко бывали доклады, хорошие, но от них, к сожалению, мало было непосредственной пользы, вследствие опять-таки тех общих условий, о которых сегодня говорили. Точно так же, если не будет успеха этому докладу, то такой результат будет не по вине докладчика или нашей. Те мероприятия, о которых мы говорили, находили прежде, нашли и теперь себе сочувствие. Желательно, чтобы на это общественное мнение и власти обратили внимание, и хотя что-нибудь из возможного сделали. Позвольте, милостивые государи, предложить благодарить докладчика и оппонентов его, а также лиц, поддержавших его, за эти сообщения и за желания улучшить железные дороги в нашем отечестве (*аплодисменты*).

От Редакции [«Железнодорожного дела»]. Вышеприведённый доклад, по величине своей не мог быть прочтён сплошь, без пропусков, в 1¹ /₂ или 2 часа, которыми можно было пользоваться для его прочтения, а потому в последовавшей за докладом беседе некоторые места доклада остались как бы обойдёнными или незамеченными. Тем не менее по соглашению с уважаемым докладчиком, мы решились их не исключать и предоставляем желающим высказаться по всему докладу возможность это сделать.

Во всяком случае, обязываемся обратить внимание господ-критиков на целесообразность пользования накопившимся в «Железнодорожном Деле» за почти 30-тилетнее его издание материалом по всем отраслям деятельности железных дорог и их управлений по «Систематическому указателю статей, помещённых в журнал «Железнодорожное Дело» за все годы с начала его издания в 1882 году» и в частности преимущественно относящимся к докладу материалом в отделе «Личный состав», в котором имеются выдающиеся статьи и заметки г.г. Шишкова, Рихтера, Радцига, Задерацкого и мн. др. – Объявленная цена означенного «Систематического Указателя» будет понижена.

(Железнодорожное дело. – 1911. – № 21–22. – С. 50д–60д) ●

Т



РЕЦЕНЗИЯ 100

Контрольно-надзорная деятельность на транспорте. Довольно новая дисциплина нуждается в новых учебниках.



ЖУРНАЛЫ-ПАРТНЁРЫ 104

65 лет Бюллетеню ОСЖД. С чем подошло издание к юбилею?

КНИЖНАЯ ПОЛИЦИЯ



АВТОРЕФЕРАТЫ 112

- Безопасность производственных процессов предприятий железнодорожного транспорта на основе снижения влияния человеческого фактора.
- Энергосберегающее управление силовыми установками газотурбинных локомотивов.
- Модель управления энергетическим комплексом железнодорожного предприятия для интеллектуальной поддержки процессов принятия решений.
- Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования.
- Математическое и алгоритмическое обеспечение вычисления показателей эффективности обслуживания и ремонта сложного оборудования.
- Формирование на поверхности режущего инструмента и деталей дискретных диффузионных оксидных слоев для повышения их долговечности.



НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 122

Недавно вышедшие книги и учебники о транспорте.



Правовое регулирование и организация контрольно-надзорной деятельности: новые методические горизонты для новой дисциплины



Иван ХОЛИКОВ

Иван Владимирович Холиков

Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия.

✉ iv_kholik@mail.ru.

Актуальные проблемы правового регулирования и организации контрольно-надзорной деятельности: Учебник / Коллектив авторов; под общ. ред. А. И. Землина. – М.: КноРус, 2023. – 592 с. ISBN 978-5-406-10620-4.

Статья представляет собой рецензию на учебник «Актуальные проблемы правового регулирования и организации контрольно-надзорной деятельности» для студентов транспортных вузов, обучающихся по программам магистратуры, подготовленный коллективом кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта под общей редакцией Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора юридических наук, профессора А. И. Землина. Отмечается актуальность тематик, включённых в содержание учебника, широта их освещения, позволяющая обеспечить полное и всестороннее освоение дидактического материала, глубина научного подхода, продемонстрированного авторами в процессе работы над изданием, практическая значимость и потенциальная востребованность учебника. Особо подчёркивается достаточность материала, представленного в учебнике,

для формирования как у студентов транспортных образовательных организаций, так и у уже действующих инспекторов Ространснадзора профессиональных компетенций, необходимых для успешного выполнения ими обязанностей по должностному предназначению в условиях вступившего в силу с 1 июля 2021 года Федерального закона от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации».

Учебник рекомендован к использованию в качестве основной литературы при обучении магистрантов по направлению «Юриспруденция» и слушателей из числа инспекторского состава Ространснадзора по программам дополнительного профессионального образования «Правовое обеспечение и организация контрольно-надзорной деятельности на транспорте» и «Организационно-правовые основы контрольно-надзорной деятельности на транспорте». При работе с учебником использовались Справочные правовые системы «ГАРАНТ» и «Консультант-Плюс», законодательство приводится по состоянию на 1 марта 2022 года.

Ключевые слова: контрольно-надзорная деятельность, транспорт, право, законодательство, обучение, студенты, правовое обеспечение.

Для цитирования: Холиков И. В. Правовое регулирование и организация контрольно-надзорной деятельности: новые методические горизонты для новой дисциплины // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 100–103. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-12>.

Полный текст статьи-рецензии на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
 The full text of the review article in English is published in the second part of the issue.

Успешное функционирование транспортной системы предполагает, наряду с осуществлением мероприятий по обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры [1; 2], выполнением международно-правовых обязательств нашего государства в транспортной сфере [3], реализацией комплекса социальных и медицинских мероприятий, направленных на снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций и сохранение здоровья людей [4], уменьшением ущерба окружающей природной среде [5; 6] и многим другим, также и осуществление контрольно-надзорной деятельности.

Внимание, уделяемое специалистами в области транспортно-правовой науки проблемам правового регулирования транспортных отношений, возникающим при осуществлении различных видов деятельности, вполне закономерно и обусловлено потребностями развития транспортной системы России [7]. Подготовка специалистов транспортной отрасли в области правового обеспечения их профессиональной деятельности является залогом постоянного совершенствования и развития этой отрасли [8]. Всё это в полной мере относится к контрольно-надзорной деятельности на транспорте.

Это обстоятельство определяется той ролью, которую играет «человеческий фактор» в числе предпосылок и причин нарушений правил эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств [9], а также значением транспортной безопасности в целом, что в указанной сфере должна формироваться в рамках институциональных субъектов законодательства, ответственных за обслуживание соответствующих отраслей [10], высокой степенью уязвимости объектов транспортной инфраструктуры для актов незаконного вмешательства [11; 12], а также иными обстоятельствами, на которых акцентируют внимание представители транспортно-правовой науки и образования [13–16].

Практическая значимость подготовки высококвалифицированных специалистов для осуществления контрольно-надзорной деятельности на транспорте, обладающих системными правовыми знаниями и навыками организации контроля (надзора),

подтверждается результатами работы транспортных прокуроров, зачастую отмечающих низкий уровень как теоретической, так и практической подготовки инспекторского состава Ространснадзора, а также работников подконтрольных организаций.

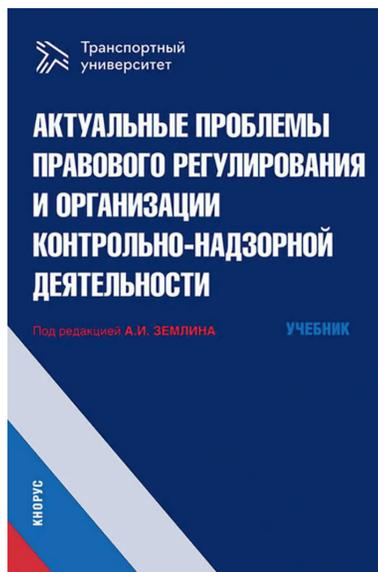
При этом вступивший в силу с 1 июля 2021 года Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», устанавливает принципиально новые требования к порядку и процедурам контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации и предъявляет новые требования к подготовке участников контрольно-надзорных отношений.

Так, основными задачами, решаемыми в процессе обучения специалиста, являются: вооружение обучающихся совокупностью правовых знаний, навыков и умений, необходимых для понимания принципов, форм и методов государственного управления, контроля (надзора) и реализации их в процессе профессиональной деятельности по должностному предназначению; формирование у обучающихся навыков и умений, необходимых для эффективного участия в осуществлении контрольных мероприятий, обеспечения исполнения подконтрольными (поднадзорными) лицами требований законодательства, соблюдения обязательных требований.

Кроме того, статья 29 Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в РФ» устанавливает обязанности инспектора, исполнение которых предполагает наличие у него компетенций правовой направленности, связанных с осуществлением юридически значимой деятельности и реализацией прав инспектора.

Данные обстоятельства обусловили потребность издания учебника «Актуальные проблемы правового регулирования и организации контрольно-надзорной деятельности», который был подготовлен коллективом учёных – представителей научной школы «Транспортное право», созданной и функционирующей в Юридическом институте Российского университета транспорта, являющегося базовым отраслевым вузом, научным и учебно-методическим центром транспортной отрасли. Материал,





представленный в указанном учебнике, кардинально переработан и существенно дополнен, по сравнению с темами, представленными в ранее имевшейся на рынке печатной продукции.

Констатируя его своевременность, теоретическую обоснованность и практическую значимость необходимо также отметить, что авторы ставили своей целью восполнение недостатка учебной литературы, необходимой обучающемуся для исполнения обязанностей по предстоящему предназначению и в соответствии с квалификационными требованиями, предъявляемыми к лицам, замещающим должности государственной гражданской службы, связанные с исполнением полномочий инспектора.

При формировании структуры учебника были учтены потребности специалистов на транспорте в получении правовых знаний по всем направлениям контрольно-надзорной деятельности. Так, издание содержит дидактические блоки, включённые в рабочую программу дисциплины «Актуальные проблемы публично-правового регулирования транспортных отношений при осуществлении контрольно-надзорной деятельности», изучаемой студентами Юридического института РУТ в рамках программы магистерской подготовки по профилю «Правовое обеспечение транспортной безопасности, контрольно-надзорной и правоохранительной деятельности на транспорте», направлению «Юрис-

пруденция». Также учебник рекомендован в качестве основной литературы для обучения по программам дополнительного профессионального образования «Правовое обеспечение и организация контрольно-надзорной деятельности на транспорте» и «Организационно-правовые основы контрольно-надзорной деятельности на транспорте», ориентированным на повышение квалификации и переподготовку государственных гражданских служащих из числа инспекторского состава Ространснадзора и должностных лиц подконтрольных (поднадзорных) организаций.

Материал, содержащийся в учебнике, изложен в доступной форме, структурирован в соответствии с логикой освоения необходимых для системного восприятия проблем осуществления контрольно-надзорной деятельности знаний.

Особо хотелось бы отметить, что издание рецензируемого учебника представителями научной школы «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта свидетельствует о продолжении традиций, исторически сложившихся в ведущем транспортном вузе, согласно которым формирование высокой правовой культуры является важнейшей составляющей подготовки специалиста для нужд транспортной отрасли [17–21].

С учётом изложенного представляется возможным констатировать, что учебник написан доступным, но, вместе с тем, юридически грамотным литературным языком,

вне всякого сомнения, в значительной мере восполняет имеющийся недостаток учебной литературы для преподавания студентам транспортных образовательных организаций, обучающимся по программам магистратуры, полностью соответствует государственному образовательному стандарту по юриспруденции и, безусловно, будет востребован не только студентами РУТ и слушателями дополнительных профессиональных программ, но и аспирантами, научно-педагогическими и практическими работниками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Землин А. И., Козлов В. В. Противодействие терроризму. Организационно-правовое обеспечение на транспорте: Учеб. пособие для бакалавриата, специалитета и магистратуры. – М.: Юрайт, 2019. – 182 с. ISBN 978-5-534-10013-6.
2. Землин А. И., Козлов В. В. Безопасность жизнедеятельности для транспортных специальностей: противодействие терроризму на транспорте. Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2020. – 156 с. ISBN 9785534140446.
3. Холиков И. В. Международно-правовые аспекты реализации Транспортной стратегии Российской Федерации в сфере медицинского обеспечения на транспорте // Транспортное право и безопасность. – 2018. – № 4 (28). – С. 93–99. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36782509>. Доступ 11.07.2022.
4. Холиков И. В., Клёнов М. В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России // Мир транспорта. – 2019. – № 3. – С. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.
5. Bagreeva, E. G., Shamsunov, S. K., Zemlin, A. I. Environmental Safety Conditions in the Transport Sector by Improving the Culture of Lawmaking. *Ekoloji*, 2019, Vol. 28, No. 107, pp. 4071–4076.
6. Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. K. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, Vol. 28, No. 107, pp. 4961–4965.
7. Холиков И. В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 1 (86). – С. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.
8. Холиков И. В. Право и транспорт: продолжение темы // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 4 (89). – С. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253.
9. Холиков И. В., Вовкодав В. С. Человеческий фактор безопасности полётов: военно-правовые аспекты // Военное право. – 2017. – № 6 (46). – С. 177–179. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30585308>. Доступ 11.07.2022.
10. Землин А. И., Тимонина И. В., Химич Т. М. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности для транспортных специальностей: Учебник / Под общ. ред. А. И. Землина. – М.: Юрайт, 2019. – Сер. 68 Профессиональное образование (3-е изд., пер. и доп.). – 478 с. ISBN 978-5-534-07281-5.
11. Землин А. И., Землина О. М., Швыдченко О. Н. Актуальные вопросы технического регулирования безопасности метрополитенов // Вестник Юридического института МИИТ. – 2018. – № 1 (21). – С. 87–101.
12. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the 13th International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. Springer, Singapore, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
13. Артамонова С. Н., Расулов А. В., Пищелко А. В. [и др.]. Правовое обеспечение профессиональной деятельности (для студентов транспортных вузов: Учебник. – Сер. 76 Высшее образование (1-е изд.). – М.: Юрайт, 2020. – 398 с. ISBN 9785534136555.
14. Духно Н. А. [и др.] Транспортное право: Учебник для бакалавриата и специалитета / Отв. ред. Н. А. Духно, А. И. Землин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 380 с. ISBN 978-5-534-09760-3.
15. Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203 (107), art. 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202020305019.
16. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 666, pp. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
17. Петров Ю. И., Землин А. И., Землина О. М. Зарождение системы управления путями сообщения и транспортного законодательства России в IX–XVIII веках // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3 (82). – С. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.
18. Землин А. И., Петров Ю. И. Опыт правового регулирования и организации обучения и преподавания в Императорском московском инженерном училище: 1896–1913 // Вестник архивиста. – 2021. – № 1. – С. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.
19. Артамонова С. Н., Гоц Е. В., Землин А. И. [и др.]. Правовая культура: Учебник / Отв. ред. А. И. Землин. – М.: Юрайт, 2022. – 522 с. ISBN 978-5-534-15223-4/
20. Землин А. И., Холиков И. В. Аксиологические подходы к формированию правовой культуры специалиста-транспортника в современных условиях // Сб. научных трудов ИЗИСИП «Правовые ценности в свете новых парадигм развития современной цивилизации». – М.: Инфра-М, 2020. – С. 403–411.
21. Землин А. И. Формирование правовой культуры специалиста на транспорте как условие реализации Транспортной стратегии и достижения национальных целей социально-экономического развития России // В сб.: Транспортная безопасность и противодействие терроризму на транспорте: правовые и организационные аспекты. II Международный научный форум. Российский университет транспорта, Юридический институт. – М.: РУТ, 2021. – С. 21–28. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47471414>. Доступ 11.07.2022. ●

Информация об авторе:

Холиков Иван Владимирович – доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, iv_kholik@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.06.2022, принята к публикации 13.07.2022.





65 лет издательской деятельности «Бюллетеня ОСЖД»



Мирослав АНТОНОВИЧ,
Сергей КАБЕНКОВ

В этом году Бюллетень ОСЖД – издание Организации сотрудничества железных дорог – отмечает 65-летний юбилей. Будучи практически ровесником самой организации, Бюллетень все эти годы неустанно освещал её деятельность, доносил до читателей информацию обо всех её сторонах, а также о достижениях её членов, рассказывал о важнейших проектах, популяризировал научно-технические идеи.

Представляем с согласия наших коллег из редакции «Бюллетеня ОСЖД» основное содержание статьи Председателя Комитета ОСЖД М. Антоновича и главного редактора Бюллетеня ОСЖД С. Кабенкова из вышедшего по этому случаю юбилейного номера.

Ключевые слова: ОСЖД, Бюллетень ОСЖД, железные дороги.

В первом-втором номерах «Бюллетеня ОСЖД» за 2022 год размещён материал, посвящённый 65-летию его издательской деятельности.

В обращении к читателям председателя Комитета ОСЖД Мирослава Антоновича и главного редактора журнала «Бюллетень ОСЖД» Сергея Кабенкова отмечается, что за этот период вышло уже 380 номеров. В течение всей своей многолетней истории многоязычный технико-экономический информационный специализированный журнал с достоинством и в полной мере выполнял свою важнейшую функцию печатного органа ОСЖД, став своего рода «прожектором» по популяризации деятельности ОСЖД в области развития и совершенствования международного железнодорожного транспорта, освещая на своих страницах все важнейшие события как в деятельности Организации, так и в жизни железных дорог стран – членов

наблюдателей и присоединённых предприятий ОСЖД, а также организаций-партнёров по сотрудничеству.

История создания и развития «Бюллетеня ОСЖД»

Журнал был создан на основании решения II сессии Совещания Министров, состоявшейся в городе Пекине в 1957 году, где министром путей сообщения СССР Борисом Вещевым было предложено начать выпуск «Бюллетеня ОСЖД» на китайском, немецком и русском языках для популяризации решений и рекомендаций, принятых руководящими органами ОСЖД, а также для обмена информацией об опыте работы и о достижениях железных дорог стран-участниц ОСЖД. Журнал начал выходить с 1958 года 6 раз в год на китайском, немецком и русском языках, а с января 2015 года версия на немецком языке была заменена на версию на английском.

Для цитирования: Антонович М., Кабенков С. Ю. 65 лет издательской деятельности «Бюллетеня ОСЖД» // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 104–111. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-13>.

*Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.*

За 65 лет изданию, как и всей Организации в целом, удалось пройти важные этапы становления и развития. Журнал играл и продолжает играть важнейшую роль в популяризации деятельности и решений Организации сотрудничества железных дорог, сближая железнодорожников всех стран, входящих в ОСЖД.

Самой первой публикацией в первом номере журнала в 1958 году (первым главным редактором в то время был представитель Германии Хайнц Хайсс) стала статья Хенрика Дронжкевича – представителя Польских государственных железных дорог, являвшегося в то время Председателем Комитета ОСЖД, о создании ОСЖД, её структуре и основных направлениях деятельности.

В последующем на страницах журнала со статьями выступали министры, ведающие железнодорожным транспортом в странах – членах ОСЖД, руководители железных дорог ОСЖД, наблюдателей и присоединённых предприятий ОСЖД, руководство и члены Комитета ОСЖД, специалисты и эксперты в области железнодорожного транспорта из всех государств-участников ОСЖД.

На начальном этапе становления журнал печатался в чёрно-белом варианте с использованием технологии высокой (типографской) печати. Простота печатного процесса при использовании данной технологии, лёгкость изготовления печатной формы, чёткие начертания букв, ровные штрихи и контуры оттисков высокой печати надолго сделали высокий способ печати доминирующим.

По мере развития цифровых технологий и компьютеризации во всех областях челове-

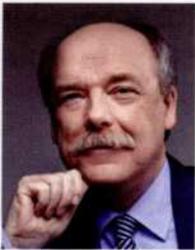


Рис. 1. Хенрик Дронжкевич.

ческой деятельности, в издании журнала в конце 90-х–начале 2000-х годов (главными редакторами в этот период были А. Глонти, Л. Слободинюк и А. Филимонов) произошёл переход на электронный набор статей с помощью персональных компьютеров, что значительно улучшило, ускорило и упростило подготовку материалов для их последующей печати.

Изменились и технологии самой печати, где стали применяться современные цифровые виды офсетной печати: computer-to-plate или C-to-P. Больше внимание стало также уделяться внешней оформительской стороне журнала, где стали шире использоваться цифровые технологии, что привело к созданию его существующего дизайна: красочного, цветного, с использованием фотографий, иллюстрирующих основные темы статей каждого номера. Использование новейших компьютерных технологий позволило повысить и качество редакционно-издательской подготовки, иллюстрационного материала,

**ОСЖД: 65 лет
на службе железным дорогам мира
1956-2021**



2021 год является знаменательным для Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД): ей исполняется 65 лет. Все эти годы непрерывного развития ОСЖД были наполнены значительными событиями и изменениями как в самой деятельности Организации, так и в экономической и геополитической ситуации на евразийском пространстве.

О том, какие этапы в своём развитии прошла Организация за 65 лет своей деятельности и какие задачи решает в настоящее время, рассказывает в своей статье Председатель Комитета ОСЖД Мировслав АНТОНОВИЧ.

Рис. 2. В 2021 году ОСЖД отметила своё 65-летие, в связи с чем, в № 1-2 «Бюллетень ОСЖД» за 2021 г. была опубликована статья Председателя Комитета ОСЖД М. Антоновича об истории развития Организации и деятельности на современном этапе.





Рис. 3. Обложки «Бюллетеня ОСЖД» разных годов выпуска.

дизайна, технико-полиграфического исполнения, а также оперативность и актуальность предоставляемой информации.

Необходимо отметить, что Редакционная коллегия журнала, представленная специалистами самого высокого уровня различных комиссий и ИРГ ОСЖД из различных стран, вносит неоценимый вклад в подготовку, издание и дальнейшее распространение материалов в ходе проведения различных мероприятий во всех уголках Евразийского пространства. Также значителен вклад членов Комитета ОСЖД, представителей министерств и железных дорог стран – членов ОСЖД, наблюдателей и присоединённых предприятий, партнёров по сотрудничеству из других международных организаций – ЕЭК ООН, ЭСКАТО ООН, ЕС (DG MOVE), ОТИФ, ЦИТ, ЕАЭС, ЦСЖТ, МСЖД, ЕЖДА, КСТП, ВТамО, ВПС, ФИАТА, FTE, FERRMED, ОЭС и др., из других издательств евразийского пространства – «Bahnfachverlag» (Германия), «Гудок», «РЖД-Партнёр», «Евразия-Вести», «Железные дороги мира», «Мир транспорта», «Инновации транспорта», Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте (УМЦ ЖДТ) (Россия), «Железопътен транспорт» (Болгария) и другие.

В связи с всё более возрастающей ролью английского языка в международных отношениях начиная с января 2015 года журнал стал издаваться на английском языке. Всё это вместе с улучшением качественного содержания статей способствовало усилению спроса среди читателей в различных странах и повышению его конкурентоспособности среди железнодорожных печатных изданий.

«Бюллетень ОСЖД» сегодня

В последние годы, следуя требованиям времени и прогресса в области цифровых технологий, на редакцию журнала была также возложена задача по поддержанию работы Web-сайта ОСЖД, что позволило не только более оперативно доводить до читателей информацию о важнейших событиях в деятельности ОСЖД и железных дорог, но и обеспечить обмен актуальными документами для реализации поставленных задач рабочими органами в рамках выполнения их планов и программ работ. На сайте публикуется информация о структуре, членах, задачах и деятельности ОСЖД, размещаются в актуальном состоянии все документы: соглашения СМПС и СМГС и Служебные инструкции к ним, правила пользования пассажирскими (ППВ)



Рис. 4. Основная страница Web-сайта ОСЖД, поддерживаемого на русском, китайском и английском языках.

и грузовыми (ПГВ) вагонами в международном сообщении, тарифы (МПТ, МТТ и ЕТТ), ГНГ, договоры, соглашения, памятки и все другие документы, принятые и действующие в рамках ОСЖД.

В настоящее время на страницах журнала, который выходит на трёх языках (русском, китайском и английском) шесть раз в год, публикуется информация:

- о решениях и рекомендациях, принятых сессиями Совещания Министров, заседаниями Конференции Генеральных директоров и Комитета ОСЖД;
- о совещаниях рабочих органов ОСЖД и их основных результатах;
- о сотрудничестве железных дорог в области международных железнодорожных перевозок между странами Европы и Азии, включая комбинированные перевозки;
- о ходе проведения Международной конференции по принятию текста Конвенции о прямом международном железнодорожном сообщении;
- о проблемах, связанных с транспортной политикой, экономическими, правовыми и экологическими аспектами железнодорожного транспорта;
- об аспектах, вытекающих из конвенций и соглашений о международных железнодорожных пассажирских и грузовых сообщениях и других правовых документов, связанных с международными перевозками, в том числе правил и тарифов;
- о взаимодействии железных дорог в области правил пользования подвижным со-

ставом и правил технической эксплуатации линий, на которых осуществляются международные перевозки;

- об актуальных вопросах совершенствования и развития железнодорожного транспорта, о деятельности железных дорог стран – членов ОСЖД, а также наблюдателей и присоединённых предприятий ОСЖД и других железных дорог;
- о сотрудничестве и совместной работе ОСЖД с другими международными организациями, занимающимися вопросами железнодорожного транспорта;
- об обмене опытом между министерствами транспорта и железными дорогами в области эксплуатационной деятельности, внедрения новой техники и передовых технологий, в том числе цифровизации перевозочного процесса, улучшения экономических показателей работы, а также по другим вопросам;
- справочная информация для использования в практической деятельности специалистами и экспертами ОСЖД.

В последние годы в связи со структурно-экономическими изменениями, происходящими во всём мире, в том числе и на железных дорогах стран – членов ОСЖД, с переходом железнодорожного транспорта на рыночные отношения, стало появляться всё больше статей, связанных с финансово-экономической деятельностью и со структурными реформами железных дорог.

Также в последнее время в журнале получили своё развитие такие новые актуальные





Рис. 5. Издания редакции «Бюллетеня ОСЖД».

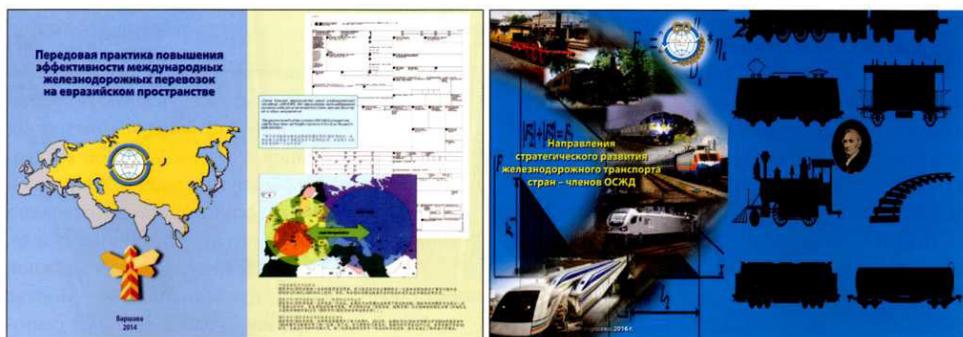


Рис. 6. В 2014 и 2016 годах Комитетом ОСЖД были изданы сборники статей и материалов «Передовая практика повышения эффективности международных железнодорожных перевозок на евразийском пространстве» и «Направления стратегического развития железнодорожного транспорта стран – членов ОСЖД».

темы, как «Работа над принятием текста Конвенции о прямом международном железнодорожном сообщении», «Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта», «Облегчение пересечения границ при международных железнодорожных пассажирских и грузовых перевозках», «Работа по совершенствованию транспортного права и над созданием единого транспортного права», «Расширение использования унифицированной накладной ЦИМ/СМГС при международных грузовых железнодорожных перевозках», «Международный опыт», «Логистика», «Высокоскоростное движение», «Защита окружающей среды и безопасность движения», «Цифровые технологии и процессы цифровизации на транспорте».

Бюллетень распространяется в странах – членах ОСЖД, направляется наблюдателям и присоединённым предприятиям ОСЖД, подписчикам, а также высылается в рамках обмена информацией в другие международные организации и железнодорожные печатные издания – всего он распространяется в более чем 50 странах мира.

Конечно же, функционирование журнала «Бюллетень ОСЖД» было бы невозможно без активной поддержки со стороны министерств транспорта и всех железных дорог стран – членов, наблюдателей и присоединённых предприятий ОСЖД, без взаимодействия с международными организациями в области транспорта, другими железнодорожными изданиями. Поэтому хотелось бы искренне поблагодарить всех за оказанную помощь!

Мероприятия в честь 50-летия журнала «Бюллетень ОСЖД»

8–9 декабря 2008 года в Комитете ОСЖД в Варшаве прошли юбилейное заседание Редакционной коллегии и Международный семинар на тему «Роль специализированных железнодорожных изданий в развитии железных дорог», посвящённые 50-летию образования журнала и выходу его трёхсотого номера. В мероприятиях приняли участие руководители и члены Комитета ОСЖД, члены Редакционной коллегии «Бюллетеня ОСЖД», главные редакторы и представители железнодорожных специализированных изданий,



Рис. 7. Участники юбилейного заседания Редакционной коллегии журнала «Бюллетень ОСЖД» и международного семинара на тему «Роль специализированных железнодорожных изданий в развитии железных дорог», посвящённых 50-летию образования журнала и выходу в свет его трёхсотого номера (08–09.12.2008, Комитет ОСЖД).

пресс-служб, железных дорог и международных организаций в области транспорта. Всего на первом в истории железных дорог форуме железнодорожных печатных издательств стран – членов и наблюдателей ОСЖД присутствовало более 50 делегатов из 27 стран.

Представители железнодорожных СМИ выступили с презентациями и докладами о работе своих издательств. В рамках проведённых дискуссий и обмена мнениями были налажены тесные деловые отношения между представителями железнодорожных СМИ различных стран, что в дальнейшем способствовало более оперативному и качественному обмену информацией в области функционирования и развития железных дорог на пространстве ОСЖД.

Все делегаты выразили большую благодарность Комитету ОСЖД и редакции журнала за большую проделываемую работу по популяризации деятельности ОСЖД и железных дорог, а также по сближению профильных СМИ. Они были едины во мнении о том, что обмен опытом отраслевых издательств важен, так как они живут в условиях рынка, где ведётся борьба за клиентов, читательскую аудиторию, современные технологии и распространение. Только благодаря укреплению сотрудничества и взаимодействия, объединению усилий, направленных на популяризацию деятельности железных дорог стран – членов ОСЖД, можно добиться повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта, привлечения на железные дороги клиентуры для пассажирских и грузовых перевозок, развития железнодорожных пере-

возок как в международном сообщении между Европой и Азией, так и внутри стран.

Международное признание «Бюллетеня ОСЖД»

Журнал «Бюллетень ОСЖД» неоднократно удостоивался различных международных премий и наград в области издательства многоязычной специализированной железнодорожной литературы, в том числе Международной транспортной премии «Золотая колесница», Международного конкурса изданий «Университетская книга» и др.

В рамках XXVIII Международной книжной выставки-ярмарки, проходившей в Москве со 2 по 6 сентября 2015 года, 3 сентября состоялась торжественная церемония награждения победителей III Международного конкурса «Университетская книга-2015», где Комитет ОСЖД был удостоен дипломов I степени и медали в направлении «Техника и технология наземного транспорта» в номинациях: «Лучшее полиграфическое издание» – за издание технико-экономического информационного журнала «Бюллетень ОСЖД» и «Лучшее зарубежное издание по железнодорожному транспорту» – за освещение актуальных проблем совершенствования и развития железнодорожного транспорта.

6 сентября 2019 года в рамках деловой программы XXXII Московской международной книжной выставки-ярмарки на ВДНХ в Москве состоялись торжественное заседание и церемония награждения победителей Международного конкурса изданий





Рис. 8. Дипломы и медаль, которыми были удостоены Комитет ОСЖД за победу в III Международном конкурсе «Университетская книга-2015».



Рис. 9. Награды для ОСЖД за лучшие периодические печатные издания на иностранных языках по направлению «Техника и технологии наземного транспорта».



Рис. 10. Диплом I степени в номинации «Лучшее полиграфическое исполнение» по итогам 17-го Международного конкурса изданий «Университетская книга-2021 / Транспорт».

«Университетская книга-2019» по направлению «Техника и технологии наземного транспорта», где Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) была удостоена высоких наград и звания лауреата в области издательства специализированной железнодорожной литературы на иностранных языках (русском, китайском и английском), среди которой: «Отчёт о деятельности Организации сотрудничества железных дорог», журнал «Бюллетень ОСЖД» и сборник материалов «Направления стратегического развития железнодорожного транспорта стран – членов ОСЖД».

16 ноября 2021 года в рамках выставки «Транспорт России» (16–18 ноября, Москва) состоялась церемония награждения победителей VI Международного конкурса «Университетская книга-2021» изданий по тематике «Транспорт», в котором журнал «Бюллетень



Рис. 11. Участники совместного заседания Группы терминологии МСЖД–ОСЖД (Париж, октябрь 2015 г.).

ОСЖД» был удостоен Диплома I степени в номинации «Лучшее полиграфическое исполнение».

Сотрудничество в области унификации многоязычной терминологии

На протяжении многих лет редакция журнала осуществляет сотрудничество с Группой терминологии МСЖД в области создания тематических словарей-гезаурусов по железнодорожной тематике, в том числе электронных, в целях обобщения и стандартизации терминологии, используемой при переводах на рабочие языки в международной деятельности по сотрудничеству в различных областях железнодорожного транспорта. Поскольку журнал «Бюллетень ОСЖД» издаётся на трёх языках (русском, китайском и английском), то данная работа имеет большое значение для унификации и стандартизации терминологии при переводах статей и информации на этих языках с точки зрения решения вопросов функционирования и совершенствования электронных словарей, разработки программного обеспечения для управления терминологией, практического использования электронных словарей в работе и др.

2022 год, как и два предыдущих, начался в непростых условиях пандемии и свя-

занных с этим ограничений. Несмотря на это деятельность Организации и железных дорог её стран – членов продолжает осуществляться согласной утверждённым планам и программам работ, в том числе благодаря использованию современных технологий и средств коммуникаций. ОСЖД в этот сложный период демонстрирует свою стабильность и способность к гибкой адаптации в новых условиях функционирования. «Бюллетень ОСЖД» продолжает свою работу по популяризации деятельности организации в этих непростых условиях, и мы надеемся на то, что наши читатели и далее смогут удовлетворять свои информационные потребности в области железнодорожного транспорта на страницах журнала.

Как отмечается в редакционном материале, конечно же, издание «Бюллетеня ОСЖД» не было бы возможно без активной поддержки и участия со стороны руководства, специалистов и экспертов министерств и железных дорог стран – членов ОСЖД, членов и сотрудников Комитета ОСЖД, членов редакционной коллегии журнала, а также представителей, наблюдателей и присоединённых предприятий ОСЖД и организаций-партнёров по сотрудничеству.



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian universities

Текст на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.

The text in English is published in the second part of the issue.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-14>

Бересток Н. О. Повышение безопасности производственных процессов предприятий железнодорожного транспорта на основе снижения влияния человеческого фактора / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.

Движение поездов является технико-технологической основой производственных процессов транспортного предприятия. Повторение из года в год аварий, сходов с рельсов, столкновений поездов и предпосылок к ним практически по одним и тем же причинам связано с человеческим фактором. По данным статистики, 90 % всех инцидентов происходит в связи с нарушением норм и правил, регламентирующих действия работников. Это свидетельствует о том, что сложившаяся система профилактики нарушений безопасности движения поездов при организации перевозочного процесса недостаточно эффективна.

Повышение уровня безопасности производственных транспортных процессов традиционными методами за счёт значительных объёмов капитальных вложений в ближайшей перспективе является маловероятным вариантом. Поэтому исследование вопроса повышения безопасности за счёт снижения негативного влияния человеческого фактора представляется актуальным.

Целью диссертационной работы является разработка методики оценки уровня безопасности производственных процессов предприятий железнодорожного транспорта с учётом влияния человеческого фактора.

Для реализации поставленной цели в данном исследовании необходимо было решить следующие задачи:

- проанализировать существующие подходы к управлению безопасностью производственных транспортных процессов;
- структурировать нарушения безопасности производственных транспортных процессов;
- обосновать инструментарий получения экспертных данных о связи видов нарушений с признаками культуры безопасности;
- предложить подход к оценке влияния человеческого фактора на безопасность производственных транспортных процессов;
- обосновать технологию кластерного анализа нарушений правил безопасности движения поездов с учётом влияния человеческого фактора;
- разработать методику оценки уровня безопасности производственных процессов предприятий железнодорожного транспорта с учётом влияния человеческого фактора;
- провести апробацию разработанных методических решений и предложить рекомендации по минимизации негативного влияния человеческого фактора на обеспечение безопасности производственных транспортных процессов.

В результате проведённых исследований в диссертационной работе была решена научная задача по разработке методики оценки уровня безопасности производственных процессов предприятий железнодорожного транспорта с учётом влияния человеческого фактора. Полученные при этом основные научные и практические результаты состоят в следующем.

Выполнен анализ состояния безопасности производственных транспортных процессов, который показал, что существенное влияние на уровень безопасности оказывает человеческий фактор и требуется разработка методического инструментария оценки этого влияния.

Выдвинута гипотеза о связи реально совершаемых работниками нарушений с признаками культуры безопасности – новым инструментом деятельности железнодорожных предприятий при обеспечении безопасности движения поездов. Гипотеза подтверждена экспертными оценками, полученными при выполнении диссертационного исследования.

Выполнена видовая структуризация нарушений безопасности производственных транспортных процессов, которая позволила

свести многообразие единичных нарушений к конкретному числу их видов, обладающих устойчивым характером, позволяющая упорядочить их обработку и анализ в конкретных производственных ситуациях.

Разработана методика оценки уровня безопасности производственных транспортных процессов с учётом влияния человеческого фактора. Методика включает:

- определение комплексной средней оценки общего уровня безопасности по установленным видам нарушений;

- определение средней экспертной оценки степени связи нарушений с признаками культуры безопасности;

- способ количественной оценки уровня безопасности производственных транспортных процессов с учётом влияния человеческого фактора;

- кластерный анализ, используемый для получения структурированной информации, дополняющей обобщённые средние оценки.

Апробация методики на примере данных 2018 года позволила установить следующие значения средних оценок:

- средняя оценка связи нарушений с признаками культуры безопасности: 0,27;

- уровень безопасности производственных транспортных процессов без учёта влияния человеческого фактора: 0,35;

- с учётом его влияния: 0,31.

Предложена модифицированная автором шкала Харрингтона для качественной характеристики количественных оценок уровня безопасности производственных транспортных процессов. Её модифицированная версия отличается от исходной более жёсткими требованиями к интерпретации количественных оценок. Значение 0,31 по шкале Харрингтона и по шкале, предложенной в диссертации, оценки нарушения безопасности производственных транспортных процессов с учётом влияния человеческого фактора соответствует низкому уровню состояния безопасности.

Предложен инструментарий кластерного анализа, позволяющий получить информацию, дополняющую средние оценки, необходимую для принятия управленческих решений по повышению уровня безопасности производственных транспортных процессов и снижению негативного влияния человеческого фактора. Инструментарий включает метод экспертных оценок для установления

связи видов нарушений с признаками культуры безопасности, девять сформированных кластеров нарушений с их авторской группировкой по аспектам культуры безопасности, авторскую трактовку содержания каждого кластера.

Установлен факт тесной связи нарушений безопасности, допускаемых работниками предприятий организации движения ОАО «РЖД», с ошибками студентов транспортного вуза при их работе с авторским тестовым контентом. Дано объяснение существованию такой связи.

Предложены рекомендации по повышению уровня безопасности производственных транспортных процессов и снижению негативного влияния человеческого фактора, в том числе на вузовском этапе кадрового обеспечения транспортного производства.

Полученные результаты, выводы и предложения нашли применение в работе Департамента безопасности движения ОАО «РЖД», ООО «Проектные Технологии» и кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» РУТ (МИИТ).

По результатам проведённого анализа для каждого кластера нарушений разработаны технологические карты, направленные на повышение уровня безопасности производственных процессов за счёт минимизации влияния человеческого фактора.

Перспективой дальнейшей разработки темы является совершенствование показателей характеризующие системный подход к культуре производства на предприятии.

05.02.22 – Организация производства (транспорт).

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Грачев Н. В. Энергосберегающее управление силовыми установками газотурбинных локомотивов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 16 с.

В настоящее время одной из целевых задач является повышение экономичности работы газотурбинных локомотивов, использующих в качестве моторного топлива природный газ.

Объектом исследования являлась силовая энергетическая установка газотурбинного



локомотива. Предметом исследования являлись основные физические процессы преобразования энергии газа в электрическую энергию в системе газовая турбина – генератор и управление ею с целью повышения экономичности работы газотурбинных локомотивов.

Целью диссертационного исследования являлось повышение энергетической эффективности газотурбинных локомотивов путём совершенствования способов и алгоритмов управления их силовыми установками.

В работе решены следующие задачи:

- проведён обзор и анализ существующих систем передачи энергии газовой турбины к колёсным парам автономного локомотива;
- исследованы основные физические процессы преобразования энергии газа в электромагнитную энергию в системе газовая турбина–генератор и управление ею;
- разработаны математические модели силовой энергетической установки газотурбовоза и регулятора выходной мощности системы турбина–генератор газотурбинного локомотива серии ГТ1h;
- исследованы электромагнитные процессы в тяговом электроприводе газотурбинных локомотивов серии ГТ1h в различных режимах его работы;
- исследована работа алгоритмов управления силовыми установками газотурбинных локомотивов;
- обоснован метод реализации управления газовой турбиной, нагруженной на тяговый генератор, который обеспечивает улучшение экономичности её работы на частичных нагрузках;
- в соответствии с предложенными подходами к управлению газовой турбиной и регулированию выходной мощности системы газовая турбина–генератор, предложен алгоритм управления мощностью системы турбина–генератор, обеспечивающий формирование рациональных траекторий нагружения газовой турбины по свободной мощности турбины во всём диапазоне её использования, позволяющий снизить удельный расход топлива, затрачиваемого газотурбовозом на тягу поездов;
- выполнена обработка экспериментальных данных, полученных в ходе эксплуатации газотурбовозов серии ГТ1h №№ 001, 002 на путях общего пользования инфраструктуры Свердловской железной дороги – фи-

лиала ОАО «РЖД» с использованием предложенного алгоритма управления силовыми установками газотурбинных локомотивов, обеспечивающего повышение их экономической эффективности.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в повышении экономичности работы газотурбинных локомотивов за счёт совершенствования алгоритма управления силовыми установками. В процессе выполнения работы получены следующие основные результаты и выводы.

Анализ существующих систем газотурбинной тяги показал, что одной из приоритетных задач повышения экономичности работы газотурбинных локомотивов является снижение расхода топлива ГТД на холостом ходу и частичных нагрузках за счёт совершенствования алгоритмов управления силовыми установками газотурбовозов.

Разработана математическая модель силовой энергетической установки газотурбинного локомотива, включающая в себя модели газотурбинного двигателя, тягового электропривода и системы автоматического регулирования газотурбинного локомотива, позволяющие исследовать электромагнитные процессы в тяговом электроприводе.

По результатам исследования электромагнитных процессов в тяговом электроприводе газотурбинного локомотива с помощью разработанной математической модели получена область устойчивости ПИ-регулятора системы автоматического регулирования, и определён темп набора заданной мощности тягового генератора.

Обоснован метод реализации управления газовой турбиной, нагруженной на тяговый генератор, который обеспечивает улучшение экономичности её работы на частичных нагрузках.

Определены ограничения при работе объединённого регулятора мощности и частоты оборотов газотурбинного двигателя и регулятора мощности системы турбина–генератор. В ограничениях учитывалась изменяющаяся частота вращения вала силовой турбины и доступная мощность газотурбинного двигателя в различных диапазонах регулирования, частоты вращения вала силовой турбины.

Разработана математическая модель наблюдателя состояния газотурбинного двига-

теля, предназначенная для расчёта свободной мощности газотурбинного двигателя при его работе в энергосберегающем режиме.

По предложенному методу разработан алгоритм управления мощностью системы турбина-генератор, позволяющий формировать рациональные траектории нагружения газовой турбины во всём диапазоне её использования.

Показано, что учёт ограничений по свободной мощности газотурбинного двигателя при работе регуляторов выходной мощности системы турбина-генератор позволяет формировать рациональные траектории нагружения газотурбинного двигателя.

Снижен удельный расход топлива газотурбовозом при вождении: лёгких поездов массой 1500 тонн на 35,5 %, поездов массой 6000 тонн на 16,2 % и тяжеловесных поездов массой 9000 тонн на 9,57 %.

Ожидаемый интегральный экономический эффект при эксплуатации газотурбовоза на участке Сургут-Войновка с тяжеловесными поездами массой 9000 тонн составит 17478,18 тыс. руб. в год со сроком окупаемости 0,003 года за счёт низкой стоимости работ по смене программного обеспечения.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Осипова В. Э. Модель управления энергетическим комплексом железнодорожного предприятия для интеллектуальной поддержки процессов принятия решений / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГУПС, 2021. – 17 с.

Особенностью работы объектов железнодорожного транспорта является неравномерность нагрузки системы по времени, что затрудняет формирование полной исходной базы данных, характеризующих рассматриваемую систему.

Многообразие и неопределённостью факторов, описывающих состояние её отдельных элементов, не позволяет в полной мере использовать данные одной из имеющихся систем учёта железнодорожной отрасли (АСУТП), как следствие, затрудняет принятие решения с целью управления

технологическим процессом. Режимы работы специализированного оборудования таких объектов обычно отличаются наличием жёстких ограничений по времени и сложностью описания изменений, характеризующих состояния системы в определённый момент времени.

Всё это способствует разработке сложных математических моделей с целью принятия управленческих решений. Наиболее перспективным из которых является применение теории нечётких множеств. Таким образом, актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью совершенствования методики формирования топливно-энергетического баланса системы энергоснабжения на основе теории нечётких множеств.

Целью диссертационной работы являлось совершенствование системы управления энергетическим комплексом железнодорожного предприятия путём эффективного формирования топливно-энергетического баланса на основе системного анализа, разработки математической модели и методики управления топливно-энергетическими ресурсами.

Для реализации поставленной цели в ходе диссертационного исследования потребовалось решить следующие задачи:

- провести системный анализ неопределённости исходных данных и изучить принципы и особенности работы системы управления расходом топливно-энергетических ресурсов энергетического комплекса железнодорожного предприятия (ТЭР ЭКЖП);
- определить критерии выборки, основные системные связи и закономерности функционирования ЭКЖП, для создания базы правил управления расходом топливно-энергетических ресурсов;
- разработать математическую модель управления расходом ТЭР ЭКЖП;
- провести оценку и анализ адекватности полученных результатов разработанных моделей управления, определить экономический эффект от внедрения предлагаемой модели;
- предложить методику управления расходом ТЭР ЭКЖП на основе теории нечётких множеств с использованием базы правил нечётких выводов и нечётких регуляторов.

Объектом исследования является система управления расходом топливно-энерге-



тических ресурсов энергетического комплекса железнодорожного предприятия. Предметом исследования – математические методы управления расходом топливно-энергетических ресурсов железнодорожного предприятия, методы нечёткого управления и нечётких выводов, и созданная на их основе методика формирования баланса ТЭР.

В результате проведённого диссертационного исследования получены новые научные результаты, направленные на повышение эффективности функционирования системы управления расходом топливно-энергетических ресурсов энергетического комплекса железнодорожного предприятия. Практическое применение результатов исследования позволит повысить эффективность управления техническими системами, а также снизить затраты на энергообеспечение.

Выполнен системный анализ неопределённости исходных данных и особенностей работы существующих моделей нечёткого управления применительно к ЭКЖП, определены критерии выборки и основные взаимозависимости между параметрами рассматриваемой системы.

Предложены уравнения для определения «центра тяжести» в процессе дефазификации на основе алгоритма Мамдани–Сугено, которые легли в основу математической модели управления расходом ТЭР ЭКЖП.

Разработан новый алгоритм формирования топливно-энергетического баланса ЭКЖП, обеспечивающий повышение эффективности принятия решений в условиях неопределённости, за счёт использования математического аппарата нечёткой логики.

Осуществлена программная реализация разработанной модели управления расходом ТЭР ЭКЖП. Экономический эффект от внедрения предлагаемой методики составляет сокращение эксплуатационных расходов на закупку ТЭР на 2–4 %.

Предложена методика формирования топливно-энергетического баланса, ориентированная на повышение эффективности принятия решения с использованием современных методов обработки информации, в условиях неопределённости исходных данных.

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Работа выполнена и защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС).

Семёнов А. П. Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования / Автореф. дис... док. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 39 с.

В мировой и отечественной практике технического обслуживания и ремонта (ТОиР) тягового подвижного состава имеется тенденция к переходу от планово-предупредительной системы к ремонту с учётом фактического технического состояния. Одновременно происходит переход на управление ТОиР комплексно на всём жизненном цикле локомотива, для чего с производителем заключается контракт жизненного цикла на сервисное ТОиР. Эти тенденции обусловлены развитием автоматизированных систем управления (АСУ) производством, микропроцессорных систем управления локомотивами (МСУ), автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД) – встроенных в оборудование, бортовых на базе МСУ, деповских переносных и стационарных АСТД.

Массовое внедрение киберфизических производственных систем позволяет говорить о «четвёртой промышленной революции», методы которой следует осмыслить и применить, в том числе в локомотиворемонтном комплексе. Требуется научно-практическая проработка новой технологии АСУ ТОиР. Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования и принципов построения АСУ является актуальной.

В диссертации развиваются научные основы управления надёжностью локомотивов через разработку модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования.

Объектом исследования является тяговый подвижной состав железных дорог, система управления жизненным циклом локомотивов, система технического обслуживания и ремонта локомотивов с использованием автоматизированных систем технического

диагностирования оборудования локомотивов.

Целью диссертационной работы является повышение надёжности и эффективности эксплуатации ТПС через совершенствование системы ТОиР за счёт перехода на модель управления жизненным циклом локомотивов с комплексным использованием современных систем диагностирования (далее – модель).

В диссертационной работе обоснованы технические и технологические апробированные решения в области управления жизненным циклом локомотивов (ЖЦЛ), внедрение которых вносит значительный вклад в развитие локомотиворемонтного комплекса железнодорожного транспорта России.

Разработана технологическая модель автоматизированной системы управления жизненным циклом локомотивов (АСУ ЖЦЛ), представляющая собой киберфизическую производственную систему, объединяющую в себе по принципу внутренней интероперабельности автоматизированные системы технического диагностирования оборудования локомотивов (АСТД), включая бортовые и встроенные, технологическое оборудование с микропроцессорным управлением и АСУ техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) локомотивов (с использованием методов «Индустрии 4.0»), систем менеджмента качества, бережливого производства, сервисного обслуживания и др.), а также объединяющую в себе по принципу внешней интероперабельности все АСУ, участвующие в жизненном цикле локомотива: системы автоматического проектирования оборудования локомотивов (САПР), АСУ локомотивостроительных и локомотиворемонтных заводов, АСУ эксплуатирующих организаций (включая АСУЖТ ОАО «РЖД»), АСУ ТОиР сервисных компаний с функциями поддержки принятия решений. В основе Модели предлагается создать систему управления базами данных (СУБД) «Жизненный цикл локомотива» (ЖЦЛ), для которой описан порядок её формирования и обновления.

Выполнен анализ мирового и отечественного опыта управления жизненным циклом локомотивов с использованием литературных источников и собственного опыта. Анализ показал, что, наряду с остающейся в основе плано-предупредительной системой сервисного ТОиР, есть тенденция

использования данных бортовых АСТД на базе микропроцессорных систем управления локомотивов (МСУ), которые поступают в АСУ ТОиР по радиоканалу в режиме реального времени (online) для дополнительного индивидуального планирования объёма ТОиР. Опыт использования данных бортовых и встроенных АСТД при организации сервисного ТОиР локомотивов есть как у зарубежных лидеров локомотивостроения, так и у отечественных компаний. При этом важно объединить технологические процессы мониторинга и диагностирования с технологическими процессами планирования в АСУ ТОиР. В разработанной модели использован мировой и отечественный опыт.

Разработан метод оценки эффективности использования тягового подвижного состава (ТПС) через коэффициент полезной работы ($K_{АП}$: отношение времени нахождения локомотива в состоянии «тяга в голове поезда» согласно классификатору АСОУП ОАО «РЖД» к общему времени эксплуатации (в долях единицы или процентах). Разработано соответствующее программное обеспечение на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications (VBA) в среде MS Excel, с помощью которого выполнен анализ эксплуатации отечественного локомотивного парка: по данным АСОУП (АСУЖТ ОАО «РЖД») случайно отобранных локомотивов из 12 самых массовых серий (8 серий электровозов и 4 серии тепловозов) за 400–500 дней их эксплуатации (с учётом проведения ТОиР – это год эксплуатации). Размер репрезентативной выборки гарантирует достоверность полученных результатов. Доказано, что в среднем у локомотивов $K_{АП} = 48\%$ при одновременном несоблюдении требований контрактов на сервисное обслуживание по надёжности. При этом есть отдельные локомотивы, у которых по итогам работы за год $K_{АП} \geq 75\%$. Потери в эксплуатации $\Delta K_{АП} = 25\%$, в ожидании ТОиР $\Delta K_{АП} = 14,4\%$, при выполнении ТОиР $\Delta K_{АП} = 5\%$. При этом ТОиР занимает около 10% у электровозов и 20% у тепловозов общего бюджета времени. Таким образом, оптимальная модель жизненного цикла локомотивов является важным резервом повышения эффективности их эксплуатации как за счёт повышения эффективности использования локомотивов, так и за счёт повышения эффективности сервисного ТОиР, в т.ч. за счёт сокращения



времени простоя на ТОиР до уровня нормативного и выше.

Выполненный анализ принятых в контрактах жизненного цикла локомотивов (КЖЦ) между ОАО «РЖД» и поставщиками локомотивов показателей надёжности по категориям отказов согласно классификатору системы учёта отказов «КАС АНТ» ОАО «РЖД» показал, что категории отказов в большей степени зависят от условий эксплуатации локомотивов, а не от производителей оборудования. Разработан вероятностно-статистический метод установления взаимосвязи между показателями надёжности, предусмотренными стандартом, и показателями, принятыми в КЖЦ.

Разработан метод оценки информационной эффективности систем технического диагностирования с позиций теории познания (гносеологии), теорий информации, автоматического управления и цифровизации. Взятая за основу формула Шеннона дополнена статистической вероятностью наступления отказа и стоимостью устранения отказа в удельных единицах. Введён коэффициент информационной эффективности АСТД, как отношение её информативности по предложенной формуле к общей информационной энтропии объекта диагностирования. По предложенному методу выполнен анализ информационной эффективности наиболее распространённых автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД). Доказано, что бортовые АСТД обладают ограниченной информативностью даже при расширении их функциональности, поэтому исключить из системы ТОиР деповские стационарные и переносные АСТД нельзя.

Разработан метод технико-экономической оценки эффективности внедрения АСТД имитационным моделированием в среде MS Excel с использованием специально разработанной на VBA программы месячного расчёта чистой приведённой стоимости проекта (NPV). Доказано, что применение всех видов существующих АСТД оборудования локомотивов экономически нецелесообразно. Доказана эффективность применения бортовых АСТД, автоматизированных систем реостатных испытаний дизель-генераторных установок, виброиспытаний колёсно-моторных блоков и ряда других АСТД.

Разработан метод оперативной экспертной оценки продолжительности проведения ТОиР при его организации с индивидуальным для каждой секции планированием объёма ремонта с учётом диагностических данных совокупности всех АСТД. В основу метода положено вероятностно-статистическое моделирование продолжительности отдельных ремонтных операций с целью вероятностной оценки ожидаемого времени ТОиР каждой конкретной секции локомотива. Для проверки метода разработано соответствующее программное обеспечение в среде MS Excel на VBA.

Выполнена практическая реализация системы ТОиР по предложенной модели жизненного цикла локомотивов (ЖЦЛ) в сервисном локомотивном депо «Братское» на станции Вихоревка (Восточно-Сибирская железная дорога) группы компаний «ЛокоТех» применительно к электровозам переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями производства НЭВЗ. Внедрение модели позволило существенно повысить эффективность работы депо (простой на ТОиР сокращён в три раза, коэффициент готовности к эксплуатации приведён в норму, логистические потери сокращены на 30 % и др.), тем самым доказав эффективность предложенных технических и технологических решений по результатам теоретических исследований. Запланировано тиражирование технологии во всех сервисных локомотивных депо Восточного полигона ОАО «РЖД», обслуживающих аналогичные электровозы.

Перспективой дальнейшей разработки темы является:

- адаптация разработанной модели и технологии ТОиР для других серий локомотивов;
- инкапсуляция в АСУ ТОиР всех предложенных математических методов управления с целью повышения эффективности системы ТОиР по предложенной модели управления жизненным циклом;
- расширение функциональности бортовых АСТД за счёт установки дополнительных датчиков, развития встроенных в само оборудование АСТД, разработки дополнительных методов прогнозирования остаточного ресурса оборудования и локомотива в целом;

• дальнейшая интеграция всех видов АСТД в АСУ ТООИР, в информационные системы «Цифровое депо» и «Цифровая железная дорога» (ИСУЖТ).

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Хоанг Нгок Ань. Математическое и алгоритмическое обеспечение вычисления показателей эффективности обслуживания и ремонта сложного оборудования / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГУПС, 2021. – 18 с.

Развитие техники и технологий привело к созданию и совершенствованию методов и средств обеспечения надёжного функционирования оборудования различного назначения. К этим средствам относят методы надёжности, а также средства мониторинга и диагностики сложного оборудования.

Надёжное функционирование оборудования во многом определяется используемой системой его технического обслуживания и ремонта. В связи с этим, в нашей стране и за рубежом развиваются и совершенствуются различные технологии его обслуживания и ремонта. Обслуживание и ремонт оборудования происходит в условиях ограниченных финансовых ресурсов, поэтому в организацию ремонтных работ широко внедряются различные методы системного анализа, математического и имитационного моделирования.

Диссертационное исследование посвящено исследованию обслуживания и ремонта сложного оборудования в условиях неопределённости и ограниченных финансовых ресурсов. В диссертационной работе рекомендована процедура обслуживания и ремонта сложного оборудования, использующая страховой фонд, который выполняет две функции:

1) накапливает платежи с заданной периодичностью для выполнения различного вида ремонтных работ;

2) по мере необходимости оплачивает эти работы. Математическое описание состояния страхового фонда в момент времени t предлагается провести на основе

процесса риска специального вида, используемого в математической теории риска.

Для моделирования этого процесса риска предложено использовать имитационный подход, предполагающий создание моделирующей программы на основе событийного метода, которая создаёт выборочные значения моментов времени, когда финансовые ресурсы для выполнения ремонтных работ оборудования отсутствуют. Эти значения затем обрабатываются по предложенным алгоритмам с целью получения значений показателей эффективности обслуживания оборудования. Поиск моделей для оценки эффективности ремонтных работ сложного оборудования в процессе его эксплуатации является актуальной задачей, требующей своего решения. Всё вышесказанное обосновывает актуальность выбранной темы диссертационной работы и позволяет сформулировать её цель и задачи.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности принятия управленческих решений за счёт разработки и применения математического, алгоритмического и программного обеспечения вычисления показателей, оценивающих обслуживание и ремонт сложного оборудования в процессе его эксплуатации.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

• создать математическое обеспечение, используя процесс риска, для моделирования обслуживания и ремонта оборудования с применением страхового фонда, выполняющего функции по накоплению платежей с различной периодичностью и по оплате этих работ по мере необходимости;

• выбрать вероятностные модели, используемые при описании компонент процесса риска и необходимые для моделирования интервалов времени между ремонтными работами и затрат на их выполнения;

• разработать алгоритмическое обеспечение вычисления показателей эффективности обслуживания и ремонта оборудования по данным имитационного моделирования;

• создать программный комплекс для моделирования и комплексного исследования обслуживания и ремонта сложного оборудования по предложенным показателям эффективности;



- провести апробацию созданного алгоритмического и программного обеспечения по влияющим факторам на основании вычислительных экспериментов с моделирующей программой по выбранным исходным данным.

Объектом исследования в диссертационной работе является обслуживание и ремонт сложного оборудования в процессе его эксплуатации. Предметом диссертационного исследования являются математическое и алгоритмическое обеспечение применительно к вычислению предложенных показателей риска и надёжности при обслуживании оборудования на основе результатов имитационного моделирования.

В результате диссертационного исследования достигнуты следующие основные результаты.

Выполнены формализация и постановка задачи системного подхода к обслуживанию и ремонту сложного оборудования с применением страхового фонда, выполняющего функции по накоплению платежей с различной периодичностью и по оплате этих работ. Для математического описания состояния этого фонда предложено использовать процесс риска специального вида.

Выбраны вероятностные модели, используемые для оценки компонент процесса риска. Эти модели описывают интервалы времени между ремонтными работами и затраты на их выполнения. В качестве этих моделей выбраны: распределение Парето с нулевой точкой, гамма-распределение, распределение Бирнбаума–Сандерса и др.

Создано специальное алгоритмическое обеспечение по обработке информации, содержащее вероятностные модели и алгоритмы получения результатов имитационного моделирования с использованием событийного подхода и календаря событий специального вида по трём основным влияющим факторам:

- а) способу обеспечения превышения доходной части над расходной;
- б) долям платежей по видам ремонтных работ;
- с) периодичности платежей.

Разработаны алгоритмы для вычисления показателей эффективности по резуль-

татам имитационного моделирования в виде точечных и интервальных оценок ресурсно-затратного и финансового рисков и показателей надёжности «Отказ в обслуживании» по финансовым причинам.

Разработан программный комплекс, основанный на моделирующей программе, использующей событийный подход, позволяющий проводить вычислительные эксперименты и реализующий разработанные методы и алгоритмы оценки показателей эффективности, характеризующих обслуживание и ремонт сложного оборудования. Программный комплекс реализован на языке программирования пакета MatLab. Имеются два свидетельства о государственной регистрации созданных программ.

Используя одну из программ, проведено тестирование модуля, необходимого для моделирующей программы. Тестирование показало, что математическое и программное обеспечение для оценки показателей надёжности обладает необходимой точностью и может быть рекомендовано для основной программы моделирования.

Сформулированы четыре задачи комплексного исследования эффективности ремонтных работ сложного оборудования. Первые три задачи в качестве показателей сравнения вариантов используют оценки ресурсно-затратного и финансового рисков, четвёртая задача – оценки показателей надёжности «Отказ в обслуживании». Это позволило впервые провести комплексное исследование на основании 30 вычислительных экспериментов с моделирующей программой и 120 вариантов оценок показателей эффективности и получить практически важные результаты: превышение доходной части над расходной необходимо делать за счёт начального годового значения страхового фонда; периодичность платежей должна зависеть от вида ремонтных работ и исходных данных; доли платежей должны быть различными.

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Работа выполнена в Иркутском государственном аграрном университете имени А. А. Ежовского, защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС).

Чекалова Е. А. Научные и технологические основы формирования на поверхности режущего инструмента и деталей дискретных диффузионных оксидных слоёв для повышения их долговечности / Автореф. дис... док. техн. наук. – М.: МАИ, 2021. – 45 с.

Стратегия повышения надёжности и долговечности машин требует коренного улучшения качества деталей и узлов производимой продукции. Успешное решение этой проблемы практически невозможно без разработки и внедрения новых, более совершенных материалов и эффективных технологических процессов. Особое место в достижении необходимого качества деталей машин принадлежит поверхностному упрочнению инструментальных и конструкционных материалов.

Классически упрочнение инструментальных и конструкционных материалов достигается введением легирующих элементов и термической обработкой путём рационального управления химическим составом и структурой материалов.

В то же время для целого ряда наиболее массовых и ответственных деталей, таких как лопатки компрессора газотурбинных двигателей, работающих в условиях воздействия высоких знакопеременных нагрузок, коррозионно-эрозионного воздействия газовой среды, которые, как правило, оказывают определяющее значение на ресурс двигателей в целом весьма актуальной является проблема разработки новых более эффективных методов поверхностного упрочнения.

Особенно остро проблема упрочнения инструментальных и конструкционных материалов приобрела при разработке новых высоконагруженных энергоёмких машин, при решении проблем снижения трудоёмкости и себестоимости, существенного повышения их конкурентоспособности на мировом рынке.

Создание перспективных газотурбинных двигателей неизбежно сопровождается резким ужесточением условий их эксплуатации, повышением уровня термомеханических циклических нагрузок, необходимостью применения более совершенных инструментальных материалов, повышения качества обработки поверхностей. В связи с этим весьма актуальным направлением решения проблемы повышения надёжности и долговечно-

сти инструментов и изделий является создание новых высокоэффективных износостойких покрытий.

Другой важной задачей является разработка новых, более надёжных и экономичных промышленных технологий формирования упрочняющих покрытий, обеспечивающих высокую стабильность качества и воспроизводимость физико-механических свойств. Высокую актуальность приобретает установление функциональных связей между параметрами технологического процесса формирования покрытий и их эксплуатационными характеристиками.

Комплексный подход к решению поставленных задач предполагает, прежде всего, глубокое изучение механизмов разрушения покрытий в условиях воздействия нестационарных термомеханических нагрузок, научное обоснование целенаправленного легирования поверхностного слоя деталей и инструмента для получения заданных эксплуатационных свойств.

В работе предлагается принципиально новое решение проблемы долговечности деталей машин и инструмента, состоящее в разработке нового типа диффузионных покрытий с дискретной ячеистой структурой покрытий с дискретной ячеистой структурой нестехиометрического состава, обладающих повышенной износостойкостью.

Цель работы – повысить технологические и эксплуатационные свойства инструментов и деталей за счёт создания поверхностного диффузионного дискретного оксидного слоя при обработке током коронного разряда.

Исследование позволило достичь следующих результатов.

Разработана теоретическая модель долговечности образца с диффузионным дискретным оксидным слоем для сравнительной оценки влияния дискретного оксидного слоя и сплошного покрытия на физико-механические свойства поверхностного слоя материала.

Разработан новый метод получения током коронного разряда, при низких температурах (вплоть до комнатной), на поверхности режущего инструмента и деталей из инструментальных и конструкционных материалов диффузионных дискретных оксидных слоёв и определены рекомендуемые параметры технологического процесса, увеличивающие долговечность режущего инструмента и деталей в условиях эксплуатации.



Установлены влияние химического состава газовой среды и параметров технологического процесса на структуру формируемого оксидного слоя обрабатываемых материалов инструмента и деталей и влияние структурных особенностей дискретных оксидных слоёв на физико-механические и режущие свойства инструментального материала и физико-механические свойства конструкционного материала.

Выявлен механизм торможения изнашивания режущего инструмента с дискретным оксидным слоем при точении и фрезеровании.

Разработана методика и критерий оценки долговечности материалов с дискретным оксидным слоем по величине молярной энергии активации $U_{\text{эф}}$.

Разработан способ повышения долговечности лопаток компрессора на второй ресурс

путём восстановления износостойкого покрытия на антивибрационных бандажных полках.

Разработаны оборудование и технология получения дискретных диффузионных оксидных слоёв на инструментальных и конструкционных материалах.

2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Работа выполнена в Московском политехническом университете (Московский политех) и в НИО-9 Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет)», защищена в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет)» (МАИ). ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

The list of titles in English is published in the second part of the issue.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-15>

Артёмьев Б. В., Артёмьев И. Б., Власов А. И. [и др.]. Трубопроводные системы: инженерный практикум: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – 104 с. ISBN 978-5-7038-5807-3.

Бусурин В. И., Макаренкова Н. А., Шлеёнкин Л. А. Основы получения информации в измерительных и управляющих системах: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2022. – 102 с. ISBN 978-5-4316-0890-2.

Власова Е. П., Костоломов Е. М., Лосев Ф. А. [и др.]. Эксплуатация энергетического оборудования нефтеперекачивающих станций: Учеб. пособие. – Тюмень: ТИУ, 2022. – 130 с. ISBN 978-5-9961-2808-2.

Давдиев К. А., Омаров А. З. Ремонт автомобилей и двигателей: Учеб. пособие. – М.: Инфра-М, 2022. – 356 с. ISBN 978-5-16-014999-8.

Зуб И. В., Ежов Ю. Е., Стенин Н. Н. Использование подъёмно-транспортного оборудования и транспортных средств для обработки крупнотоннажных контейнеров: Монография. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2022. – 250 с. ISBN 978-5-9509-0468-4.

Кобзев В. А., Алаев М. М. Инновационные технические средства обеспечения безопасности закрепления составов на станционных путях: Монография. – М.: РУТ (МИИТ), 2022. – 100 с. ISBN 978-5-907555-68-6.

Кравченко В. А., Паничкин А. В., Божанов А. А., Ломакин Д. О. Наземные транспортно-технологические машины: автомобили и тракторы: Учебник. – Орёл: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2022. – 310 с. ISBN 978-5-9929-1197-8.

Кузнецов С. М. Автоматизированное проектирование устройств электрического транспорта: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 102 с. ISBN 978-5-7782-4672-0.

Лубенцова Е. В., Лубенцов В. Ф. Теория автоматического управления. Теоретические основы синтеза и анализа линейных систем: Учеб. пособие. – Краснодар: КубГТУ, 2022. – 227 с. ISBN 978-5-8333-1104-2.

Модестова С. А., Воронов В. А., Шалыгин А. В. Транспорт и хранение сжиженных газов: Учеб. пособие. – СПб.: Лема, 2022. – 83 с. ISBN 978-5-00105-719-2.

Найгерт К. В., Рождественский Ю. В. Рабочие процессы и основы расчёта гидроприводов автомобиля: Учеб. пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2022. – 76 с.

Песчанский А. И. Полумарковские модели профилактики ненадёжной одноканальной системы обслуживания с потерями: Монография. – М.: Инфра-М, 2022. – 266 с. ISBN 978-5-16-017734-2 (print).

Пименов А. Т., Барахтенова Л. А., Дьякова К. С. Способы повышения устойчивости оснований автомобильных дорог: Учебное пособие / Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин): 2021. – 80 с. ISBN 978-5-7795-0936-7.

Рожицкий Д. Б. Нетяговая энергетика железнодорожного транспорта. Нормирование потребления топливно-энергетических и водных ресурсов: Монография. – М.: РАС, 2022. – 322 с. ISBN 978-5-6047616-3-2.

Степанов С. Н., Чёрных Л. Г., Хрусталёва И. Н. [и др.]. Проектирование и сборка автомобиля. Расчёт тяговых характеристик: Учеб. пособие. – СПб.: Политех-Пресс, 2022. – 94 с. ISBN 978-5-7422-7679-1.

Тюлькин В. А. Теория подобия в оценке параметров температурного режима двигателя автомобиля. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – 58 с. ISBN 978-5-9961-2821-1.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



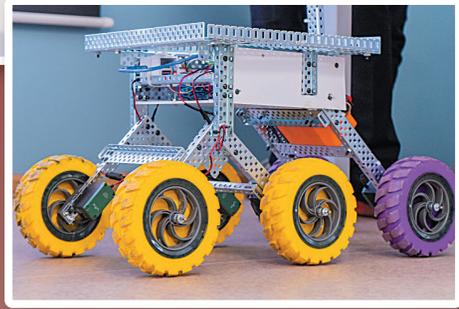
VII Конкурс исследовательских и проектных работ «Транспорт будущего»

16 мая 2022 года в Российском университете транспорта состоялся финальный этап Всероссийского конкурса исследовательских и проектных работ «Транспорт будущего».

В конкурсе, проходившем в 12 номинациях и 4 возрастных группах, участвовали школьники, учащиеся техникумов, студенты вузов, обучающиеся детских

железных дорог и кванториумов ОАО «РЖД» из 35 регионов Российской Федерации, а также большая группа конкурсантов из Республики Беларусь. Всего в финале были представлены почти 300 лучших работ.

Конкурс, проводившийся уже в седьмой раз, снова дал участникам возможность представить жюри и экспертам

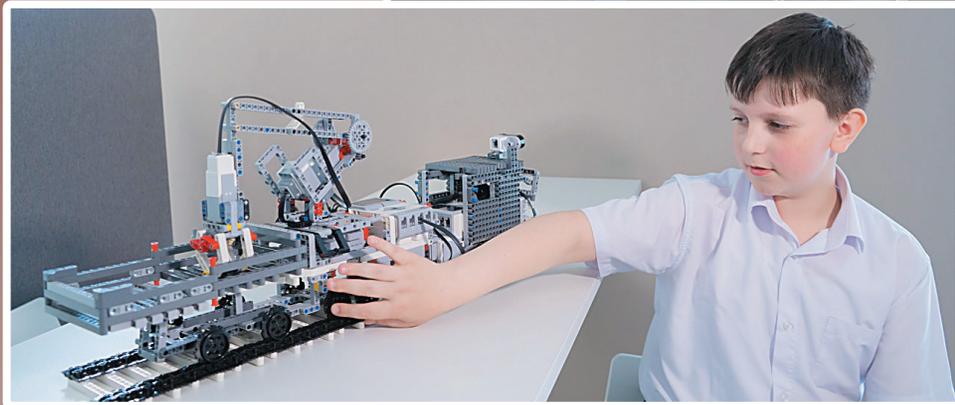


свои макеты и проекты, ознакомиться с другими работами, поучаствовать в обсуждениях прозвучавших идей.

Проекты участников, подтверждающая правильность названия конкурса, действительно были устремлены в будущее транспорта. Среди них были модели и проекты беспилотных транспортных систем, городского, воздушного и космического транспорта, станций и узлов, новые технологии традиционных назем-

ных перевозок, идеи по новым услугам для пассажиров. Выбор жюри был не простым, так как все финалисты продемонстрировали оригинальность подходов и большой интерес к инновациям на транспорте.

Тем не менее выбор жюри был сделан, и в тот же день в торжественной обстановке Дворца культуры РУТ (МИИТ) прошла церемония вручения дипломов победителям и призёрам Конкурса. ●



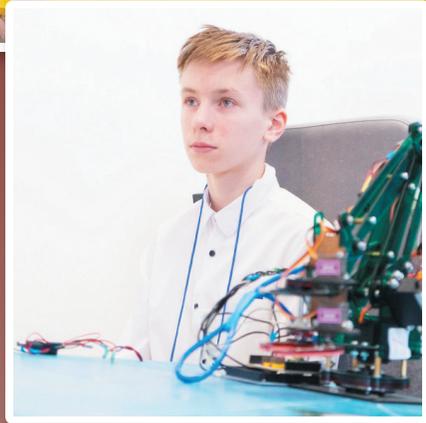
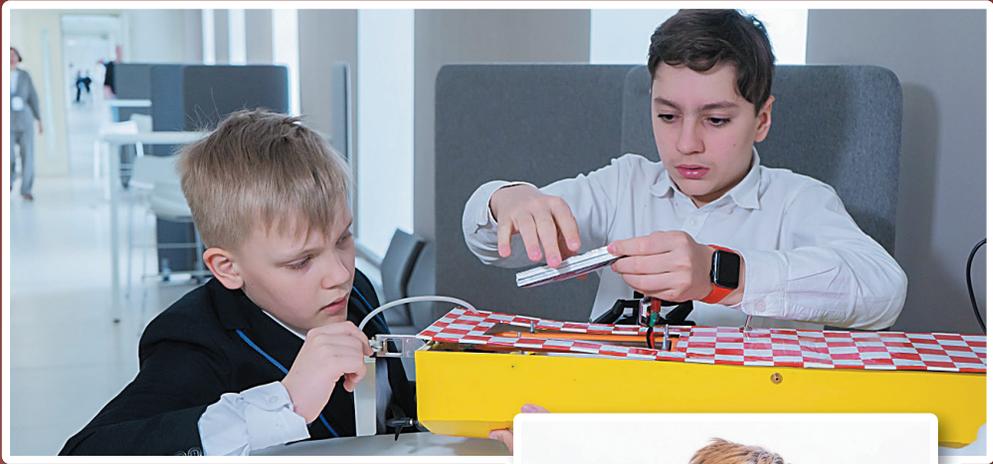
7th Transport of the Future Contest of Research and Design Works

Russian University of Transport traditionally hosted on May 16, 2022, the final of the 7th edition of the Transport of the Future Contest.

The contest, held in 12 nominations and within 4 age groups from 6 to 25 years, was attended by schoolchildren, students of vocational schools, and universities, pupils

of children's railways and quantoriums of JSC Russian Railways. The contestants represented 35 regions of the Russian Federation, as well as the Republic of Belarus with almost 300 best projects and works.

The contest gave the participants a new opportunity to present their models and



projects to the jury and experts, to get acquainted with other works, to participate in discussion of the pronounced ideas.

The projects of the participants proved the validity of the name of the contest being aimed at the future of transport. They included models and projects of unmanned transport systems, urban, air and space transport, stations and nodes, new technologies of traditional ground

transportation, ideas for new services for passengers. The choice of the jury was not easy, as all the finalists demonstrated the originality of approaches and great interest in innovations in transport.

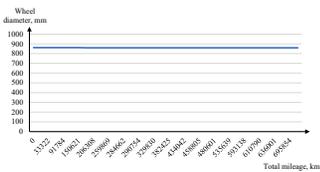
Nevertheless, the jury made its choice and on the same day in the solemn atmosphere of the RUT Palace of Culture winners and prize-winners were awarded with diplomas. ●

T



WHEELSETS: RAILWAYS 124

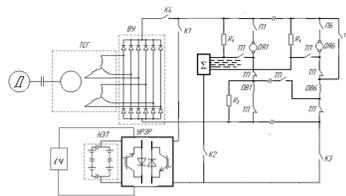
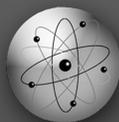
Comparative assessment of the processes and results of laser and plasma hardening.



WHEELSETS: METRO 131

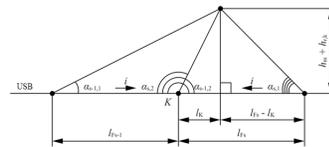
Measurements, statistical data and developed techniques allow estimating residual life of the elements and of the entire wheelset of modern cars.

SCIENCE AND ENGINEERING



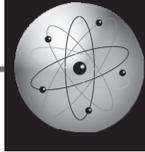
HYBRID LOCOMOTIVE 139

Traction rates: how to increase them by installing traction power storage devices without diminishing the performance of diesel locomotives.



CAB SIGNALLING 148

Testing of sensibility and noise immunity of receiver and other equipment with the help of testing loop: a model and calculations.



Comparative Analysis of Wheelsets Tyres, Hardened Using a Laser or Plasma Heat Source



Evgeny V. KHRIPTOVICH



Igor N. SHIGANOV



Daria V. PONOMARENKO



Sergey A. SHMELEV



Emil D. ISHKINYAEV

Evgeny V. Khriptovich^{1,2}, *Igor N. Shiganov*², *Daria V. Ponomarenko*³, *Sergey A. Shmelev*¹, *Emil D. Ishkinyayev*⁴

¹ Scientific and Technical Association IRE-Polus, Fryazino, Russia.

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

³ Gubkin University, Moscow, Russia.

⁴ National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia.

✉ ¹ ehriptovich@ntoire-polus.ru.

ABSTRACT

Lateral wear of the locomotive wheel flange is one of the main types of wear that occurs during rolling stock operation. An important characteristic of a rail wheel rim is its wear resistance, which directly depends on the carbon content in steel. The carbon content in wheel steel of group 2 in the amount of 0,55–0,65 is due to the fact that at its lower concentration, the proportion of grain boundary ferrite increases, which leads to a decrease in the contact strength of wheels, and a higher one leads to a tendency to brittle fracture. The increased carbon content makes it possible to harden the surface of steel. Plasma and laser hardening technologies can be used to reduce tyre flange wear and increase the service life of locomotive wheelsets.

The objective of this work is to determine advantages and disadvantages of technologies for laser and plasma hardening of working surfaces of tyres of wheelsets of railway rolling stock.

The comparative analysis related to microstructure and microhardness of wheelsets tyres of the 2TE25KM diesel

locomotive which are made of wheel steel of group 2 according to GOST 398-2010 state standard and hardened respectively by plasma and laser hardening.

The tasks set were solved using theoretical and experimental research methods. The preparation and study of hardened samples was carried out using the equipment of the testing laboratory of LLC Scientific and Technical Association «IRE-Polus».

A study referred to hardened zones in various areas and sections of the tyre. Tribological tests concerned wear resistance of specimens hardened with a high-power fiber laser. The main advantages and disadvantages of laser and plasma hardening processes are revealed.

The conducted studies allow making a conclusion that the use of laser hardening technology for hardening wheelsets tyres, as an alternative to the plasma hardening process, is highly promising.

Keywords: railway transport, laser hardening, plasma hardening, wheelset, wheel steel.

For citation: Khriptovich, E. V., Shiganov, I. N., Ponomarenko, D. V., Shmelev, S. A., Ishkinyayev, E. D. Comparative Analysis of Wheelsets Tyres, Hardened Using a Laser or Plasma Heat Source. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The introduction of fundamentally new technologies for laser hardening of medium-carbon and high-carbon steels using industrial fiber lasers and special optical heads that allow processing a tyre in one pass with a hardening zone width of up to 40 mm is currently an important direction in development of technology. The laser hardening process has a number of advantages over other types of processing. When exposed to laser radiation on the surface of the workpiece, compressive stresses are formed that positively affect the overall stress state of the product [1]. Formation of high compressive stresses in the hardened surface layer and reduction of tensile stresses in the transition zone is an important factor in improving the performance of products operating under contact and alternating loads [2]. Laser hardening ensures uniformity of structure and microhardness over the entire depth of the hardened zone.

A significant positive effect is achieved with the creep resistance of the metal. It is due to the fact that because of the finely dispersed structure, the plastic flow of steel occurring in the presence of sharp temperature gradients is prevented [3; 4]. Due to the finely dispersed structure of the hardened layer, the workpiece combines optimal values of plasticity, hardness and strength, which leads to an increase in its tribotechnical characteristics [5]. The laser heat treatment results in an increase in the contact fatigue strength of the workpiece, as well as in an increase in its wear resistance by several times [6].

The equipment for laser processing of flanges of wheelsets tyres is practically not used at Russian maintenance and repair enterprises. Until recently, there has been only one laser hardening site on Gorky Railway using Kometa-2 complex [7]. Plasma technology for hardening locomotive wheelsets tyres is the most common. At the enterprises repairing and maintaining locomotives of JSC Russian Railways, about 90 installations have been introduced, though many of them (at least 20) are not used for various reasons [8].

The authors of [9] showed that high residual tensile stresses are formed in the zone of plasma hardening of the flanges. When they occur in the surface layers, summation with external tensile or alternating stresses arising during operation of wheelsets is possible [10]. The described effect can lead to the occurrence of defects of contact fatigue origin and cause the formation of cracks and fatigue spalling

(flaking), which can directly or indirectly affect train traffic safety [11; 12].

The experimental data obtained using plasma technology showed that during plasma treatment it is necessary to ensure the uniformity of the hardened layer both along the width of the hardened zone and along the circumference of the flanges [2]. Based on the presented data, it can also be concluded that in the process of plasma hardening, a significant overheating of the surface layer of the workpiece can occur. With laser processing, this effect is not observed.

The *objective* of the work is to conduct a *comparative analysis* of formation of the microstructure, microhardness and wear of 2TE25KM diesel locomotive wheel tyres, made of wheel steel of group 2¹ and hardened with plasma and laser hardening.

EQUIPMENT AND EXPERIMENTAL TECHNIQUE

The experiments were carried out on real wheelsets made of steel of group 2 (according to GOST [Russian state standard] 398-2010) with hardening of the entire length of the tyres of two wheels. The chemical composition of wheel steel has been identified using a Q8 Magellan spectrometer according to GOST 18895 and is presented in Table 1.

The steel microstructure (Pic. 1) is a thin-lamellar perlite with ferrite fringes 3–7 μm wide along its boundaries. In this case, the size of pearlite grains changes in the range from 35 to 55 μm. The microhardness of such a structure is 295–333 HV_{0,2}.

Laser hardening of wheelsets tyres was carried out on an IPG FL-CPM machine for

¹ Rail steel deoxidised with aluminium. – *Transl. note.*



Pic. 1. Microstructure of main metal of wheel steel of type 2, x1000 [developed by the authors].



Chemical composition of wheel steel 2 [developed and compiled by the authors]

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu	Co	V
0,595–0,617	0,372–0,397	0,779–0,813	0,025–0,039	0,043–0,073	0,005–0,006	0,011–0,013	0,003–0,005	0,009–0,012	0,025–0,031	0,021–0,025



Pic. 2. Installation for processing bodies of revolution FL-CPM [developed by the authors].

processing bodies of revolution, equipped with an IPG YLS-10000 fiber laser, manufactured by LLC Scientific and Technical Association «IRE-Polus» (Pic. 2).

To increase productivity of the laser hardening process, the tyre was processed with a laser rectangular beam profile with dimensions of 35 x 5 mm. The transformation of the circular profile of the laser radiation spot into a rectangular one was carried out using a specialized module of the IPG IRE-POLUS shaper of the linear spot profile, its external view and internal structure, which are shown in Pic. 3.

Plasma hardening was carried out applying standard equipment, which is used at the enterprises maintain locomotives of JSC Russian Railways.

Laser hardening modes: laser radiation power was of 5–8 kW; linear rate of hardening of tyres was of 5–7,5 mm/s. Transverse air circulation was used to protect the optical elements of the laser head.

Plasma hardening modes: operating power of the source was up to 35 kW; linear speed was of 5–7,5 mm/sec, width of the impact zone was of 28 mm. Nitrogen was used as the plasma-forming and shielding gas. Cooling water consumption was of 0,8 litres per wheelset.

RESULTS

The study of the macrostructure after plasma and laser hardening was carried out on sections cut from the central part of the wheel, which was not subjected to reheating when completing («locking») the process of hardening the surface.

Pic. 4 shows cross sections of the hardened sections after plasma and laser hardening, indicating the size of the hardened zones.

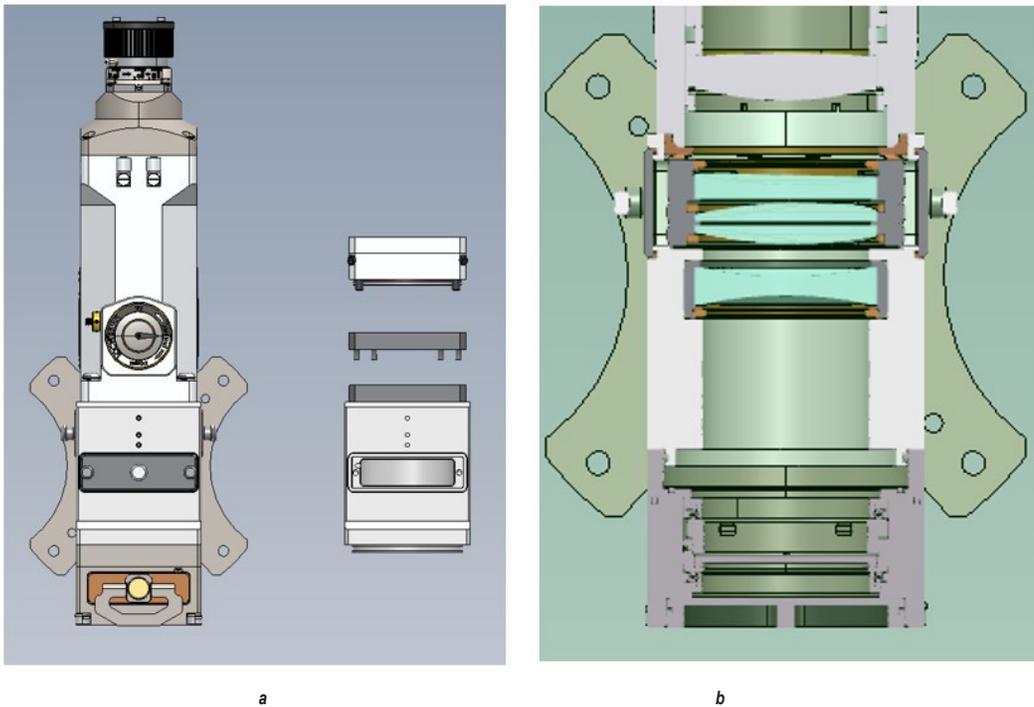
Macrostructures of Pic. 4 show that the maximum depth of the hardened layer after plasma and laser hardening is comparable and is approximately of 1900 μm . Along the edges of the hardened zone, in both cases, a gradual decrease in depth to zero values is observed.

Based on the study of the microstructure and microhardness of the samples after laser and plasma hardening, it was found that the properties obtained in different areas of the tyre, other than the area where hardening was started and completed, are the same, which makes it possible to study only its central part and the area where hardening has completed.

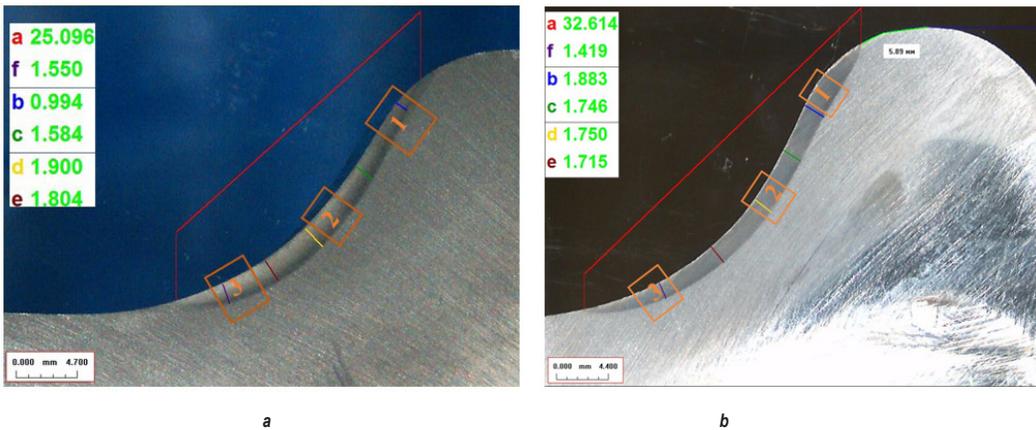
The study of the microstructure was carried out in the areas shown in Pic. 4 and marked with numbers 1, 2, 3. The microstructure and microhardness of the middle section 2 (Pic. 4) for plasma and laser processing are shown in Pics. 5 and 6.

The study of the near-surface layer of section 2 with a depth of $\sim 1100 \mu\text{m}$ showed that, during plasma treatment, a martensitic structure is formed in the form of blocks, along the boundaries of which inclusions of a ferrite-carbide mixture are observed, the micro hardness values are in the range of 766–857 HV_{0,2} (Pic. 5a). Upon laser hardening, the microstructure consists of martensite with higher hardness values of 783–879 HV_{0,1} (Pic. 6a).

Upon plasma treatment, increasing distance from the surface of the area under study to a depth of more than 1100 μm leads to formation



Pic. 3. Shaper of a rectangular spot profile:
 a – external view of the assembly; b – assembly design [developed by the authors].



Pic. 4. Macrostructure of the sample cut out from the wheel tyre:
 a – after plasma hardening; b – after laser hardening [developed by the authors].

of a 500 μm long zone with a troostite-martensite structure, the microhardness of which is 471–621 HV_{0,2} (Pic. 5b), while upon laser hardening there is a zone with a length of about ~ 400 μm with an insignificant decrease in microhardness to 726–783 HV_{0,1} and formation of a mixture of martensite and troostite in the structure (Pic. 6b).

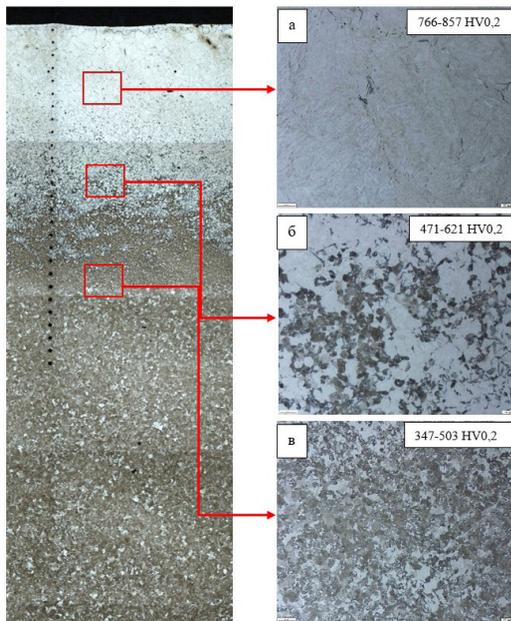
At the depth of more than 1600 μm , in both cases, a transition zone with a length of ~ 300 μm is observed, the microstructure of which is predominantly a ferrite-carbide mixture with a microhardness of 347–503 HV_{0,2} (Pic. 5c) upon

plasma hardening and a microhardness of 425–669 HV_{0,1} (Pic. 6c) upon laser hardening.

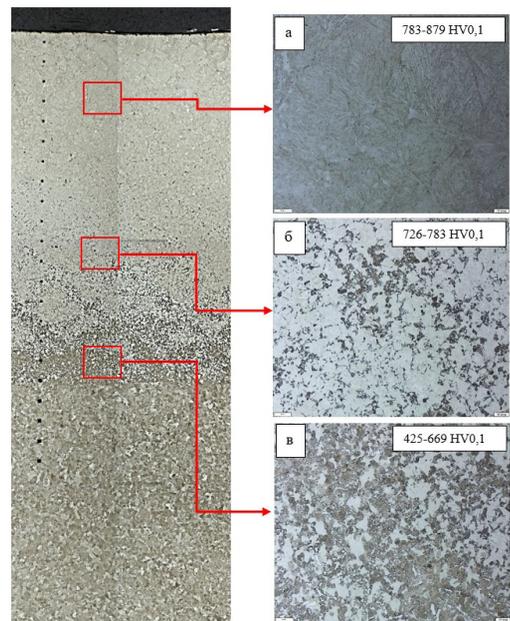
Thus, the study of the macro- and microstructure, as well as the microhardness of various sections of the central part of the tyre after laser hardening, showed high hardness values throughout the depth of the hardened layer due to formation of a martensitic structure and a highly dispersed ferrite-carbide mixture.

After plasma and laser hardening of the wheelsets tyre, a «lock» area is formed – a place in which reheating occurs due to the closure of the hardened layer. The study analysed this sec-





Pic. 5. Microstructure and microhardness of various areas of the hardened section 2 after plasma hardening.



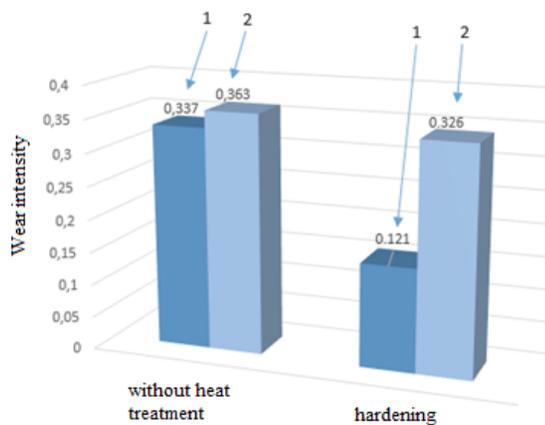
Pic. 6. Microstructure and microhardness of various areas of the hardened section 2 after laser hardening [developed and compiled by the authors].

tion in transverse and longitudinal directions after laser hardening. The depth of maximum hardening at the starting and ending area of hardening is 1500–1900 μm , i.e., practically over the entire hardening depth. A comparative analysis of the microstructure and microhardness within the starting and ending zones of the «lock» area showed formation of a hardened layer over the entire depth, both at the beginning of the «lock» area and at the end, of a structural-phase composition and of microhardness values similar to the central part of the tyre. This is due to the same content of the martensite component in the structure of the zones corresponding to their location. It was found that during laser hardening, the overlap zone is characterised by fine dispersion even after repeated re-hardening and a minimum tempering zone, in which the probability of defects during the operation of wheelsets is significantly reduced. It is also worth noting that when processing using plasma heat sources, the softening zone in the «lock» area is larger, due to the high thermal heating of the processed area during the closure of the hardening zone of wheelsets tyres, which also leads to re-hardening and tempering of the previously hardened zone, which increases the likelihood of various types of defects in this zone.

The microstructure of sections 1 and 3 after laser hardening in the corresponding zones of the

hardened layer, both at the beginning and at the end of «lock» area, is close, namely, a martensitic structure with maximum micro hardness values of 860 HV_{0,2} is formed in the surface zone. As we move away from the surface, we observe release of troostite, and, as a result, the microhardness drops to 750 HV_{0,2}. The transition layer is characterised by a further decrease in microhardness, due to formation of predominantly ferrous-carbide mixture. The study of the «lock» area of the hardened layer after laser hardening showed that the minimum values of microhardness are in the range of acceptable values.

The results of a comparative analysis of various areas of hardened wheelsets tyres indicate that in the case of plasma hardening, the micro hardness values in the surface zone of the hardened layer are somewhat lower than in laser hardening. However, when moving away from the surface towards the base metal, the values of the micro hardness of the corresponding zones differ significantly. Thus, in the case of laser hardening, the micro hardness of the transition zone is approximately by 100–150 Vickers units higher. At low hardness values, the likelihood of «catastrophic wear» of the side surfaces of the wheel and rail flanges increases, associated with the transition to wear via the scuffing mechanism, which requires a relatively long path of continu-



Pic. 7. Intensity of linear wear of samples without heat treatment and after laser hardening: 1 – wheel steel sample; 2 – rail steel counterbody [14].

ous sliding at a relatively low (less than 0,7 m/s) speed and with surface hardness not more than 600 HV [13].

It is shown that both types of hardening lead to formation of a gradient-mixed structure in the hardened layer. In this case, a martensitic structure is formed in the surface layer at high cooling rates, and in the underlying zones, decomposition of austenite is accompanied by formation of a ferrite-carbide mixture of various particle size distribution. It should be noted that during laser hardening, the depth of the surface layer with a purely martensitic structure is greater, which reduces the depth of zones with a mixed structure and lower microhardness values.

In the process of laser heat treatment of steel surfaces in the laser heating zone, phases and structures are formed that are similar in structure to the structures that emerge during classical methods of metal hardening. Due to the short thermal cycle, since there is no long exposure in the austenite region, the microstructure of the hardened area is finely divided as compared to the structure formed after plasma hardening. This effect has a positive effect on the mechanical properties of the near-surface layer of the hardened workpiece, which leads to an increase in the hardness and wear resistance of products.

Thus, high values of microhardness over the entire depth of the hardened layer, the absence of a sharp change in the structure and phase composition during laser hardening, and formation of a predominantly martensitic structure at the depth of maximum hardening can lead to a decrease in wear during operation of the wheelsets tyres.

To determine the rate of influence of laser hardening on the wear resistance of tyre ridges, tests were carried out according to the scheme of a plane (made of wheel steel of type 2) and a ring (made of rail steel) using an MTU-01 friction machine.

Pic. 7 shows the results of tribological tests intended to determine the intensity of linear wear I of wheel steel specimens after laser hardening and without it, paired with a rail steel counterbody.

Wear intensity was determined by the formula:

$$I = \Delta h / L,$$

where L – friction distance, mm;

Δh – wear value, μm .

From the above diagram (Pic. 7); it can be seen that with a slight change in the rate of wear of rails, there is a shape change in resistance of specimens made of wheel steel of type 2. The tests have so shown high efficiency of laser hardening of wheelset tyres.

Thus, the results of the comparative studies carried out allow making a conclusion that it is promising to introduce the technology of laser hardening of the near-surface layer of locomotive wheelsets tyres. Its implementation at repair enterprises will reduce the average intensity of tyre wear and increase their expected average mileage between wheelset turning during scheduled maintenance of rolling stock.

CONCLUSIONS

The depth of the hardened layer after plasma and laser hardening in the central section of the tyre is comparable and is of $\sim 1900 \mu\text{m}$, and in the areas located closer to the edge, $\sim 1500 \mu\text{m}$.





Therewith, the depth of maximum hardening with increased values of microhardness and of a finely dispersed structure are greater with laser hardening.

Both types of hardening result in formation of a gradient-mixed structure in the hardened layer. In the surface layer at high cooling rates, a martensitic structure is formed, and in the underlying zones, decomposition of austenite is accompanied by formation of a ferrite-carbide mixture with different range of particle dimensions. The microstructure of the hardened steel layer after laser hardening is more uniform.

Tribological tests have shown that with a slight wear of rails, resistance of wheelsets tyres after laser hardening can be increased by 2,8 times.

REFERENCES

1. Bogdanov, A. V., Grezev, N. V., Shmelyov, S. A., Murzakov, M. A., Markushov, Yu. V. Wheel steel strengthening with fiber lasers [*Uprochenie kolesnoi stali volokonnymi lazerami*]. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering [Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii]*, 2016, Iss. 9 (63), pp. 30–37. [Electronic resource]: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/article/12986/view>. Last accessed 27.05.2022.
2. Bogomolov, A. V., Kanaev, A. T. Plasma technology for hardening the flanges of locomotive wheelsets [*Plazmennaya tekhnologiya uprocheniya grebnei lokomotivnykh kolesnykh par*]. In: *Innovations in Material Science and Metallurgy [Innovatsii v materialovedenii i metallurgii]*: Proceedings of 1st international interactive scientific-practical conference [13–19 December 2011, Yekaterinburg]. Yekaterinburg, Publishing house of Ural University, 2012, P. 1, pp. 38–43. [Electronic resource]: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/27924/1/ivmim_2011_08.pdf. Last accessed 27.05.2022. ISBN 978-5-7996-0708-1, 978-5-7996-0709-8.
3. Bogdanov, A. V., Golubenko, Yu. V. Fiber technological lasers and their application: Study guide [*Volokonnnye tekhnologicheskie lazery i ikh primenenie: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Lan' publ., 2016, 208 p. ISBN 978-5-8114-2027-8.
4. Menushenkov, A. P., Nevolin, V. N., Petrovsky, V. N. Physical bases of laser technology [*Fizicheskie osnovy lazernoi tekhnologii*]. Moscow, NRNU MEPhI publ., 2010, 210 p. ISBN 978-5-7262-1252-4.
5. Markov, D. P. Tribology and its application in railway transport [*Tribologiya i ee primenenie na zheleznodorozhnom transporte*]. Series: Proceedings of the All-Russian Research Institute of Railway Transport. Moscow, Intext publ., 2007, 408 p. ISBN 978-5-89277-080-4.

6. Shmelev, S. A., Bogdanov, A. V., Tatarkin, D. U., Khriptovich, E. V. Development of optimal modes of hardening contact surfaces of wheel pairs of wagons and locomotives with the use of fiber lasers [*Razrabotka optimalnykh rezhimov uprocheniya kontaktnykh poverkhnostei kolesnykh par vagonov i lokomotivov s ispolzovaniem volokonnnykh lazerov*]. Future of mechanical engineering of Russia: collection of reports of the 10th All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists (with international participation), 2017, pp. 230–236. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41786898&ppf=1>. Last accessed 27.05.2022.

7. Glazunov, D. V. Ways to reduce wear of wheelsets of carriage rolling stock [*Sposoby snizheniya iznosa kolesnykh par podvizhnogo sostava*]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2019, Iss. 2 (54), pp. 107–114. [Electronic resource]: https://iuggu.ru/download/2019/2-54-2019/14_Glazunov.pdf. Last accessed 27.05.2022. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-107-114.

8. Petrov, S. Yu., Kostukevich, A. I., Riabov, A. A., Reinforcement of Ridges and Reduction of Wheelset Wear and Tear. *World of Transport and Transportation*, 2013, Iss. 2 (46), pp. 62–69. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19412518>. Last accessed 27.05.2022.

9. Kiselev, S. N., Savrukhin, A. V., Kuzmina, G. D. Influence of plasma treatment on the stress-strain and structural state of locomotive wheel tyres [*Vliyaniye plazmennoi obrabotki na napryazhenno-deformirovannoe i strukturnoe sostoyaniye grebnei bandazhei koles lokomotivov*]. *Svarochnoe Proizvodstvo*, 2001, Iss. 6, pp. 9–17.

10. Buynosov, A. P. The main causes of intensive wear of tyres of wheelsets of rolling stock and methods for their elimination [*Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhei kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniya*]. Yekaterinburg, Publishing House of USURT, 2009, 223 p. ISBN 978-5-94614-148-2.

11. Wang, Wenjian; Guo, Jun; Liu, Qiyue. Experimental study on wear and spalling behaviors of railway wheel. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2013, Vol. 26, Iss. 6, pp. 1243–1249. [Electronic resource]: <https://cjme.springeropen.com/counter/pdf/10.3901/CJME.2013.06.1243.pdf>. DOI: 10.3901/CJME.2013.06.1243 [access restricted for subscribers only].

12. Deters, L., Proksch, M. Friction and wear testing of rail and wheel material. *Wear*, 2005, Vol. 258, Iss. 7–8, pp. 981–991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.03.045>.

13. Markov, D. P. Mechanics and tribology of lateral wear of wheels and rails [*Mekhanika i tribologiya bokovogo iznosa koles i relsov*]. *Vestnik RGUPS*, 2003, Iss. 3, pp. 16–23. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11693847>. Last accessed 27.05.2022.

14. Shmelev, S. A. Development of equipment for obtaining a linear fiber laser radiation profile that provides highly efficient processing of railway wheel flanges. Ph.D. (Eng) thesis [*Razrabotka oborudovaniya dlya polucheniya lineinogo profilya izlucheniya volokonno go lazera, obespechiayushchego vysokoeffektivnyuyu rabotu grebnei zheleznodorozhnykh koles*. Dis... kand. tekhn. nauk]. Bauman MSTU (National Research University), 2020, 166 p. ●

Information about the authors:

Khriptovich, Evgeny V., Head of the Section of Laser Hardfacing and Heat treatment of LLC Scientific and Technical Association «IRE-Polus»; Ph.D. student at Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, ehriptovich@ntoire-polus.ru.

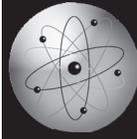
Shiganov, Igor N., D.Sc. (Eng), Professor at Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, inshig@bmstu.ru.

Ponomarenko, Daria V., engineer, Assistant Lecturer at the National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russia, dponomarenko@ntoire-polus.ru.

Shmelev, Sergey A., Ph.D. (Eng), Head of the Sales Department of LLC Scientific and Technical Association «IRE-Polus», Moscow, Russia, sShmelev@ntoire-polus.ru.

Ishkinyaev, Emil D., Ph.D. student, Engineer-technologist of National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia, elshkinyaev@ntoire-polus.ru.

Article received 13.05.2022, approved 24.06.2022, accepted 29.06.2022.



Forecasting the Residual Life of Wheelsets of 81-740/741 «Rusich» Cars of the Metro Electric Trains



Denis S. SHUTOV



Igor I. LAKIN

Denis S. Shutov¹, Igor I. Lakin²

^{1,2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

¹ State Unitary Enterprise Moscow Metro, Moscow, Russia.

² JSC Transmashholding (TMH), Moscow, Russia.

✉ ¹ shutov-ds@mosmetro.ru.

ABSTRACT

A modern approach to determining the useful life of components and parts of rolling stock allows not only to estimate the pre-failure state of an object, but also to predict its useful life.

The objective of the study is to predict the mileage of wheelsets of modern electric trains of the «Rusich» series based on the use of statistical data and assessment of the residual life.

The study used real data recorded during maintenance and repair of electric trains.

The proposed approach allows getting a vivid presentation of the equipment wear rate, since it is based on the use of the measured parameters of the object. The analysis of these values

makes it possible to determine the processes occurring in the product. When using large samples, it becomes possible to approximate the obtained numerical values and make a forecast of the technical condition with greater reliability.

The task of predicting the residual life is quite complicated and must be solved separately for each type of equipment. That is why the generally accepted world practices are associated with preventive maintenance and repair system, while modern automated digital systems for technical diagnostics (including on-board and built-in ones) make it possible to partially switch to technical maintenance and repair considering the actual technical condition of the rolling stock.

Keywords: metro, residual life, metro cars, wheelsets, rolling stock, forecasting, diagnostics, equipment reliability, traffic safety.

For citation: Shutov, D. S., Lakin, I. I. Forecasting the Residual Life of Wheelsets of 81-740/741 «Rusich» Cars of the Metro Electric Trains. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 131–138. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The duration of useful life of parts is determined at the design stage and indicated in the specifications for the product. For example, for wheelsets of metro electric trains of «Rusich» series, a service life of 31 years is set for their individual elements, subject to respect of the stipulated schedule of technical maintenance and repair (TMR). One of the tasks of technical diagnostic systems is to predict the technical condition of an object, namely, to determine the residual life of the equipment (the remaining time of its run or operation to the limit state)¹. According to GOST «Reliability in equipment»², residual life is the total operating time of the object from the moment of monitoring its technical condition to the moment when it reaches the limit state. The pre-failure state criterion is a sign or a set of signs of the pre-failure state of an object. As a rule, this is falling of one or more parameters outside the tolerance limits. The latter greatly simplifies the solution of the problem of predicting the residual life through approximation of the trend of diagnostic data, which involves selection of a mathematical function for statistical data to calculate the residual life.

The dependence of the change in the parameters of the object being diagnosed on time (mileage) depends on the physical characteristics of the object and can have either linear, or other types of regularities: parabolic, hyperbolic, exponential, and many others [1]. The wear of the wheel flange and tread occurs evenly with a change in mileage, and the values of these parameters will have a linear relationship with a change in mileage. In case of parabolic, hyperbolic, exponential, and other dependences, the solution of the approximation problem is quite difficult. Therefore, in practice, a linear approximation of the function y (in our case, the diameter and thickness of the wheel flange) of the diagnostic argument x ($y = k \cdot x + b$) is usually used, for which, within small observation ranges, the application of least squares method is widespread. This method is based on minimising the sum of squared deviations of the desired function from statistical data [2]. The value of

the sought-for function is equal to the sum of the squared deviations of the observed values from the theoretical ones.

To find the function, it is necessary to identify the type of the expected dependence (most often, a linear regression of the form $y = k \cdot x + b$ is used) and solve the system of equations to find the parameters k and b .

While calculating the lifetime of electric train wheelsets, two concepts of useful life can be applied: those based respectively on destruction or on exhaustion of the controlled parameter [3]. In this study, due to the small number of failures of wheelsets associated with destruction of their elements, as well as to determine their useful life, we will use the method of determining the useful life based on the exhaustion of the controlled parameter. Regarding electric trains, the required range for the calculated residual life is based on the soonest coming scheduled TMR, so-called technical maintenance-3, or technical repair-1, executed in metro car depot. With an average daily run of 700 km and a basic overhaul run of 30000 km, this makes 2 months. For such relatively short periods, the least squares method is suitable.

The *objective* of the work is to assess the technical condition of the wheelsets of electric trains of the Moscow Metro based on statistical data. To solve the problem, the least squares method was used followed by further analysis of the results obtained [4, pp. 203–216].

This method makes it possible to obtain the most accurate description of the state of the equipment in the absence of exact values of the parameters of individual parts of the considered assembly [2].

RESULTS

Initial Data

To analyse the process of wheel wear, the values of the diameters and thicknesses of the wheel flange, obtained at fixed operating times, were retrieved from the «Charts of accounting for the condition of wheelsets» for the head cars of model 81–740 and intermediate cars of model 81–741.

We will summarise the numerical values of the diameters of the wheelsets in Table 1, and the thickness of the flange of the wheelsets in Table 2.

Tables 1 and 2 show the numerical values of the wheel flange diameter and thickness of the 81-740/741 cars, which were measured both

¹ GOST [state standard] 20911-89 Technical diagnostics. Terms and definitions. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Last accessed 21.02.2022.

² GOST [state standard] 27.002-2015 Reliability in equipment. Terms and definitions. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Last accessed 21.02.2022.

Table 1

The values of diameters of the wheelsets of the «Rusich» series [compiled by the authors]

Diameter	Initial mileage	TM-3	TM-3	TM-3	TM-3	TM-4	TR-2	TR-2	TR-3	TR-1	TM-3	TR-1	TM-3	TR-1
Mileage before next maintenance/repair, km	0	295	3090	22358	28152	11319	12333	17799	13630	25251	16051	9930		
Operating life [total mileage], km	0	295	3385	25744	53897	65216	212870	230670	244300	269551	285603	295534		
1	861	861	861	861	861	861	860,9	860,8	860,7	860,7	860,5	860,5		
2	861	861	861	861	861	861	860,9	860,8	860,7	860,6	860,5	860,5		
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,2		
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,4	860,3	860,3	860,3	860,3		
3	861	861	861	861	861	861	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,2		
2	861	861	861	861	861	861	860,8	860,8	860,7	860,7	860,7	860,7		
4	861	861	861	861	861	861	860,5	860,5	860,4	860,3	860,3	860,2		
2	861	861	861	861	861	861	860,6	860,5	860,5	860,4	860,4	860,2		
5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860	859,9	859,8	859,7	859,7	859,6		
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	859,9	859,8	859,7	859,7	859,7	859,6		
6	861	861	861	861	861	861	860,4	860,3	860,2	860,1	860	859,9		
2	861	861	861	861	861	861	860,5	860,4	860,3	860,2	860,2	860,1		

Table 2

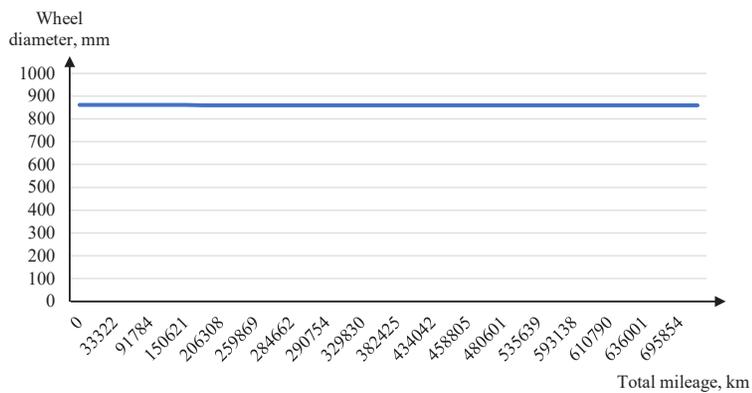
The values of flange thickness of the wheelsets of car No. 0291 of the «Rusich» series [compiled by the authors]

Flange thickness	Initial mileage	TM-3	TM-3	TM-3	TR-1	TM-3	TR-3	TR-3	TM-3	TR-3	TM-3	TR-3	TM-3
Mileage before next maintenance/repair, km	0	0	8665	24656	28807	29655	26763	27028					
Operating life [total mileage], km	0	0	8665	33321	62129,1	91784	259868	722882					
1	33	33	33	33	33	33	32,8	30,5					
2	33	33	33	33	33	33	32,8	31					
2	32	32	32	32	32	32	32	29					
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	29,5					
3	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	31					
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	31					
4	32	32	32	32	32	32	32	30,5					
2	32	32	32	32	32	32	31,8	31					
5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	29,5					
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	30					
6	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	26,8					
2	32	32	32	32	32	32	31,8	28,5					

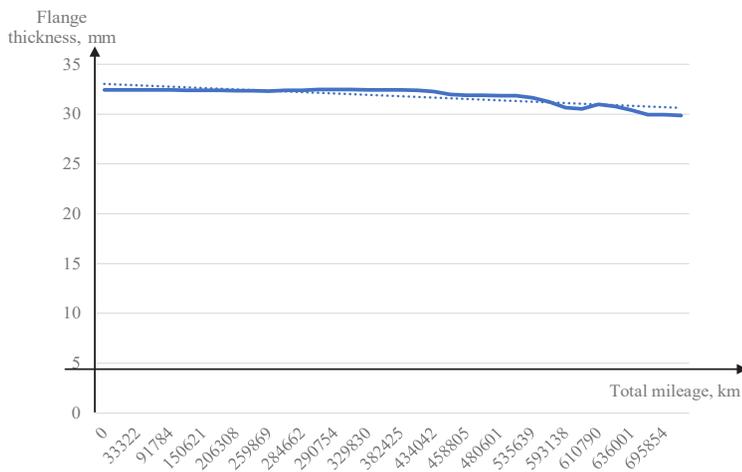


**Examples of approximation of the wear of the tread of wheelsets for car No. 0293
[compiled by the authors]**

No.	Mileage before turning l_n	Mathematical expectation of diameters of wheelsets of the car	Product of mileage and diameter $l_n \cdot d_n$	Square of mileage l_n^2
1	0	860,92	0	0
2	117 554	860,85	101 196 360	13818942916
3	143 351	860,83	123 400 841	20549509201
4	175 644	860,67	151 171 521	30850814736
5	202 728	860,56	174 459 607	41098641984
6	228 222	860,36	196 353 079	52085281284
7	240 874	860,17	207 192 588	58020283876
8	246 054	860,07	211 623 663	60542570916
9	265 552	859,97	228 366 753	70517864704
10	292 689	859,89	251 680 344	85666850721
11	322 539	859,81	277 322 257	104031406521
Σ	2 235 207	9 464,10	1 922 767 018	537182166859
Trend	$k = -0,000004147$	$b = 860,92$		
1	350 000	859,47		
...		
239	12 250 000	810,12		
240	12 300 000	809,92		



Pic. 1. Dependence of the wheel diameter on total mileage of the car No. 0883 [developed by the authors].



Pic. 2. Dependence of wheel flange thickness on total mileage of the car No. 0291 [developed by the authors].

when the wheelset was rolled under the car and during periodic technical maintenance and repairs of cars.

To determine the relationship between the mileage and the diameter and thickness of the wheel flange, we will construct the operational characteristics of the wheelsets using the indicated values (Pics. 1, 2).

As can be seen from Pics. 1 and 2, the numerical values of the diameter and thickness of the wheel flange, depending on the total mileage, have linear dependences of the form $y = k \cdot x + b$. This allows finding the coefficients k , b and predicting the residual life of wheelsets by approximating numerical values with analytical expressions using the least squares method.

Forecasting the Residual Life of a Wheelset by Wheel Diameter

Table 1 shows an example of wheel centre wear data as by diameter. To predict the residual life, it is necessary to regularly measure the geometric parameters of the wheelsets from the very beginning of its operation. Let us denote the number of measurements as N and approximate the wear of the wheel tread based on 11 available values obtained during the measurements.

Let, as a result of measuring $n = \{1, N\}$ of the diameter or thickness of the wheelset flange at different mileages l_n , the diagnosed parameter takes the values d_n . Then the linear trend function will be calculated by the least squares method using formulas (1) and (2):

$$k = [N \cdot \sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n) - \sum_{n=1}^N l_n \cdot \sum_{n=1}^N d_n] / [N \left(\sum_{n=1}^N l_n^2 \right) - (\sum_{n=1}^N l_n)^2], \quad (1)$$

$$b = \left[\sum_{n=1}^N (d_n) - k \cdot \sum_{n=1}^N l_n \right] / N. \quad (2)$$

Using formulas (1) and (2), the coefficients k and b were calculated for an equation of the form $y = k \cdot x + b$, then the equation for forecasting the value the diameter of the wheelsets of car No. 0293 takes the form indicated in the formula (3):

$$d = -0,000004147 \cdot l + 860,92. \quad (3)$$

Examples of the results of forecasting the residual life of wheelsets by their diameter for car No. 0293 are summarised in Table 3.

Thus, by summing the values of the products of the mileage and the wheel diameter ($l_n \cdot g_n$), the square of the mileage l_n^2 indicated in Table 3,

Table 4
Forecasting the condition of wheelsets for the train No. 0291–0293 [compiled by the authors]

No. of the car	Mileage from beginning of operation to minimal diameter of 810 mm, mln km
0291	17
0883	19,45
0888	4,8
0293	12,25
Average value	13,375

substituting them into expression (1) ($\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$ and $\sum_{n=1}^N l_n^2$), it becomes possible to find the coefficient k of the expression $y = k \cdot x + b$.

Forecasting the service life of wheelsets based on the diameter for car No. 0293 shows that the change of wheelsets for the specified car must be done when the mileage reaches 12,25 million km.

Having made similar calculations for the remaining cars of train No. 0291–0293, the mileage values given in Table 4 were obtained.

Thus, the calculation of the average value of the wheelset mileage according to the limited value of the diameter [5] of the wheel fixed at 810 mm for the train No. 0291–0293 amounted to 13,375 million km, which, with a daily run of a metro car of 700 km, is equal to 52,3 years of service of the wheelsets without considering downtime for TMR. The obtained value of the service life indicates that such a parameter as the diameter of the wheel is subject to increased requirements in accordance with the operation and repair manual for metro wheelsets. This is due to the need to keep the values of diameters of the wheels of one wheelset, of the wheels of the wheelsets on the same bogie and of the wheels of the wheelsets of one car as close to the same value as possible.

However, besides such a controlled value as the wheel diameter, there are dozens of other quantities (ridge thickness, tyre width, tyre thickness, etc.) that have a limited value. This indicates that it is impossible to determine the actual service life of individual elements of wheelsets, considering only one of the controlled parameters (for example, wheel diameter). Therefore, there is a need to apply the least squares method to other controlled parameters of wheelsets to find vulnerabilities and increase the service life of individual elements of wheelsets, which is currently 31 years.



**Examples of approximating the thickness of the wheelset flange for car No. 0291
[compiled by the authors]**

No.	Mileage before turning l_n	Mathematical expectation of wheel flange of the car	Product of mileage and flange thickness $l_n \cdot g_n$	Square of mileage l_n^2
1	0	32,42	0	0
2	120 000	32,38	3885600	14400000000
3	240 000	32,32	7756800	57600000000
4	360 000	32,32	11635200	129600000000
5	480 000	31,85	15288000	230400000000
6	600 000	30,66	18396000	360000000000
7	720 000	29,86	21499200	518400000000
Σ	2 520 000	221,81	78 460 800	1310400000000
Trend	$k = -0,000003449$	$b = 32,42$		
1	840 000	29,52		
2	960 000	29,11		
3	1 080 000	28,69		
4	1 200 000	28,28		
5	1 320 000	27,87		
6	1 440 000	27,45		
7	1 560 000	27,04		
8	1 680 000	26,63		
9	1 800 000	26,21		
10	1 920 000	25,80		
11	2 040 000	25,38		
12	2 160 000	24,97		

Forecasting the Residual Life of the Wheelset by Flange Thickness

Table 2 shows examples of data on the wear of wheel centres along flange thickness, where the number of measurements of geometric parameters of wheelsets $N = 7$. Using formulas (1) and (2), the coefficients k and b were calculated for an equation of the form $y = k \cdot x + b$, then the equation for predicting the thickness of the wheel flange of car No. 0291 takes the form indicated in formula (4):

$$g = -0,000003449 \cdot l + 32,42. \quad (4)$$

Examples of the results of forecasting the service life of wheelsets by their diameter for car No. 0291 are summarised in Table 5.

Thus, by summing the values of the products of the mileage and the thickness of the flange ($l_n \cdot g_n$) indicated in Table 5, the square of the mileage l_n^2 , substituting them into expression (1) ($\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$ and $\sum_{n=1}^N l_n^2$), it becomes possible to find the coefficient k of the expression $y = k \cdot x + b$.

Forecasting the resource of wheelsets based on the thickness of the wheel flange for car No. 0291 shows that the change of wheelsets for the specified car must be done when the mileage reaches 2,04 million km, since at the specified mileage, the thickness of the wheel flange will

be closest to the minimum (25 mm). In most cases, the cause of increased wear of the flange part of the wheel is the wheel slip as a result of creeping and (or) slipping relative to the rail [6].

Having made similar calculations for the remaining cars of the train No. 0291–0293, the mileage values given in Table 6 were obtained.

It should be noted that for cars No. 0883 and No. 0888, the estimated mileage from the beginning of operation to the minimum flange thickness of 25 mm was 1,2 million km, while the value of the flange thickness for both cars was 25,1 mm, which indicates the accuracy of the applied method.

For head cars No. 0291 and No. 0293, the mileage was 2,04 million km and 1,8 million km, respectively, which is more than for intermediate cars. This is explained by the fact that for head cars with a stall valve installed, increased requirements are imposed to ensure traffic safety.

Intensive wear of the flange is provoked by a large difference in the diameters of the wheels in the rolling circle. Measuring the diameters of wheels mounted on one axle is necessary to ensure the correct location of the wheelset in the track, since with different diameters of the wheels their slippage increases, and misalignments of the wheelset occur during movement [7].

Table 6

**Forecasting the condition of wheelsets
for the train No. 0291–0293
[compiled by the authors]**

No. of the car	Mileage from the beginning of operation to minimal value of flange thickness of 25 mm of wheels of the car, mln km
0291	2,04
0883	1,2
0888	1,2
0293	1,8
Average value	1,56

Thus, the calculation of the average value of the wheelset mileage according to the limited value of the flange thickness [8] of 25 mm of the train No. 0291–0293 amounted to 1,56 mln km, which with daily mileage of a metro car of 700 km is equal to 6,1 years of service of wheelsets without considering downtime for TMR. This, in turn, requires optimisation in terms of increasing reliability [9] of wheelsets, since this unit has the greatest impact on train traffic safety.

Results of Calculation of Mileage Values

Data on the mileage for the wheels of cars of the «Rusich» series with a DMeTI profile [a type of wheel profile allowed for use for metro cars of this series] and a minimum wheel diameter of 810 mm are summarised in Table 7.

It can be seen from Table 7 that the service life of wheelsets with calculated mileage up to the minimum wheel diameter, considering downtime for technical maintenance and repair, is 50,8 years, which is 63,8 % more than the designated service life for individual elements of wheelsets (31 years). This refers to timely replacement of wheelsets to maintain the same diameter for all wheel centres mounted on one car and, consequently, to reduce dynamic loads on the wheels of one car.

Another reason for replacing the wheelset may be associated with the discrepancy between its controlled parameters and the permissible values. In this case, the dismantled wheelset is sent for scheduled repairs, turning or for inspection to bring its controlled parameters back to acceptable values and further put wheelsets on the car for further operation.

«Wheelsets are part of the running gear and are one of the most important elements of the car. Therefore, they are subject to special, increased requirements of the state standard, the Rules for technical operation of railways, the Instructions for survey, repair, and assembling of car wheelsets, as well as of other regulatory documents during their design, manufacture, and maintenance» [10].

Let us summarise the data on the mileage for the wheels of the «Rusich» series cars with DMeTI wheel profile and the minimum value of the wheel flange thickness of 25 mm in Table 8.

Table 8 shows that the service life at the calculated mileage to the minimum thickness of the wheel flange, considering downtime for technical maintenance and repair, is 5,9 years, which is 5,2 times less (19,1 % of the assigned mileage) than the designated service life for separate elements of wheelsets (31 years). This is due to the fact that the least squares method must be applied starting with a flange thickness of 30 mm. With a flange thickness of 33 mm to 30 mm, intensive wear occurs, which was proved using the methods for calculating service life indicators in the article [11].

CONCLUSIONS

Analysis of the results of the study has shown that the estimated mileage when using the least squares method and approximating respectively the values of:

- Wheel diameters is 13,375 mln km.
- Wheel flange thickness is 1,56 mln km.

The use of wheelsets with the current wheel profile for metro rolling stock is not advisable, since intensive wear of the wheel flange thickness is the limiting factor in terms of reducing the mileage between unscheduled maintenance (turning of wheelsets) [12].

Structurally, there are the following ways to improve reliability of wheelsets:

Table 7

Calculation results [compiled by the authors]

Mileage of a car per day, km	Estimated value of mileage, days	Estimated value of mileage, years	Estimated value of mileage with account for downtime, years	Assigned service life for elements of wheelsets of DMeTI profile and diameter of 862 mm, years	Percentage of assigned mileage of the train No. 0291–0293, %
700	19107	52,3	50,8	31,0	163,8



Calculation results [compiled by the authors]

Mileage of a car per day, km	Estimated value of mileage, days	Estimated value of mileage, years	Estimated value of mileage with account of downtime, years	Assigned service life for elements of wheelsets of DMeTI profile and flange thickness of 33 mm, years	Percentage of assigned mileage of the train No. 0291–0293, %
700	2229	6,1	5,9	31,0	19,1

- Improvement of mechanical properties through the use of new grades of steel.
- Calculation of optimal dimensions of the wheel centre.
- Improvement of the technology of their manufacture [13].

Due to the large number of curved track sections on the lines of the Moscow Metro, and, as a result, to the increased wear of the wheel flange from 33 to 30 mm due to the effect of lateral forces [14], it is advisable to use the DMeTI VR wheel profile with a 30 mm thick flange for metro car rolling stock.

REFERENCES

1. Gorsky, A. V., Vorobyov, A. A. Reliability of electric rolling stock [*Nadezhnost elektropodvizhnogo sostava*]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 303 p. ISBN 5-89035-170-2.
2. Henley, E. J., Kumamoto, H. Reliability Engineering and Risk Assessment. Translated from English. Moscow, Mashinostroenie publ., 1984, 526 p. [Electronic resource]: <https://lib-bkm.ru/load/73-1-0-2094>. Last accessed 18.05.2022.
3. Sakharov, R. A. Technical diagnostics of the profile of the tread of railway wheels during operation. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Tekhnicheskoe diagnostirovanie profilya poverkhnosti kataniya zheleznodorozhnykh koles v protsesse ekspluatatsii. Avtore. dis... kand. tekh. nauk*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2020, 18 p. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010254006/. Last accessed 18.05.2022.
4. Prosvetov, G. I. Probability Theory and Mathematical Statistics: Problems and Solutions [*Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika: zadachi i resheniya*]. Moscow, Alfa-Press publ., 2009, 268 p. ISBN 978-5-94280-418-3.
5. Vorobyov, A. A., Shutov, D. S., Nikolashin, M. V. Calculation and analysis of wheelsets durability indicators of Moscow Metro electric trains [*Raschet i analiz pokazatelei dolgovechnosti kolesnykh par elektropoezdov Moskovskogo metropolitena*]. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2021, Iss. 4 (52), pp. 26–34. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395899>. Last accessed 18.05.2022.
6. Demyanov, V. A., Imarova, O. B. Trends in development of GNSS technologies and directions of their application in transport [*Tendentsii razvitiya tekhnologii GNSS i napravlenii ikh primeneniya na transporte*]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*, 2018, Vol. 58, Iss. 2, pp. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90.
7. Zheleznyak, V. N., Martynenko, L. V., Stupina, A. A. Estimation of parameters of flange wear forms on innovative railcars during operation on the Eastern part of the network [*Otsenka parametrov form iznosa grebnei na innovatsionnykh vagonakh pri ekspluatatsii na Vostochnom poligone*]. *Young science of Siberia*, 2020, Iss. 2 (8). [Electronic resource]: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>. Last accessed 18.05.2022.
8. Vorobyov, A. A., Gorskiy, A. V., Kozyrev, V. A. Information resources for the methodology for assessing reliability indicators of train rolling stock [*Informatsionnye resursy dlya metodiki otsenki pokazatelei nadezhnosti tyagovogo podvizhnogo sostava*]. *Scientific-technical information. Series 2: information processes and systems*, 2019, Iss. 3, pp. 32–36. [Electronic resource]: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J17549180> (the entire issue). Last accessed 18.05.2022.
9. Smith, D. J. Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers including Reliability Centered Maintenance and Safety-Related Systems. Translated from English. Moscow, IDT Group, 2007, 432 p. ISBN 978-5-94833-047-1.
10. Burchenkov, V. V. Decision Making based on the Results of Automatic Diagnostics of Parts and Assemblies of Rolling Stock. *World of Transport and Transportation*, 2019, Iss. 4 (17), pp. 232–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-232-243>.
11. Shutov, D. S., Vorobyov, A. A. Reliability analysis of wheel pairs of electric trains of the 81-740/741 «Rusich» series [*Analiz nadezhnosti kolesnykh par elektropoezdov v serii 81-740/741 «Rusich»*]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont*, 2021, Iss. 1, pp. 14–20. [Electronic resource]: <https://panor.ru/articles/analiz-nadezhnostikolesnykh-par- elektropoezdov-v-serii-81-740741-rusich/55103.html> [access restricted for subscribers only].
12. Haviland, R. E. Engineering reliability and long life design. Transl. from English. Moscow-Leningrad, Energia publ., 1966, 232 p.
13. Emmas, A. A. The choice of an economically justified strategy for replacement of rolling stock in a motor transport enterprise. Ph.D. (Economics) thesis [*Vybor ekonomicheskoi obosnovannoi strategii zameny podvizhnogo sostava v avtotransportnom predpriyatii. Dis... kand. ekon. nauk*]. St. Petersburg, Engineering Economic Academy, 1996, 106 p. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000014661/. Last accessed 18.05.2022.
14. Lisitsyn, A. I., Sidorova, E. A. Influence of track irregularities in the plan on rail wear intensity [*Vliyaniye nerovnostei puti v plane na intensivnost iznosa relsov*]. *Innovative transport: scientific journalism edition*. Yekaterinburg, USURT publ., 2022, Iss. 1 (43), pp. 31–37. [Electronic resource]: [https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans_01\(43\)_2022_web.pdf](https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans_01(43)_2022_web.pdf). Last accessed 18.05.2022.

Information about the authors:

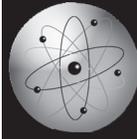
Shutov, Denis S., Ph.D. student at Russian University of Transport; Acting Head of the Production and Technical Sector of Zamoskvoretskoe electric trains depo of the State Unitary Enterprise Moscow Metro, Moscow, Russia, shutov-ds@mosmetro.ru.

Lakin, Igor I., Ph.D. (Eng), doctoral candidate at Russian University of Transport; Head of the Direction for Quality Control of Rolling Stock Operation of JSC Transmashholding (TMH), Moscow, Russia, i.lakin@tmholding.ru.

Article received 01.05.2022, approved 30.06.2022, accepted 11.07.2022.

- World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 131–138

Shutov, Denis S., Lakin, Igor I. Forecasting the Residual Life of Wheelsets of 81-740/741 «Rusich» Cars of the Metro Electric Trains



Improving Traction Characteristics of a Diesel Locomotive with a Hybrid Power Plant



Elena Yu. LOGINOVA



Grigory Yu. KUZNETSOV

*Elena Yu. Loginova*¹,
*Grigory Yu. Kuznetsov*²

^{1,2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ ejy-loginova@mail.ru, ² kuznetsov_gy@mail.ru.

ABSTRACT

The expediency of using a hybrid power system with the use of traction batteries on a diesel locomotive is substantiated since the relevance of the problem being solved lies in the possibility of increasing the weight norm of the train without reducing the performance of the main power equipment of the diesel locomotive, which is of great importance for improving the efficiency of railways.

To predict the effectiveness of introduction of autonomous locomotives with a combined power source, traction properties of a diesel locomotive equipped with a set of traction batteries are estimated by mathematical modelling. The basis of the method is a dynamic model of train movement, in which the locomotive is represented as an electromechanical system with a direct current electric drive, where a diesel power generator and a lithium-ion battery are used as the primary energy source. It is shown that the

use of a hybrid power source with a storage device with capacity of 1300 ampere-hours on a diesel locomotive makes it possible to increase the weight rate of a train by 18 % when moving along a typical profile. Particular attention is paid to the requirements for operation of traction electric machines to prevent their premature failure. It was found that during movement of a locomotive with a hybrid power plant with a train of the calculated weight and under normal environmental conditions (20°C and normal barometric pressure), an increase in the load current of traction motors does not lead to overheating of their windings at the calculated upward slope.

The model suggested is universal and allows calculating the efficiency of a diesel locomotive with a hybrid power plant under any driving conditions.

Keywords: railway transport, autonomous locomotive, hybrid power plant, lithium-ion battery, dynamic train movement model, traction electric machines.

For citation: Loginova, E. Yu., Kuznetsov, G. Yu. Improving Traction Characteristics of a Diesel Locomotive with a Hybrid Power Plant. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 139–147. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-3>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

The issue of developing diesel locomotives capable of moving with trains of increased weight is currently being decided based on the requirements for increasing the power of autonomous locomotives and reducing the cost of their operation (fuel, oil, etc). An increase in the weight rate of a train can be implemented with hybrid diesel locomotives, which use traction batteries (accumulators) as an additional power source to accumulate free energy for its subsequent use for heavy traffic mode. Energy storage devices are widely used in hybrid power sources [1–4].

Accumulators on rolling stock are already applied for the use of additional energy [5–7]. To reduce the operating costs of a diesel locomotive, it is necessary to choose an energy storage device with high specific rates in terms of capacity, stored energy density, and service life [8–9]. At the same time, energy storage devices for traction conditions must have low weight and size and be designed for high currents. Besides traction modes, several works on the use of energy storage devices refer also to the improvement of the efficiency of regenerative braking of locomotives [1; 3; 4].

The amount of energy that can be stored in the storage device directly affects its cost [10].

The use of energy storage devices in railway transport is a comprehensive task, in solving which it is necessary to consider the operation of the entire locomotive equipment [11–15]. In addition to the traction battery, the energy storage circuit contains expensive energy converters based on power electronic switches with complex control algorithms. As a result, the price of the power equipment of a hybrid diesel locomotive grows significantly, and its development requires a justification of economic efficiency. Therefore, the calculation of the increase in the traction properties of a hybrid diesel locomotive compared to a diesel locomotive is an important stage in development and adoption of hybrid energy sources on autonomous locomotives.

One of the main problems in creating hybrid diesel locomotives is the coordinated operation of two power units: a diesel engine and a traction energy storage device (TES). The solution of this problem requires development of a dynamic model of the energy system of a diesel locomotive with a hybrid energy source and performance of numerical experiments to determine its traction

properties; and this constitutes the *objective* of the study.

RESULTS

Energy Circuit of a Hybrid Diesel Locomotive

The energy circuit of a hybrid diesel locomotive provides for operation of two energy sources for traction motors (Pic. 1). Regarding a diesel locomotive with an AC/DC power system, the main energy source consists of a diesel engine D, a traction synchronous generator (TSG) with a combined control system, a rectifier unit (RU), and traction electric motors (TEM) 1–6. For the possibility of shifting electric motors to the braking mode, the power system is equipped with a brake switch (BS).

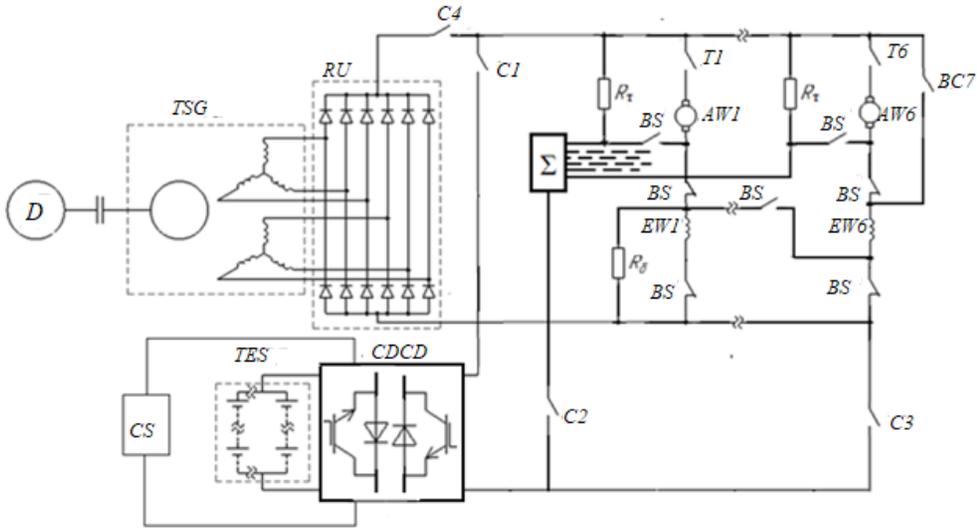
The additional energy source includes a traction energy storage device (TES) and a charge and discharge control device (CDCD) with a control system (CS). The process of TES charging is carried out in the braking modes of the diesel locomotive by turning on the TES to the voltage of the TEM using contactor C2.

On a hybrid diesel locomotive in the traction mode, the TEM windings can be powered both from the TSG together with the TES storage, and only from the TSG. The TES discharge current is regulated by the CDCD control device, which is a module based on IGBT transistors and CS. The CDCD device connects the TES to the traction drive of the locomotive by contactor C3 (with closed contactor C1). In conditions of low resistance to movement, the contactor C3 disconnects the TES from the traction electric drive and the latter is powered from the TSG through the RU.

If necessary, the TES can be disconnected from the power circuit by opening contactors C1, C2 and C3.

If it is necessary to use the electrical energy of only traction energy storage devices, for example, to work on station tracks, it is enough to open the contactor C4 and close the contactors C1 and C3. At the same time, as in the braking mode, the diesel engine must operate under load so that the TSG voltage is sufficient for operation of the TEM cooling fan motors.

When operating a TEM from a hybrid energy source, there is a danger of overheating of its windings since the increase in traction torque is implemented by increasing the current. This requires equipping the TEM with a winding temperature control system. At present, the



Pic. 1. Traction electrical circuit of a hybrid diesel locomotive with AC-DC transmission, T1 – train contactor switch of TEM 1; T6 – train contactor switch of TEM 6; BC7- braking contactor; EW1 – excitation winding of TEM1; EW6 – excitation winding of TEM6; AW1 – armature winding of TEM1; AW6 – armature winding of TEM 6 [performed by the authors].

problem of controlling the current temperature of the windings of electrical machines has been solved and there is no difficulty in controlling the voltage of the TSG and the CDCD unit to limit the current of traction motors.

For the numerical solution of the problem of estimating the traction properties of a diesel locomotive under operating conditions, its dynamic model was developed. The energy circuit in the model was represented by a hybrid energy source based on the diesel locomotive 2TE116 (Table 1). TES in the model is represented by blocks of LT-LFP70M traction batteries (Table 2).

Diesel locomotive 2TE116 with a capacity of 2200 kW has an AC-DC electric transmission with ED-118 traction motors and is one of the most common freight diesel locomotives in Russia and the post-Soviet countries.

In general, batteries in the transport industry are used to start gas turbine and piston engines, in industrial transport, electric vehicles, and also as emergency, backup or auxiliary power sources [16–23]. Lithium-ion batteries are modern energy storage devices. The LT-LFP70M traction battery packs for the diesel locomotive hybrid power source were selected based on their effective use to power the electric motors of machines and on-board rail transport systems. Besides, this type of batteries is already used on the experimental TEM5X hybrid diesel locomotive.

The characteristics of train movement resistance were assumed based on [25].

Modelling of train movement was carried out according to the generalised track profile of class III in accordance with the classification of VNIIZhT (Research Institute of Railway Transport), for which the calculated upward slope is $i_c = 9 \text{ ‰}$ [25]. At the same time, the calculation of the current temperature of the TEM armature windings was carried out in accordance with the methodology given in [24].

At the first stage of calculations, the normal weight of the train was estimated for the locomotive operating with a standard energy system (without energy storage), and it was taken as the base value.

The calculated weight of the cargo train Q_c was determined based on the fact that the power of the locomotive is fully used during uniform movement at the calculated speed v_c along the calculated upward slope i_c . The calculated weight of a cargo train Q_c was determined by the formula, kN:

$$Q_c = \frac{F_{cr} - P_{adh}(w'_m(v_c) + i_c)}{w''_m(v_c) + i_c}, \quad (1)$$

where $w'_m(v_c)$ – main specific resistance to locomotive movement in traction mode at design speed, N/kN;

$w''_m(v_c)$ – main specific resistance to movement of a cargo train (cars) at calculated speed, N/kN;



Table 1
The main parameters of the 2TE116 diesel locomotive [24]

Locomotive weight, t	276
Calculated speed v_c , km/h	24,2
Calculated traction force $F_{cr} \cdot 10^3$, N	506
Adhesive weight P_{coup} , kN	2760
Design speed V_{dp} , km/h	100

Table 2
Rated parameters of LT-LFP70M battery cells [8]

Cell capacity, ampere-hour	73
Energy density, W•h/kg	130
Rated voltage, V	3
Permissible long-term discharge current, A	146
Maximum short-term discharge current, A	219
Maximum charge current, A	73
Internal resistance, m•Ohm	0,5
Battery life in the charge-discharge interval, cycles	5000
External dimensions, H x W x T, mm	222 x 135 x 30
Weight, kg	1,8
Operating temperature range during discharge, C°	-30—+50

F_{cr} – calculated traction force of the locomotive at the calculated speed, N;

P_{adh} – adhesive weight of the locomotive, kN;

i_c – steepness of the calculated upward slope, ‰.

The main specific resistance to movement of the locomotive in the traction mode w_m' was calculated based on [24], N/kN:

$$w_m'(v_c) = 1,9 + 0,01 \cdot v + 0,0003 \cdot v^2, \quad (2)$$

the main specific resistance to movement of four-axle cars on roller bearings in accordance with [24], N/kN was calculated as:

$$w_m'(v_c) = 0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot v + 0,002 \cdot v^2}{q_m}. \quad (3)$$

As a result, it was found that the calculated weight of the cargo train Q_c for the track profile with a calculated gradient of upward slope of 9 ‰ was 43280 kN or 4413 tons.

In the MathCad software package, the motion mode of the 2TE116 locomotive with a train was simulated with and without a traction battery.

To numerically determine the traction characteristics of a diesel locomotive with a hybrid and standard power source, comparative calculations of the driving modes were performed:

1. Calculation of traction force and kinematic characteristics of movement with the train of the basic normal weight of 4413 tons.

2. Calculation of the traction force and kinematic characteristics of movement of a diesel locomotive with a hybrid energy source with a train, the weight of which exceeds the base one.

3. Calculation of TES currents for powering the TEM during movement of a diesel locomotive with a hybrid energy source and trains, the weight of which exceeds the base one.

4. Calculation of temperatures of TEM windings during movement of a diesel locomotive with a hybrid energy source and trains, the weight of which exceeds the base one.

Calculation of Traction Force and Kinematic Characteristics of the Locomotive

The calculation of the traction force and the kinematic characteristics of the train with the base normal weight was carried out based on the operating conditions of the TSG working with the TEM.

Based on the value of the locomotive speed and the current characteristics of the EDU-133 traction motors, taking into account the values of the excitation attenuation coefficients, the load current of the TEM was determined.

Electromagnetic moment of the traction motor M_{tem} , Nm:

$$M_{tem} = c_m \cdot I_a \cdot F, \quad (4)$$

where c_m – constant of the traction motor, determined by the dependence:

$$c_m = \frac{N \cdot p}{a} \cdot \frac{1}{2\pi} = c_e \cdot \frac{1}{2\pi}. \quad (5)$$

The tangential moment on the wheel of the entire diesel locomotive M_t , taking into account the number of axles, Nm:

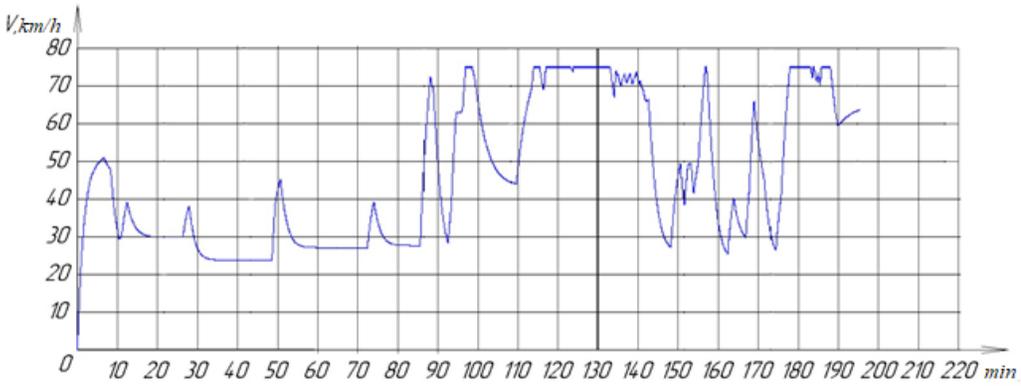
$$M_t = n_{ax} \cdot M_{tem} \cdot \mu_{tr} \cdot \eta_{tr}, \quad (6)$$

where n_{ax} – the number of diesel locomotive axles;

η_{tr} – the efficiency of the traction reducer;

μ_{tr} – gear ratio of the traction reducer.

Tangential traction force of a diesel locomotive F_t , N:



Pic. 2. Change in the speed of a diesel locomotive with a standard power plant and the train of the calculated weight when moving along a class III track profile depending on the travel time $V = f(t)$ [performed by the authors].

$$F_t = M_t / R_w, \quad (7)$$

where R_w – radius of the locomotive wheel.

Acceleration of the train, m/s:

$$a(v, s) = \frac{F_t(v) - w_m''(v) - w_m'(v) - i(s)}{Q_c + P_{coupl}}. \quad (8)$$

The locomotive speed curve obtained based on mathematical calculation in the MathCad program is shown in Pic. 2.

Calculation of Traction Force and Kinematic Characteristics of a Hybrid Locomotive

The calculation of the traction force of a diesel locomotive with an energy storage device is carried out similarly, except for the calculation of the current on the traction motors.

Current on each motor of a hybrid diesel locomotive in the traction mode $I_{m(ach)}$, A:

$$I_{m(ach)} = I_m + \frac{I_{discharge}}{n_{ax}}, \quad (9)$$

where I_m – current, supplied to the TEM from the TSG, A;

$I_{discharge}$ – discharge current of the traction battery, A.

The calculation of the kinematic characteristics of a hybrid diesel locomotive in the MathCad program is shown in Pic. 3.

The current of the energy storage device was determined based on the voltage on the TES elements.

Calculation of Currents of the Traction Power Storage

Voltage in the zone of exponential discharge $U_{bat.exp}$ is described by a nonlinear equation [26], V:

$$U_{bat.exp} = BattA \cdot e^{-BattB \cdot \Delta q}, \quad (10)$$

where Δq – the decrease in battery capacity at the integration step.

Empirical coefficients were used to determine the parameters of the TES battery in accordance with [26]:

$$BattA = 0,084 \cdot U + 0,00004, \quad (11)$$

$$BattB = 60,693 \cdot Q_{battery}^{-0,999}, \quad (12)$$

where U – current value of the battery cell voltage, V.

$Q_{battery}$ – current value of the battery capacity, ampere-hour.

As a result, the voltage U on the battery at the current time during discharge, V:

$$U = BattE0 + U_{bat.exp} + U_{bat.nom} + U_{bat.nom.discharge}, \quad (13)$$

when charging, V:

$$U = BattE0 + U_{bat.exp} + U_{bat.nom} + U_{bat.nom.charge}, \quad (14)$$

where

$$BattE0 = 1,0843 \cdot U - 0,00002, \quad (15)$$

$U_{bat.nom}$ – voltage component in the zone of the nominal operating mode, V;

$U_{bat.nom.discharge}$, $U_{bat.nom.charge}$ – voltage components in the charge or discharge zone, V.

Voltage in the zone of the nominal operating mode of the battery $U_{bat.nom}$ is described by the equation, V:

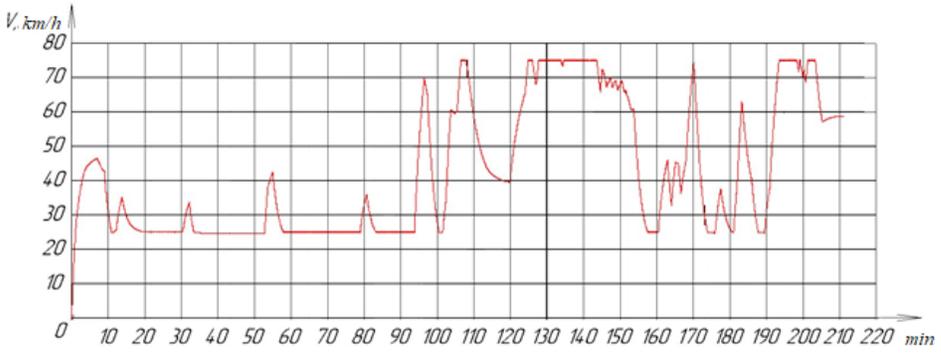
$$U_{bat.nom} = \frac{-BattK \cdot BattQc}{BattQc - \Delta q}, \quad (16)$$

where $BattK$, $BattQc$ – empirical coefficients:

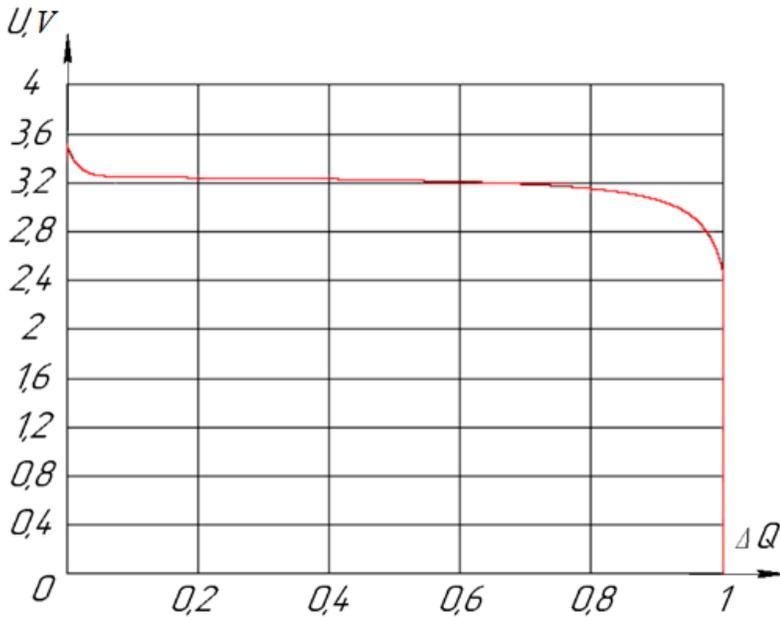
$$BattK = 0,006196 \cdot \frac{U}{Q_{battery}}; \quad (17)$$

$$BattQc = 1,0341 \cdot Q_{battery} - 0,0013. \quad (18)$$

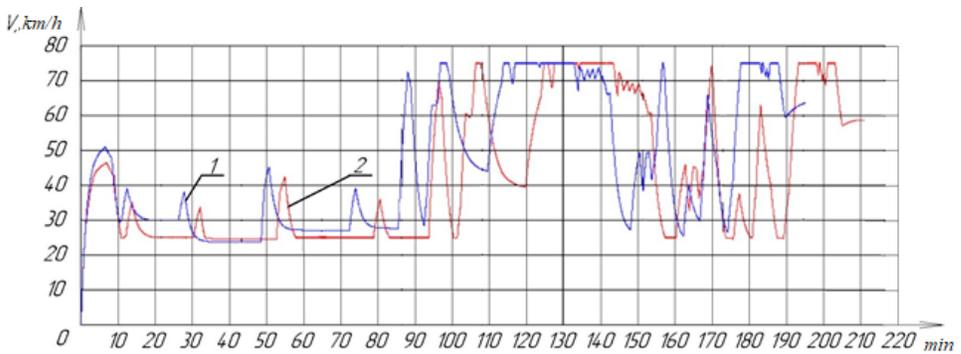




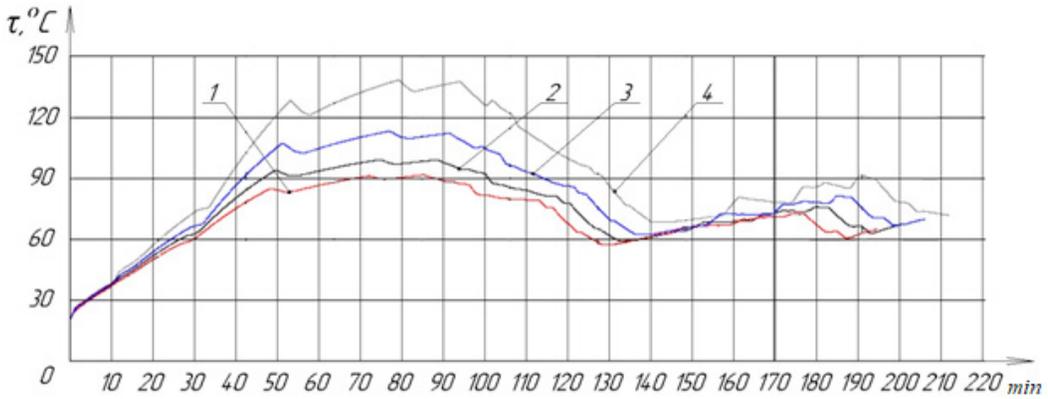
Pic. 3. Change in the speed of a diesel locomotive with a hybrid power plant when moving with a train of 5750 tons of weight along a III class track profile depending on the travel time $V = f(t)$ [performed by the authors].



Pic. 4. Discharge characteristic of the simulated battery $U = f(\Delta Q)$ [performed by the authors].



Pic. 5. Change in train speed when moving along a III class track profile depending on the travel time $V = f(t)$:
 1 – 2TE116 locomotive with a standard power plant and with a calculated train weight of 4413 tons;
 2 – locomotive 2TE116 with a hybrid power plant and with a train weighing 5750 tons [performed by the authors].



Pic. 6. Curves of the temperature rise of the armature winding of the traction electric motors of a hybrid diesel locomotive when moving with trains of increased weight:
 1 – a train with a weight of 4600 tons and TES with 1 cell of a traction battery; 2 – a train with a weight of 4900 tons and TES with 6 cells of a traction battery; 3 – a train with a weight of 5250 tons and TES with 11 cells of a traction battery; 4 – a train with a weight of 5750 tons and TES with 18 cells of a traction battery [performed by the authors].

In accordance with [26], the voltage rates were calculated in the nominal mode during the discharge $U_{bat. nom. discharge}$, V:

$$U_{bat. nom. discharge} = \frac{-BattK \cdot I_{discharge} \cdot BattQc}{BattQc - \Delta q}, \quad (19)$$

and when charging $U_{bat. nom. charge}$, V:

$$U_{bat. nom. charge} = \frac{BattK \cdot I_{discharge} \cdot BattQc}{\Delta q + BattQc \cdot Battkc}, \quad (20)$$

where $Battkc = 0,1$ – battery constant.

The discharge current with the active load $I_{discharge}$ is calculated according to Ohm's law for a section of the circuit, A:

$$I_{discharge} = U/R, \quad (21)$$

where R – active resistance of the load, to which the battery is connected, Ohm.

The resulting discharge characteristic of the battery is shown in Pic. 4.

Calculation of Heating of Traction Electric Motors

Calculation of heating of traction electric motors was carried out in accordance with [24] when driving in traction mode, °C:

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (22)$$

when driving in idle mode and pneumatic braking, °C:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (23)$$

where Δt – the considered time interval, min;

τ_0 – initial temperature at the time of calculation;

τ_{∞}, τ_0 – thermal constants for the traction motor.

Thermal constants τ_{∞}, τ_0 for TEM as a function of motor armature current are given in [24].

Analysis of the Results

A comparison of the kinematic characteristics of movement of trains driven by locomotives with standard and hybrid power plants is shown in Pic. 5.

An analysis of operation of the traction electric drive of a locomotive with a hybrid power plant made it possible to calculate the rational parameters of the traction battery to improve the performance of the locomotive.

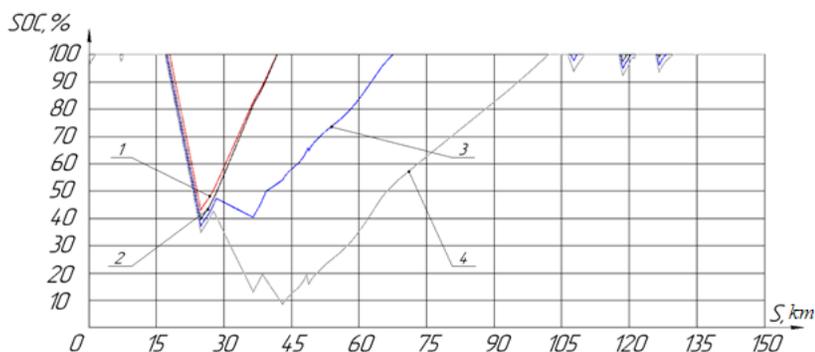
Equipment of a locomotive with traction battery imposes certain restrictions on operation of power equipment:

1. Current from the electrical storage device causes additional heating of the traction electric motors.

2. In the operating modes of the TES, the modes of deep discharge and increased charge should not be allowed.

3. Weight rate of a train with a hybrid locomotive will be higher than for a serial locomotive; at the same time, it is required to ensure the specified kinematic characteristics of train movement based on the conditions of





Pic. 7. Discharge curves of the traction battery TES of locomotives with a hybrid power plant: 1 – a train with a weight of 4600 tons and TES with 1 cell of the traction battery; 2 – a train with a weight of 4900 tons and TES with 6 cells of a traction battery; 3 – a train with a weight of 5250 tons and TES with 11 cells of a traction battery; 4 – a train with a weight of 5750 tons and TES with 18 cells of a traction battery [performed by the authors].

the map of driving modes and to exclude overheating of the windings of the traction electric motors.

The rational number of electric energy storage cells is calculated from the conditions of normal operation of the locomotive.

Pic. 5 shows that the choice of the right number of battery cells makes it possible to ensure movement of the locomotive through a given section at a calculated speed ($V_c = 24,2$ km/h), even with the weight of the train, exceeding the calculated one by 30 %.

Pic. 6 shows the change in the temperature of the TEM armature winding during movement of a locomotive with a hybrid power plant (with different numbers of traction battery cells). The results obtained make it possible to establish a functional relationship between the weight of the train and the maximum (or average) temperature of the armature winding for a given mode of motion.

The process of discharge-charge of TES during movement of the locomotive has a pronounced dip in the residual capacity (state of charge, SOC) at the calculated upward slope (Pic. 7). The degree of discharge of the TES is determined by the number of cells and the mode of operation of the power equipment of the diesel locomotive.

CONCLUSIONS

Thus, using the developed model, quantitative indicators of the efficiency of using a hybrid diesel locomotive as a traction unit are determined. Using the example of modelling the operating modes of a diesel locomotive 2TE116 with a hybrid power plant with traction batteries of

LT-LFP70M type, the following conclusions have been drawn.

1. As a result of using a traction battery on a diesel locomotive, the weight of the train can be reliably increased by 1000 tons (18 %).

2. Due to the increase in the normal weight of the train, the travel time of the train increases by 8 % while maintaining the set value of the design speed of the diesel locomotive.

3. Due to the increase in the normal weight of the train, the total fuel consumption of the diesel locomotive increases by 9 %.

4. Specific fuel consumption per unit of transportation work, $\text{kg}/10^4 \text{ tkm gr}$, decreases by 10 % due to a significant increase in the weight of the train.

5. The temperature rise of the TEM armature winding varies within the limits established by GOST-2581 state standard (the maximum temperature of the armature winding of traction motors was $\tau_{max} = 130^\circ\text{C}$).

Based on the results presented above, it can be concluded that the use of a hybrid power plant on a locomotive can significantly improve the traction properties of a diesel locomotive.

The conclusions drawn are inherently universal, e.g., can be applied to any locomotives by substituting the numerical values of their characteristics.

REFERENCES

1. Ivanov, A. M., Polyashov, L. I., Ivanov, S. A. Hybrid power plants for electric buses [Gibridnie energeticheskie ustanovki dlya elektrobusev]. *Mashinostroenie*, 2000, Iss. 10, pp. 18–21.
2. Kossov, E. E., Azarenko, V. A., Bychkov, D. A. [et al]. Development of a concept for development of autonomous traction rolling stock [Razrabotka kontseptsii razvitiya avtonomnogo tyagovogo podvizhnogo sostava].

In: VNIIZhT – to transport. Scientific problems of technical development of railway transport: Proceedings of scientific and practical conference of JSC VNIIZhT. Ed. by A. E. Semechkin. Moscow, Intext publ., 2008, pp. 89–100.

3. Tokuyama, K., Shimada, M., Terasawa, K., Kaneko, T. Practical application of a hybrid drive system for reducing environmental load. *Hitachi Review*, 2008, Vol. 57, No. 1, pp. 23–27. [Electronic resource]: https://www.hitachi.com/rev/pdf/2008/r2008_01_003.pdf. Last accessed 17.06.2022.

4. Takahashi, H., Kato, T., Ito, T., Gunji, F. Energy storage for traction power supply systems. *Hitachi Review*, 2008, Vol. 57, No. 1, pp. 28–32. [Electronic resource]: https://www.hitachi.com/rev/pdf/2008/r2008_01_004.pdf. Last accessed 17.06.2022.

5. Titova, T. S., Evstafev, A. M., Izvarin, M. Iu., Sychugov, A. N. Traction rolling stock development perspectives, Part 1. Transport Rossiiskoi Federatsii. *Journal about science, practice, economics*, 2018, Iss. 6 (79), pp. 40–44. [Electronic resource]: <http://rostransport.com/transportrf/download.php?src=transportrf/pdf/79/1994-831X-2018-6-40-44.pdf>. Last accessed 17.06.2022.

6. Titova, T. S., Evstafev, A. M. Energy efficiency improvement of locomotives with energy storages. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya*. St. Petersburg, PGUPS publ., 2017, Vol. 14, Iss. 2, pp. 200–210. [Electronic resource]: http://izvestiapgups.org/assets/pdf/02_2017.pdf (the entire issue only). Last accessed 17.06.2022.

7. Evstafev, A. M., Evaluation of the energy intensity of an onboard energy storage device for traction rolling stock [Otsenka energoemkosti bortovogo nakopitelya energii dlya tyagovogo podvizhnogo sostava]. *Bulletin of scientific research results*, 2018, Iss. 2, pp. 7–17. [Electronic resource]: <http://brmi.info/download/%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-27.pdf> (the entire issue only). Last accessed 17.06.2022.

8. Rand, D. A. J. Battery systems for electric vehicles – a state-of-the-art review. *Journal of Power Sources*, 1979, Vol. 4, Iss. 2, pp. 101–143. DOI: 10.1016/0378-7753(79)85001-6 [access restricted for subscribers only].

9. Pierson, J. R., Johnson, R. T. The battery Designer's challenge satisfying the ever increasing demands of vehicle electrical systems. *Journal of Power Sources*, 1991, Vol. 33, pp. 309–318. DOI: 10.1016/0378-7753(91)85069-9 [access restricted for subscribers only].

10. Yaroslavtsev, M. V. Determination of parameters of a hybrid car powertrain by modelling of the energy consumption process. *Russian Electrical Engineering*, 2014, Iss. 12, pp. 17–21. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23002446&>. Last accessed 17.06.2022.

11. Miller, A. R., Hess, K. S., Barnes, D. L., Erickson, T. L. System design of a large fuel cell hybrid locomotive. *Journal of Power Sources*, 2007, Vol. 173, Iss. 2, pp. 935–942. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.08.045>.

12. Cousineau, R. L. Development of a hybrid switcher locomotive the Railpower Green Goat. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 2006, Vol. 9, Iss. 1, pp. 25–29. DOI: 10.1109/MIM.2006.1634954 [access restricted for subscribers only].

13. Letrouvé, T., Lhomme, W., Pouget, J., Bouscayrol, A. Different hybridization rate of a diesel-electric locomotive. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC*,

2014, Vol. 14. DOI: 10.1109/VPPC.2014.7007048 [access restricted for subscribers only].

14. Jaafar, A., Akli, C., Sareni, B., Roboam, X., Jeunesse, A. Sizing and energy management of a hybrid locomotive based on flywheel and accumulators. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, Vol. 58, No. 8, pp. 3947–3958. DOI: 10.1109/TVT.2009.2027328 [access restricted for subscribers only].

15. Varakin, I. N., Menukhov, V. V., Samitin, V. V. Application of electrochemical capacitors of CJSC ELTON as a part of hybrid power plants on quarry vehicles [Primenenie elektrokhimicheskikh kondensatorov ZAO «ELTON» v sostave gibridnykh energosilovykh ustanovok na karernom avtotranspore]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2008, Iss. 58, pp. 106–115. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12965927>. Last accessed 17.06.2022.

16. Höring, O. Elektrische Bahnen. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2019, 530 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783111557885> [access restricted for subscribers only].

17. Bleijs, J. A. M., Freris, L. L., Foster, J. E., Infield, D. G., Lipman, N. H., Smith, G. A. A Wind/Diesel System with Variable Speed Flywheel. Published by: Sage Publications, Inc., *Wind Engineering*, 1993, Vol. 17, No. 3, pp. 129–146. [Electronic resource]: <https://www.jstor.org/stable/43749507>. Last accessed 17.06.2022 [access restricted for subscribers only].

18. Bullock, K. R. Lead/Acid Batteries. *Journal of Power Sources*, 1994, Vol. 51, Iss. 1-2, pp. 1–18. DOI: 10.1016/0378-7753(94)01952-5 [access restricted for subscribers only].

19. Denton, T. Electric and Hybrid Vehicles (2nd ed.). Routledge, 2020, 350 p. ISBN 9780367273231. DOI: 10.1201/9780429296109 [access restricted for subscribers only].

20. Electric Vehicle Application Handbook for Genesis Sealed-Lead Batteries. Publication IBD-BR-011. Hawker Energy Products Inc. 4th ed., 1998, Vol. 2, 44 p. [Electronic resource]: <https://pdfslide.net/documents/electric-vehicle-application-handbook-for-genesis-electric-vehicle-application.html?page=1>. Last accessed 17.06.2022.

21. Freund, H., Kaufmann, W. Batteriestützpunkte in Mittel- und Niederspannungsnetzen. In: *et. Jg. 108, 1987, H. 17, S. 796–799*.

22. Haubrich, H.-J., Krämer, K., Dominik, H., Pesch, H. Batterien in elektrischen Netzen. Erfahrungen und Perspektiven. Contribution to a conference proceedings. In: *ETG-Fachtag. Entwickl.trends in d. Energ.tech. München, 1994*.

23. Kiehne, H. A. Batteries for Electric Road Vehicles. In: *Battery Technology Handbook*, 2003, pp. 137–154.

24. Traction calculations rules for train operation [Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoi raboty]. Moscow, Transport publ., 1985, 287 p. [Electronic resource]: <https://djvu.online/file/syjaetzWQPjhN>. Last accessed 17.06.2022.

25. Nekrasov, O. A., Lisitsyn, L. A., Muginshtein, L. A., Rakhmaninov, V. I. Operating modes of main electric locomotives [Rezhimy raboty magistralnykh elektrovozov]. Moscow, Transport publ., 1983, 231 p.

26. Matlab Simulink Battery. Generic battery model. [Electronic resource]: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>. Last accessed 17.06.2022. ●

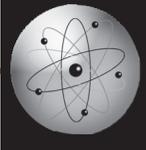
Information about the authors:

Loginova, Elena Yu., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ejy-loginova@mail.ru.

Kuznetsov, Grigory Yu., Ph.D. student at the Department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kuznetsov_gy@mail.ru.

Article received 21.01.2022, updated 17.06.2022, approved 20.06.2022, accepted 23.06.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>

Assessment of Locomotive Receivers' Sensitivity Using Test Loop with Crossing



Vladislav S. KUZMIN



Alexander K. TABUNSHCHIKOV

Vladislav S. Kuzmin ¹,
Alexander K. Tabunshchikov ²

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ vs.kuzmin@bk.ru.

ABSTRACT

Main technical and operational characteristics of the locomotive receiver of the automatic locomotive signalling system, which is part of all types of core locomotive safety devices, comprise its sensitivity. This characteristic makes it possible to estimate by indirect methods the signal/noise ratio at the input of the locomotive receiver, and, therefore, to evaluate the noise immunity of its operation at the nominal parameters of amperage and current frequency of signals of automatic locomotive signalling system in the track circuit under operating conditions.

Thanks to correct adjustment of the sensitivity of the locomotive receiver, it is possible to significantly reduce the number of failures in operation of the main locomotive safety devices. Checking the sensitivity of the locomotive receiver and other parameters of safety devices is carried out at control points, usually equipped in depots, using stationary test loops that simulate the electromagnetic field generated by the signal current flowing in the track circuit. Sensitivity measurement results are influenced by various factors, primarily

the position of the receiving coils along the test loop performed with crossings, as well as the distance between adjacent crossings. The influence of these factors may lead to the impossibility of checking the correct operation of locomotive safety devices at nominal signal parameters, as well as to an incorrect assessment of sensitivity.

The objective of this work is to evaluate the influence of these factors on the results of measuring the sensitivity of a locomotive receiver. A model developed as part of the work and based on the well-known methods of analysis and synthesis and the Biot–Savart–Laplace law describes the inductive connection «test loop–coil». Several characteristic dependencies have been also obtained. The results have been compared with the existing requirements for the position of the coils relative to the test loop performed with crossings.

To ensure the most accurate results of measurements of the sensitivity of the locomotive receiver, it is proposed to place the receiving coils of the locomotive safety devices at an equal distance from adjacent crossings of the test loop.

Keywords: railways, automatic locomotive signalling, safety devices, locomotive receiver, loop, crossing, control point.

For citation: Kuzmin, V. S., Tabunshchikov, A. K. Assessment of Locomotive Receivers' Sensitivity Using Test Loop with Crossing. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Any system for managing or controlling train traffic has at least one channel for transmitting information from stationary or as they are otherwise called «track» infrastructure facilities to on-board equipment, that is «track–locomotive» channel. The network of Russian railways widely uses train traffic control systems which use inductive communication channels, where track circuits are used as signal transmission lines.

It should be noted that the deviation of the parameters of the «track–locomotive» channel from the nominal values can result in failures in operation of the systems under consideration and in the concomitant occurrence of abnormal states of the critical technological process of train traffic [1]. In this regard, highly important are the processes of maintenance and repair of equipment aimed at keeping the characteristics of the transmission channel «track–locomotive» in the range of permissible values [2]. The processes of maintenance and repair of automatic locomotive signalling equipment mounted on railway rolling stock are of particular interest. To assess its technical condition, in addition to the characteristics of each of the blocks, the technology for estimating which is described in the country in the Instruction No. L229¹, it is advisable to determine the level of noise immunity of the operation of the entire set of receiving equipment [3]. Direct calculation of this characteristic for locomotive receivers is not done since:

- Firstly, the dynamic range and frequency band of interference largely depend on the series of railway rolling stock units in operation, their operating modes, as well as other features of each section of railway lines [4].

- Secondly, such checks would take a long time (from several to tens of hours) since all possible combinations of interference and useful signals would have to be checked.

For this reason, the evaluation of noise immunity is carried out by indirect methods. On the one hand, the estimate can be implemented due to the peculiarities of the decoder

algorithms [5]. On the other hand, the assessment can be carried out by measuring the EMF value at the input of the locomotive receiver, induced at the minimum possible current value in the inductive coupling line under operating conditions, leading to its emergence, and that is the sensitivity of the locomotive receiver [6]. The latter approach is the most widespread and is applied at specially equipped control points.

In most cases, control points are in the depot, where there is not always a technical or production possibility of organising testing of track circuits. Track circuits require a large amount of track equipment per one tested unit of rolling stock, in addition, they significantly reduce the processing capacity of production sites for maintenance and repair of traction rolling stock: one track circuit should be intended for one locomotive, while in most cases at a control point an average of three to five locomotives are serviced at the same time.

At control points, instead of track circuits, test loops are used which are the conductors laid in a certain way so that when an electric current of a given amperage and frequency flows through them, an electromagnetic field is formed around them, equivalent to the electromagnetic field of the track.

The use of test loops entails several obvious difficulties [7–9] related, among other things, to the need for the correct placement of onboard equipment for the period of testing.

There are works related to tentative assessments of the influence of the geometric position of the test loop on the magnitude of the magnetic field induction formed around it [10]. At the same time, despite a fairly detailed description of the features of the inductive connection of track circuits and stationary wires of loops with receiving coils of automatic locomotive signalling equipment in the sources [11–14], there are no works aimed at assessing the influence of the location of the receiving coils of the tested unit of railway traction rolling stock along the test loop or of test loop configuration (with or without crossing) on the measurement of the sensitivity of the locomotive receiver. In the specialised reference literature, in particular, in the Technical reference book of the railwayman², there are only mathematical expressions for estimating the magnitude of the

¹ Instructions for maintenance and repair of locomotive safety devices No. L229, approved by the Order of JSC Russian Railways dated March 12, 2019, No. 454/r (as amended by the Order of JSC Russian Railways No. 1677/r dated August 6, 2020). [Electronic resource]: consultantplus://offline/ref=3 EFCC965A7D98E47C2DE4862AC4B7F4A77F3DBE093B33095DDE8542B41DB77AB46814B78A3F1C7BEDB0F3A7ACFDB53v2EAL. Last accessed 11.04.2022.

² Technical reference book of the railwayman. Vol. 8. Signaling, centralization, blocking, communication. Moscow, State transport railway publishing house, 1952, 976 p.



EMF induced in the receiving coil from a separate current-carrying conductor, that is from a rail. These expressions cannot be used to evaluate the effect of test loops on the measurement of the sensitivity of a locomotive receiver, since they do not consider either the presence of crossings in the latter, or the position of the receiving coils relative to the crossings.

It should be noted that foreign researchers also consider issues related to the operation of communication lines in automation and telemechanics systems on railways. At the same time, most modern research is devoted to the use of a radio channel. In [15], researchers analysed the effect of interference on the transceiver equipment of train traffic control systems based on a radio channel using numerical methods.

Issues related to the inductive channel of information transmission are considered much less often. Some of these works are related to the consideration of issues of electromagnetic compatibility of equipment with various sources of interference. So, the paper [16] presented the results of the analysis of the influence of traction current harmonics on the operation of the receiving equipment of track circuits. The work [17] considered issues related to the influence of contact wires on the communication lines of automation systems.

The work [18] using computer simulation made the assessment of the electromagnetic environment typical for electrified railway lines. It should be noted that to assess the distribution of current rates along the track section, the work used the provisions of the multiwire line theory, which is widely used by domestic specialists for the analysis of multiwire lines, including inductive coupling lines. However, the technique described in the work cannot be used in this study, because it does not allow evaluating the features of the «test loop–coil» inductive coupling.

See the above, the *objective* of this work is to evaluate the influence of the parameters of the test loop and of the position of the receiving coils along the test loop on the measurement of the sensitivity of the locomotive receiver. To achieve this objective, it is necessary to solve the following tasks:

- To develop a model that describes the process of signal transmission from an inductive communication line in the form of a test loop of arbitrary configuration and geometric dimensions

to a receiving locomotive coil; at the same time, the model should answer the question: do the given parameters of the test loop and the geometric position of the receiving coils along the loop provide the possibility of measuring the sensitivity of the locomotive receiver and, if so, with what accuracy?

- To analyse the influence of the geometric position of the receiving coil along the test loop on the possibility and accuracy of measuring the sensitivity of the locomotive receiver.

- To compare the existing governing documentation and modelling results.

In carrying out this work, conventional *methods* of synthesis and analysis were used. When synthesising the model, the provisions of the classical theory of the electromagnetic field were used in terms of determining the magnitude of magnetic induction and Faraday's law. In addition, the well-known provisions of trigonometry are used.

The developed model accounts for the dimensions of the railway rails used, as well as for the current regulatory documents in the field of design and equipment of control points.

RESULTS

Model Building

The developed model should be aimed at studying the influence of the test loop parameters and the geometric position of the receiving coils of the tested unit of traction railway rolling stock relative to test loop. The model characterises the inductive coupling between the following objects: receiving coil and test loop.

Model parameters are:

- Number of crossings of the test loop N (when the parameter is equal to zero, we assume that the test loop is made in the form of a single frame).

- Length of the inductive coupling line of the test loop L_s .

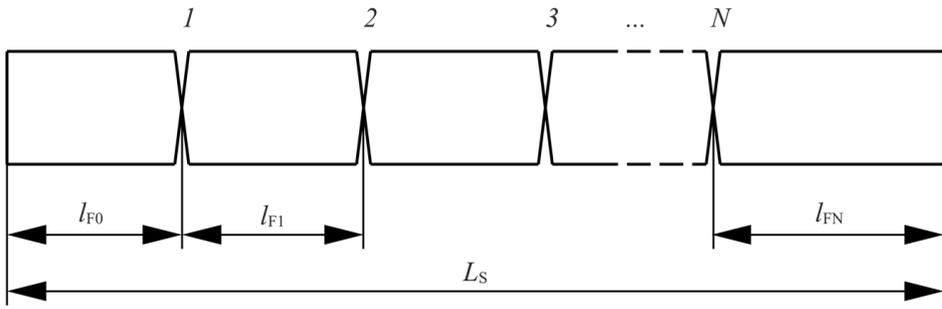
- Distance between the left edge of the test loop and the first crossing L_{F0} .

- Distance between the right edge of the test loop and the last crossing L_{FN} .

- Distance between adjacent crossings of the test loop L_{Fs} , where s is natural number between 1 and $N - 1$.

- Crossing numbered as K , behind which the receiving coil is located (counting is carried out from the left border of the test loop).

- Distance l_K from crossing K to the receiving coil.



Pic. 1. Graphical representation of the essential parameters of the test loop model with crossings [performed by the authors based on the current regulatory documentation (Instruction 35002-00-00, 36090-00-00 MU)].

- Height of the test loop relative to the level of the rail head h_m .
- Height $h_{r,k}$ of the suspension of the receiving coil k relative to the level of the rail head r (distance to the centre of the receiving coil core k).
- Geometric dimensions (height, width, length of the core, cross-sectional area of one turn S_k), core material (magnetic permeability of the core material μ_k) of the receiving coil k .
- Number of winding turns of the receiving coil N_k .

All parameters characterising the geometric dimensions must be expressed in metres.

For understanding we offer a schematic illustration, which shows the essential geometric parameters of the test loop (Pic. 1).

The model is built based on the following assumptions:

1) The height of the suspension of the test loop relative to each of the running rails of the same track is the same; the height of the suspension of the receiving coils relative to the test loop is the same.

2) The EMF value induced in the considered receiving coil from the section of the test loop fixed on another running rail is equal to the value of the EMF induced from the considered section of the test loop in the other receiving coil (consequence from the first position) and therefore due to the counter sequential connection of the receiving coils each other may not be considered.

We will assume that the ideal conditions ensuring the maximum value of the EMF induced in the receiving coil are under the situation when the receiving coil is fixed over an infinitely long straight thin current-carrying conductor. Under such conditions, the sensitivity of the locomotive receiver can be determined with absolute accuracy. We will consider as real ones the conditions under which the EMF in the

receiving coil is induced from a straight thin conductor of finite length with a current. The ratio of the EMF induced under real conditions ER to the EMF induced under ideal conditions EI will be considered as *the test loop efficiency factor* K_E (1):

$$K_E = E_R/E_I \quad (1)$$

At this stage, the conceptual design of the model can be considered complete. Let's move on to the direct construction of the model, which is reduced to the estimate of the EMF values on the right side of (1). First, we write down the fundamental expressions connecting:

- The magnitude of the induction $B_{s,k}$ of the magnetic field in the core of the receiving coil k , formed by the current I_s in the loop wire s , fixed on the rail r , with the height of the receiving coil suspension relative to the axis of the loop wire $A_{r,k} = h_m + h_{r,k}$ (2).

- The value of the magnetic field induction $B_{s,k}$ for the receiving coil k from the loop wire s with the geometric position of the receiving coil relative to the loop wire s of finite length (3), as well as the value of EMF $E_{s,k}$ in the receiving coil k from the loop wire s with magnetic field induction (4):

$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{2\pi A_{r,k}}, \quad (2)$$

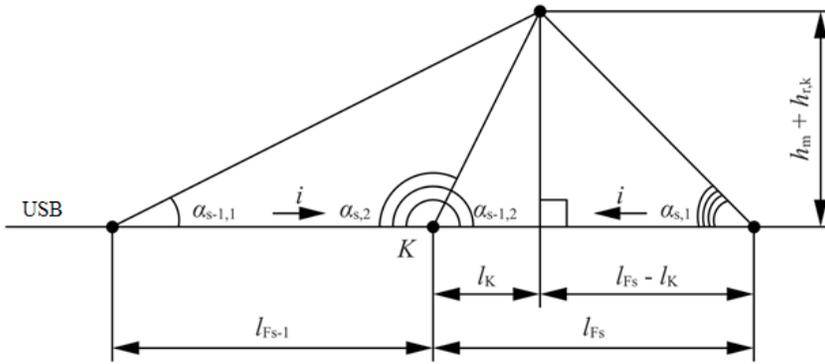
$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})), \quad (3)$$

$$E_{s,k} = -\frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = -\frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt} \quad (4)$$

Substituting (2) into (4) and (3) into (4), we can obtain the final formulas for calculating the EMF in the receiving coil k for an infinite length conductor (5) and a finite length conductor (6):

$$E_{s,k} = -\frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = -\frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt}, \quad (4)$$





Pic. 2. Determination of cosine values for the model [performed by the authors].

$$E_{s,k}^{MAX} = -\frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{2\pi A_{r,k}} \cdot \frac{dI}{dt}, \quad (5)$$

$$E_{s,k} = -\frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})) \frac{dI}{dt}. \quad (6)$$

It was previously stated that the test loop most often has crossings. Then, when considering a loop laid along one rail, it should be divided into $N + 1$ sections – individual conductors, the direction of the current in any two adjacent sections will be opposite. To consider the direction of the current, we introduce the coefficient k_s into formula (6), which we will consider equal to 1 if the current flows from left to right (Pic. 1) and -1 if the current flows in the opposite direction. It should be noted that the value of the EMF induced in the receiving coil, in accordance with the principle of superposition, is equal to the sum of the EMF from each of the conductors, therefore, the EMF E^R obtained in real conditions can be obtained by formula (7):

$$E_{s,k}^R = \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} \frac{dI}{dt} \cdot \sum_{s=0}^N -k_s \cdot (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})). \quad (7)$$

Substituting (5) and (7) into (1), simultaneously reducing the parameters of the receiving coil k (taking advantage of the fact that one and the same coil is considered, and the influence of its parameters on the possibility of measuring the sensitivity of the receiver is not considered in this work), we obtain the formula (8):

$$K_g = \frac{1}{2} \sum_{s=0}^N -k_s (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})). \quad (8)$$

Further work is reduced to determining the values of cosines. Let us consider two cases: connection of the coil with the section of the test loop, over which it is located, and connection of the coil with the section of the loop, over which it is not located (Pic. 2). The universal serial bus (USB) line in the figure corresponds to the laying level of the test loop.

Based on the above, we can write formulas for the cosines of the angle in general form as (9) and (10) as they are shown in the next page.

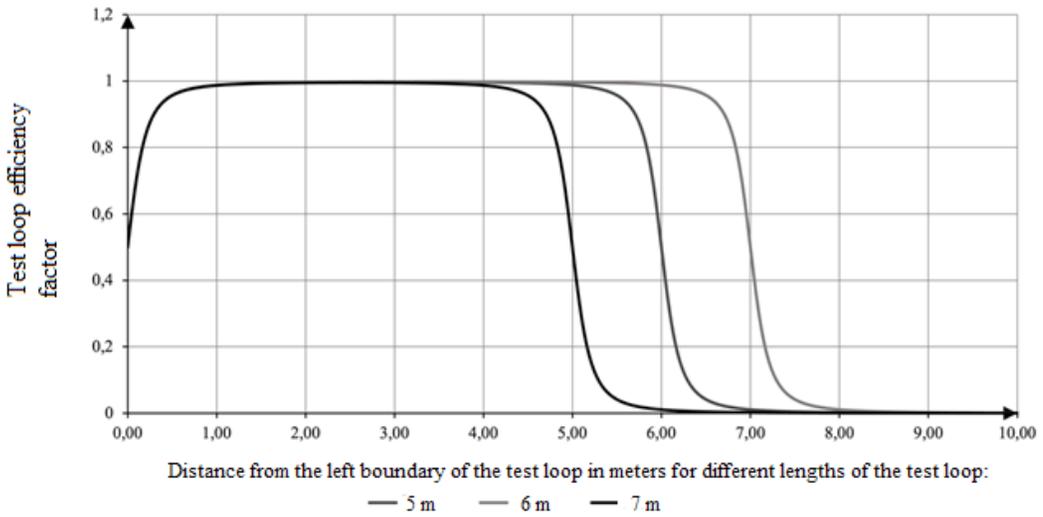
Combining formulas (8)–(10) into a system, we can consider the construction of the model to be completed.

Simulation Results

Initially, we will simulate the efficiency factor for a test loop of arbitrary length without crossings. This is necessary to estimate the distribution of the efficiency factor along a part of the test loop between two adjacent crossings without considering the influence of adjacent sections of the test loop. To do this, we supplement system (8)–(10) with the following equation (11): $N = k = 0$. (11)

In addition, we will specify different lengths of the inductive coupling line of the test loop. Let L_s take the values 4, 5, and 6 m. Let's plot the test loop efficiency factor without crossing (Pic. 3). The height of the receiving coil suspension relative to the level of the rail head is assumed to be 100 mm.

From the graphs it follows that the decrease in the efficiency of the test loop occurs only in the area near its boundary. At a distance of 1,1 m or more from the boundary of the test loop, the value of the magnetic induction generated by the test loop is at least 0,99 of the same value under



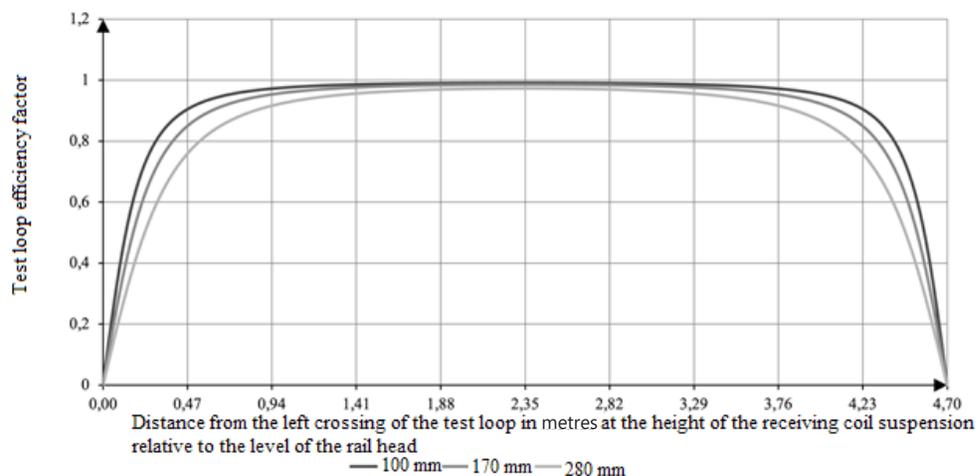
Pic. 3. Dependence of the test loop efficiency factor on the location of the receiving coil above it [performed by the authors].

$$\cos(\alpha_{s,1}) = \begin{cases} \frac{l_k + \sum_{i=s}^{K-1} l_{Fi}}{\sqrt{(l_k + \sum_{i=s}^{K-1} l_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s < K; \\ \frac{l_k}{\sqrt{(l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s = K; \\ -\frac{-l_k + \sum_{i=K}^{s-1} l_{Fi}}{\sqrt{(-l_k + \sum_{i=K}^{s-1} l_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s > K; \end{cases} \quad (9)$$

$$\cos(\alpha_{s,2}) = \begin{cases} \frac{l_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} l_{Fi}}{\sqrt{(l_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} l_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s < (K-1); \\ \frac{l_k}{\sqrt{(l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s = (K-1); \\ -\frac{-l_k + \sum_{i=K}^s l_{Fi}}{\sqrt{(-l_k + \sum_{i=K}^s l_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{if } s > (K-1). \end{cases} \quad (10)$$

$$K_E = \frac{l_k}{\sqrt{(l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{-l_k + l_{F1}}{\sqrt{(-l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} - \frac{1}{2} \left(\frac{l_k + l_{F1}}{\sqrt{(l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{2l_{F1} - l_k}{\sqrt{(2l_{F1} - l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} \right). \quad (12)$$





Pic. 4. Dependence of the test loop efficiency factor on the position of the receiving coil along the section of the test loop between adjacent crossings [performed by the authors].

ideal conditions for a given height of the receiving coil. Note that the test loop efficiency factor when the receiving coil is placed outside it at a distance of at least 1,5 m from the boundary is practically equal to zero. This greatly simplifies the model and the reasoning associated with it. In any case, it will be sufficient to consider only three sections of the test loop: above which the receiving coil is directly located and two adjacent to it, provided that the length of the test loop $L_s \gg 1,5$ m (in practice, the minimum allowable distance between two adjacent crossings is 4,7 m according to table G.1 of Instruction No. 35002-00-00³). Then, assuming that all sections of the test loop have the same length l_{F1} , system (8)–(10) can be written as a single equation in a simpler form (12).

Further, regarding loops with crossings, we will operate only with formula (12). This will significantly reduce the number of calculations with a sufficient degree of accuracy for the study.

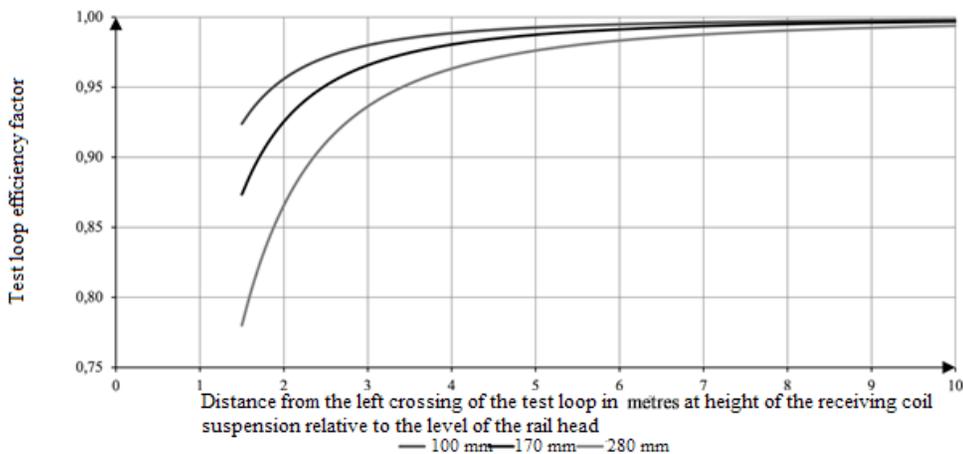
Let us consider the case when the lengths of all frames are the same and equal to the typical minimum possible value $L_s = 4,7$ m in accordance with the requirements of Table G.1 of Instruction No. 35002-00-003 (Pic. 4). As we have already seen, with an increase in the length of the inductive coupling line, the test loop efficiency factor is approximately equal to 1 over most of

its length. The worst operating condition will be the shortest possible distance between crossings.

The resulting picture allows us to judge the following. The lower is the height of the receiving coil suspension relative to the level of the rail head when using a loop with crossings, the smaller is the area near the crossings of the latter, in which the test loop efficiency factor changes significantly. With equal distances relative to adjacent crossings of the test loop, the test loop efficiency factor with the given length of the loop and the height of the receiving coil suspension is maximum (this statement can be quite simply proved by determining the maximum of the function defined by expression (12) with respect to L_k). Near the crossing points of the test loop, the test loop efficiency factor is sharply reduced due to the influence of the adjacent section of the test loop, which makes it impossible to measure the sensitivity of the locomotive receiver in this area at the rated current in the test loop. With this in mind, we will plot the dependence of the test loop efficiency factor when placing the receiving coil at an equal distance from its adjacent crossings (Pic. 5).

Considering the graphs presented in Pic. 5, it can be concluded that with a known allowable range of heights of the suspension of the receiving coils relative to the level of the rail head, when assessing the sensitivity of the locomotive receiver, it is necessary, firstly, to determine the required accuracy (it can be set by the test loop efficiency factor; characterises the difference between the obtained EMF measurement results induced in the receiving coils and the maximum possible values), and,

³ Instructions for the equipment, maintenance and repair of test loops and track devices ALS control point ALSN No. 35002-000-00, approved by the Order of JSC Russian Railways dated July 12, 2021 No. 1510/r. [Electronic resource]: consultantplus://offline/ref=ACFC0F802E265D5609396C61FA2297645A36CD753B15BBF0F0683C6B87B643E0101F73D15E3E927DF0C91393978316kCG2L. Last accessed 11.04.2022.



Pic. 5. Dependence of the test loop efficiency factor on the distance between adjacent crossings of the test loop [performed by the authors].

secondly, to determine the minimum distance between the crossings, at which the specified accuracy will be achieved when the receiving coil is placed symmetrically with respect to neighbouring crossings.

The results obtained allow us to analyse the existing standards established by various documents: clause 1.8.4 of the Guidelines 36090-000-00 MU⁴ and clause 3.4.6.6 of Instruction No. 35002-00-003. From these regulatory documents it follows that «the receiving coils of a unit of traction railway rolling stock must be located no closer than 200 mm to the place of a test loop crossing». According to the simulation results at the indicated distance, the test loop efficiency factor is in the range from 0,45 to 0,67, therefore, the sensitivity of the locomotive receiver cannot be determined at the nominal values of the current in the test loop (the induced EMF will differ from the nominal value by almost two times).

To confirm the data obtained as a result of modelling, a full-scale experimental study is required to clarify the value of the test loop efficiency coefficient in the test loop crossing zone.

CONCLUSION

Based on the results of the study, the following main conclusions can be formulated:

1. Based on the hypothesis that, depending on the position of the receiving coils along the

test loop, the conditions for assessing the sensitivity of the locomotive receiver change significantly, a mathematical model was developed that allows modelling the value of the test loop efficiency factor depending on the position of the receiving coil and the parameters of the test loop. The model was developed in conformity with the requirements of the current regulatory documents for laying test loops.

2. Based on the simulation results, it was found that the lower is the height of the receiving coil suspension relative to the level of the rail head when using a loop with crossings, the smaller is the area near the crossings of the latter, in which the efficiency coefficient of the test loop changes significantly. The form of dependence of the test loop efficiency factor at its various lengths is the same and has the same characteristic points.

3. Based on a comparison of the simulation results with the current standards for placement of the receiving coils of the tested unit of traction railway rolling stock, their discrepancy was established. For the distance between the receiving coil and the crossing point of the test loop specified in the regulatory documents, the test loop efficiency factor is only 0,45–0,67, which does not allow providing conditions for assessing the sensitivity of the locomotive receiver. To obtain accurate results of assessing the sensitivity of the locomotive receiver, the receiving coils should be located at an equal distance from the crossing points, and the distance between the crossings of the test loop should be selected considering the previously accepted measurement accuracy.

⁴ ALS checkpoint. Guidelines for design and equipment. 36090-00-00 MU: Approved by the Deputy Head of the Signaling, Communications and Computer Engineering Department on 30.12.1996. Album 1. Total albums 2. Moscow, 1996, 24 p.





To clarify the simulation results, it is necessary to conduct appropriate experimental studies, that has already started to be developed by specialists from the Department of Railway Automation, Telemechanics and Communications of Russian University of Transport.

REFERENCES

1. Lisenkov, V. M. Statistical Theory of Train Traffic Safety [Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poezdov]. Moscow, VINITI RAS publ., 1999, 332 p. ISBN 5-900242-29-3.
2. Zakolesnik, V. V., Merkulov, P. M., Kuzmin, V. S. How to improve the operation of ALSN checkpoints [Kak uluchshit rabotu kontrolnykh punktov ALSN]. Lokomotiv, 2019, Iss. 10 (754), pp. 9–10. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40808094> [access restricted for subscribers only].
3. Tabunshchikov, A. K., Baryshev, Yu. A., Yakimov, S. M. New principles and directions of work to improve the noise immunity of ALSN [Novie printsipy i napravleniya rabot po povysheniyu pomekhoustoichivosti ALSN]. Problems of safety in transport: proceedings of VIII International scientific-practical conference, dedicated to the year of science: in 2 parts. Part 1. Gomel, BelSUT, 2017, pp. 201–202. [Electronic resource]: <http://elib.bsut.by/bitstream/handle/123456789/3167/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B5%202017%20%D1%871-201-202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Last accessed 14.05.2022.
4. Shamanov, V. I. Problems of electromagnetic compatibility of rail circuits with a traction network [Problemy elektromagnitnoi sovmestimosti relsovykh tsepei s tyagovoi setyu]. Avtomatika na transporte, 2019, Vol. 5, Iss. 2, pp. 160–185. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-160-185.
5. Bindyug, A. S., Kuzmin, V. S., Merkulov, P. M., Tabunshchikov, A. K. Diagnostic complex for automated testing of relay equipment for automatic locomotive signaling of continuous operation: Pat. 2700241 Russian Federation No. 2018144988; dec. 19.12.18; publ. 13.09.19, Bull. No. 26, 17 p. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002700241_20190913_C1_RU/. Last accessed 14.05.2022.
6. Leonov, A. A. Maintenance of automatic locomotive signaling [Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomaticheskoi lokomotivnoi signalizatsii]. 5th ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1982, 255 p.
7. Teslev, A. N. Checking the locomotive signaling in the middle of ISh-74 loop [Proverka lokomotivnoi signalizatsii v seredine shleifa ISh-74]. Lokomotiv, 2019, Iss. 4 (748), p. 24. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38536129> [access restricted for subscribers only].
8. Teslev, A. N. Reconstruction of PTOL loops [Rekonstruktsiya shleifov PTOL]. Lokomotiv, 2018, Iss. 9 (741), p. 27. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35533528> [access restricted for subscribers only].
9. Teslev, A. N. Automatic switching on and off of the ISh-74 loop near the PTOL building [Avtomaticheskoe vlyuchenie-vyklyuchenie shleifa ISh-74 u zdaniya PTOL]. Lokomotiv, 2022, Iss. 5 (785), p. 31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48379729> [access restricted for subscribers only].
10. Kuzmin, V. S., Ryadchikov, R. O., Petrov, S. A. On the issue of requirements for laying a test loop [K voprosu o trebovaniyakh k prokladke ispytatelnogo shleifa]. Education–Science–Production: Proceedings of IV All-Russian Scientific and Practical Conference, December 24, 2020. Chita: Trans-Baikal Institute of Railway Transport – branch of FSBEI HPE Irkutsk State Transport University, 2020, pp. 149–154. [Electronic resource]: https://www.irgups.ru/sites/default/files/zabizht/docs/sciences/sbornik_dekabr_2020_tom_1.pdf (the entire proceedings only). Last accessed 14.05.2022.
11. Shamanov, V. I. Inductive connection of locomotive coils ALSN with track circuits [Induktivnaya svyaz lokomotivnykh katushek ALSN s relsovymi liniyami]. Avtomatika, svyaz, informatika, 2011, Iss. 11, pp. 2–5. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17110803>. Last accessed 14.05.2022.
12. Lisenkov, V. M. Inductive connection with trains [Induktivnaya svyaz s poezdami]. Moscow, Transport publ., 1976, 112 p.
13. Borodkin, A. V., Ovsyannikov, S. A., Kosyanenko, V. V. Improving the quality of repair and maintenance of receiving coils [Uluchshat kachestvo remonta i obsluzhivaniya priemnykh katushek]. Lokomotiv, 2021, Iss. 12 (780), pp. 15–17. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47275872> [access restricted for subscribers only].
14. Bader, M. P. Electromagnetic compatibility of traction power supply with communication lines, railway automation devices and power supply networks. D.Sc. (Eng) thesis [Elektromagnitnaya sovmestimost tyagovogo elektrosnabzheniya s liniyami svyazi, ustroystvami zheleznodorzhnoi avtomatiki i pitayushchimi elektrosetyami. Dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, MIIT publ., 1999, 475 p.
15. Hou, W., Zhang, X., Wang, J., Sarris, C. D. Hybrid Numerical Modeling of Electromagnetic Interference in Train Communication Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2020, Vol. 62, Iss. 3, pp. 715–724. DOI: 10.1109/TEMC.2019.2920656 [access restricted for subscribers only].
16. Feng, J., Cao, J. G., Wu, Z. H. Analysis and Research on Electromagnetic Compatibility of High Speed Railway Traction Current Harmonics to Track Circuit. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2021, Vol. 31, Iss. 8, pp. 1–4. DOI: 10.1109/TASC.2021.3090347 [access restricted for subscribers only].
17. Yang, L., Hian, L. C., Leong, L. W., Kevin, O. M. C. Induced voltage study and measurement for communication system in railway. Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), 2018, pp. 32–35. DOI: 10.1109/ISEMC.2018.8393733 [access restricted for subscribers only].
18. Zhang, L., Zhu, Y., Chen, S., Zhang, D. Simulation and Analysis for Electromagnetic Environment of Traction Network. Proceedings of 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), 2021, pp. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560338. ●

Information about the authors:

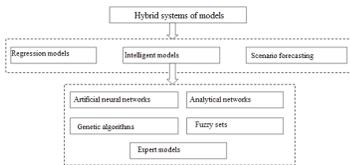
Kuzmin, Vladislav S., Ph.D. student at the Department of Railway Automation, Telemechanics and Communications of Russian University of Transport, Moscow, Russia, vs.kuzmin@bk.ru.

Tabunshchikov, Alexander K., Ph.D. (Eng), associate professor of department of Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, tabunshchikov1@mail.ru.

Article received 11.04.2022, approved 30.05.2022, accepted 27.06.2022.

T

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS



FORECASTING TRANSPORT SYSTEM DEVELOPMENT 158

Analysis of existing forecasting models, choice and testing of those most suitable for forecasting cargo flows along the Northern Sea Route considering most important factors.



TRAIN TRAFFIC CONTROL 168

Synthesis of safe systems: concept and implementation. Accounting for not only internal and external failures of control systems and their components but for failures of the infrastructure facilities interacting with control devices.



INFRASTRUCTURE FOR ELECTRIC CARS 176

Assessment of electric vehicle readiness of transport infrastructure of the city of St. Petersburg. Comprehensive analysis of manufacture, communication, environmental and other factors, state of road-and-street infrastructure, availability and development outlook for electric charging stations.



SUPPLY CHAINS: REGIONAL ASPECT 187

Features of diagnostics of supply chains of a specific region with predominant rail transportation: general characteristics, concept view and practical conclusions. The example of Orenburg region.

FORECAST OF PASSENGER FLOWS 193

Search for optimal forecasting methods regarding passenger flows in major city agglomerations: the case of Moscow. Analysis of usual and automated techniques and the transition towards innovative digital methods, based on Wi-Fi analytics.



Methods to Forecast Transport Systems Development under Modern Conditions



Anatoly N. KISELENKO



Evgeny Yu. SUNDUKOV



Nadezhda A. TARABUKINA

*Anatoly N. Kiselenko*¹, *Evgeny Yu. Sundukov*², *Nadezhda A. Tarabukina*³

^{1, 2, 3} Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia.

✉ ³ translab@iespn.komisc.ru.

ABSTRACT

The objective of the work is to study methods for forecasting transport systems development and determine their suitability under economic instability conditions.

The modern methodology for forecasting the development of regional transport systems includes expert and formal methods, methods of active and passive forecasting.

The use of expert systems, scenario forecasting and strategic planning can be mentioned as promising areas.

Scenario planning is more adapted to non-linear transformations in the economy than traditional linear planning. In traditional planning, the past explains the present, in scenario planning, the future is the meaning of the present, the future is created.

The variety and instability of statistical indicators encourages creation of hybrid systems of forecasting models. They are based on regression models, as well as on intelligent models, including artificial

neural networks, analytical networks, etc., which are complemented by scenario forecasting.

The identification of the main factors that determine the functioning of the transport network of the European and Ural Arctic facilitated the choice of methods for forecasting its development. The main factors negatively affecting the development of the transport network of the region under the study are the insufficiency of freight flows in the ports; insufficient capacity of seaports' access roads; political, social, natural-climatic, and other risks.

The example of the Northern Sea Route (NSR) illustrates the use of a hybrid system of forecasting models to obtain possible values of traffic volumes. Based on the analysis of regression models and the study of the possibility of achieving the target traffic volume by 2024, it was concluded that this model is basically acceptable for forecasting the volume of goods transported along the NSR.

Keywords: transport system, forecasting methods, European and Ural Arctic, regression models, intelligent models, scenario forecasting, hybrid forecasting models.

Financial support: the work was carried out within the research topic «Development of scientific bases for the analysis of functioning and forecasting of development of the transport network of the European and Ural Arctic» (registration No. 121021800127-1).

For citation: Kiselenko, A. N., Sundukov, E. Yu., Tarabukina, N. A. Methods to Forecast Transport Systems Development under Modern Conditions. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 158–167. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-5>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Transport, being a sector of the economy and a provider of services, ensures the prerequisites for revitalisation of economic activity in a particular territory, and development of transport infrastructure should be ahead of the curve [1] in relation to material production. Therefore, it is necessary to identify trends and indicators that make it possible to forecast development of transport systems both in the short and long term.

Throughout its history, humanity has tried to look into the future and find out what lies ahead. Martin van Creveld [2] tells from the point of view of a historian the story about the emergence of various methods of prediction, the principles and beliefs that underlie them. Today, scientists strive to make predictions using the latest computer technology.

The analysis of various forecasting methodologies, including those applied to transport systems, was carried out by A. M. Andronov, A. N. Kiselenko, E. V. Mostivenko [3, pp. 26–41]. Under the conditions of a planned economy (from the beginning of the 1970s to 1991), methods based on probability theory, mathematical statistics, and regression theory were widely used in forecasting traffic volumes.

The *objective* of this work is to determine the applicability of these and a number of promising methods for forecasting the development of transport systems in today's economic environment, characterised by a high degree of uncertainty.

RESULTS

Methodology

Forecasting Development of Transport Systems and Scientific Methods

The authors [3] have developed a modern methodology for forecasting the development of regional transport systems, which includes expert and formal methods, active and passive forecasting methods, *bottom-up* and *top-down* methods, individual and group models.

Expert methods are methods for making forecasts based on expert assumptions. Among them are Delphi Method, brainstorming, morphological method, etc.

With *passive forecasting* methods, the value of an indicator of interest is predicted without specifying how it will be achieved, for example, when extrapolating time series.

With *active forecasting*, the mechanism for formation of the indicator in question is accurately described. In foreign literature, such methods are also called *normative*, and passive methods are called *search* methods.

Forecasts have different time signs (over five years, five years, year, quarter, month, etc.).

Transport facilities have a certain hierarchy according to belonging to various departments, regions, enterprises of various forms of ownership. A necessary condition for quality of forecasts developed for transport facilities (forecasts of different levels) is their correspondence to each other.

Also, when predicting the development of transport systems, *individual and group models* are applicable. An individual forecasting model is based on considering each object separately (for example, a transport company); a group model is based on considering a certain set of objects at the same time (airports, etc.)

To analyse and forecast the development of transport systems, the methods of multivariate linear regression are often used.

Suitability of Forecasting Methods under Economic Instability Conditions

Classical forecasting methods

The authors of [4] note that «with all the noted constraints, the methods based on statistical dependencies remain the most used methods in economic research for forecasting demand for infrastructure services at the regional level. The reasons are associated with availability of statistical information and ease of implementation, when the task of achieving economic growth, both in general and in terms of components, is brought to the fore».

The turbulence of the economy actualises the development of methods for obtaining predictive values of socio-economic indicators with unstable time series. As promising areas, one can name the use of expert systems in forecasting [5; 6], scenario forecasting and strategic planning [7–9], which makes it possible to use both expert and formalised methods when building scenarios.

Scenario planning is more adapted to non-linear transformations in the economy than traditional linear planning. In traditional planning, the past explains the present, in scenario planning, the future is the meaning of the present, the future is created.

T. Saaty and K. Kearns offer the following definition of a scenario: in its most general form,



Correlation of scenario, forecast, vision [11]

Scenario	Forecast	Vision
Possible, most probable options of the future	Probable options of the future	Desired option of the future
Based on uncertainty	Based on certain relationships	Based on the value
Shows risks	Hides risks	Hides risks
Qualitative or quantitative	Quantitative	Usually qualitative
Needed to know what decision to make	Needed to dare to make a decision	Encourages action
Rarely used	Daily used	Relatively often used
Effective in the medium long term and under medium to high uncertainty	Effective in the short term and under low uncertainty	Acts as a trigger for conscious change

a scenario is a hypothetical outcome that is determined using some assumptions about current and future trends [10, p. 144].

M. Lindgren and H. Bandhold noted that «the scenario is not a forecast, that is, a description of a relatively predictable development of events in the present. Nor is it a vision, a desired future. A script is a carefully crafted answer to the question, «What is supposed to happen?» or «What happens if...?» [11]. The ratio (difference) of the scenario, forecast and vision, as suggested in that work, is shown in Table 1.

B. V. Artamonov notes that «the purpose of writing a scenario is not so much to predict the future, but to identify the main patterns and trends in the development of the object in question over time, to provide a higher probability of developing an effective solution in situations where it is possible, and to reduce the expected losses to a minimum in situations where they are unavoidable» [12].

In the monograph [13, p. 187] it is noted that scenario analysis has been actively used since the 1970s. It should be «considered as a forecasting tool complementing traditional quantitative forecasting and simulation methods, as a means of strategic planning», since «the main goal of scenario analysis is not to predict the future state of the economic system, but to reduce the uncertainty of its development».

In addition, the authors of [10; 13] distinguish the following classes of scenarios: *research scenarios* (based on the study of cause-and-effect relationships between the current state of the system and options for its future development); *anticipatory scenarios* (based on the study of cause-and-effect relationships in the opposite direction – from the desired future state of the system to the current one by identifying development strategies that will ensure the desired transition); scenarios based on quantitative mathematical models and simulations. There is no single approach to the

methodology of scenario analysis, each method has «its own advantages and disadvantages, its constraints regarding applicability».

Regarding transport support for development of the Russian Arctic, the monograph [13, pp. 63–64] states that «it is necessary to substantiate the calculated options for the scenario conditions for formation and development of energy and transport systems in the Arctic territories ... in interaction with the processes of development of the productive forces of the base region».

The need to obtain predictive values under the conditions of instability of time series and uncertainty promotes the use of multiprocessor architectures that would approach the capabilities of the human brain in terms of performance, such as, for example, *artificial neural networks* (ANN) [14].

ANN is «composed of many individual processors, which we call data processing units» (DPU), «just like neural networks are formed in living biological systems» [15, pp. 465–466].

DPU includes several inputs (i), each of which is assigned with a certain weight (w_i). Weight can be either positive (excitatory effect) or negative (inhibitory effect). Variables (x_i) that take the values «0» or «1» are received at the inputs of DPU.

The weighted sum of the actual inputs S is called the effective input and is defined as a multiple linear regression:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + \theta,$$

where θ – shift parameter. If it is not specified, then $\theta = 0$.

The value of the effective input is compared with the specified threshold value P . If $S > P$, the output of DPU is «1», otherwise the output is «0».

Determining the weight coefficients of ANN DPU is similar to the search for the weight coefficients when using the analytical hierarchy process [16, pp. 64–66; 17].

Table 2

Comparison of forecast estimates of traffic volumes along the NSR with actual values for 2020 and 2021 (million tons) [18]

No.	System objects	Actual cargo flows	Forecast estimates						
			Pessimistic scenario				Optimistic scenario		
			2020	2021	2020	2025	2030	2020	2025	2030
1	NSR	32,98	34,85	19,7	39,8	39,0	23,2	68,6	71,1
2	Transit	1,28	2,04	1,5	2,0	3,0	2,0	4,0	8,0

In addition to those listed, *patent research* (promising vehicles) can be attributed to methods for predicting the development of transport systems. «Another aspect of time is the speed of innovation» [11], including in transport.

Below we consider the application of the above approaches to forecasting the development of the transport network of the European and Ural Arctic (EaUA).

The Main Factors Determining the Functioning of the Transport Network of the European and Ural Arctic

The EaUA transport network, which includes railways, road, air routes, waterways and a pipeline system, operates in the following land areas of the Russian Arctic and adjacent waterways, including the Northern Sea Route (NSR): Murmansk region, Nenets Autonomous District, parts of the territories of the Yamalo-Nenets Autonomous District (two urban districts and two municipal districts), of the Republics of Karelia (five municipal districts and an urban district) and Komi (three urban districts and a municipal district), Arkhangelsk region (three urban districts and four municipal districts).

The main factors influencing freight traffic in the Russian Arctic are listed in [18, p. 89]. They are «divided into two groups: exogenous (natural and climatic conditions, the state of global commodity markets, geopolitical and geoeconomic relations, strategies of global corporations and companies) and endogenous (state economic policy regarding mining, state policy in the field of regulation of Arctic shipping, the state of the port and transport infrastructure, the state of the merchant and icebreaker fleets, organisational and economic infrastructure)».

The authors of [18] obtained predictive estimates of the volume of traffic along the NSR for two scenarios. Let's compare them with the actual cargo flows in 2020 and 2021 (Table 2).

The comparison shows that the actual values of traffic along the NSR in 2020 turned out to be higher than the forecast estimates, even under its optimistic scenario. At the same time, the volume of transit in 2020 turned out to be lower than forecast estimates, but quite close to the forecast value in the pessimistic scenario.

In our opinion, the main factors negatively affecting the development of the EaUA transport network are:

- Insufficient cargo flows in the ports [19].
- Insufficient capacity of access roads to seaports¹ [20].
- Political, social, natural-climatic, and other risks [21].

The impact of external and internal factors is complex and constantly changing. When forecasting the volumes of EaUA traffic for 2021, the main groups of factors in terms of significance could be arranged in the following sequence: sufficiency (or insufficiency) of the cargo flows in the seaports; the impact of Covid restrictions (it is with this that the slowdown in the growth rate of traffic along the NSR in 2019–2021 can be linked). It is possible to expect that in 2022 Covid restrictions will gradually decrease, but probably other constraints will come to the fore.

Hybrid Model for Forecasting the Development of the Transport Network of the European and Ural Arctic

B. V. Artamonov notes: «Under the conditions of high uncertainty and rapid changes in economic and market conditions, when developing a strategy for any business entity, it makes sense to use scenario forecasting, during which, taking into account the simultaneous change in many factors, the possibility of various situations in which studied subject may turn out to be» [22].

¹ Mikhailov, A. Murmansk ports are faced with a lack of capacity (in Russian). Internet portal «Rossiyskaya Gazeta». [Electronic resource]: <https://rg.ru/2021/11/30/reg-szfo/murmanskie-porty-stolknulis-s-nehvatkoj-propusknoj-sposobnosti.html>. Last accessed 27.05.2022.



E. O. Demidova distinguishes three enlarged stages of scenario forecasting and planning: pre-scenario, scenario, and stage of scenario implementation [23, p. 3].

At the pre-scenario stage, the goals of scenario forecasting should be determined, and a working group should be constituted.

The main task of the scenario stage is to identify the key factors that determine the development of production systems (in our case, of transport system). This is followed by immediate work on formation of scenarios, during which «key driving forces with weak correlation are identified and a range of their possible values is outlined for scenarios». With reference to foreign researchers, the author notes that «scenarios in the amount of more than four begin to blur and lose their important differences for decision-making» [24, p. 238].

It would be more correct to call the last stage the «scenario implementation stage». During its implementation, it is necessary to pay due attention to each scenario, monitor them and analyse feedbacks.

The author of the work [23, p. 3] also notes: «The scenario method is quite expensive and resource-intensive. However, with the proper use of scenarios in strategic planning, the costs pay off many times over, as they give a great economic effect due to more efficient use of emerging opportunities and countering threats».

B. V. Artamonov says [22] that «a set of scenario options forms a cone of scenario forecasting, the boundaries of which are» optimistic and pessimistic scenarios.

The forecasted development of the system is determined by the vector (trajectory) of scenario development, which is located inside the forecasting cone.

The location of this vector close to the boundaries of the contour (to optimistic or pessimistic scenarios) in both cases carries risks to the functioning of the system; therefore, for development of the system, it will be optimal to choose a *base scenario* that will allow rational use of system resources to achieve the target result. At the same time, based on the data of continuous monitoring, the scenarios are adjusted.

One of the possible algorithms for scenario management of regional development, which can also be applied to the management of the development of transport systems, is presented in the work of T. V. Solovyova and S. G. Chefranov

[25]. Conventionally, four stages of implementation of this algorithm can be distinguished:

«At the first (initial) stage, the following occurs: formation of the goal of scenario synthesis; determining the time horizon of the scenario; formation of a set of targets; identification of the current state.

Next, the synthesis of scenario conditions is carried out (the second stage). A check is made to see if a complete group of events has been formed. In the case of a successful check, the probability of occurrence of events that determine the scenario conditions is estimated; quality indicators of a set of scenario conditions are calculated; it is checked whether the best performance has been achieved. When the best indicators are achieved, a system of control actions is formed for various scenario conditions.

At the third stage, after synthesising a set of indicators of scenario conditions, monitoring the state of the controlled object and the environment, the implementation of scenario conditions is checked.

At the final stage, the implementation of control measures for the most probable scenarios (as mentioned above three or four) is carried out».

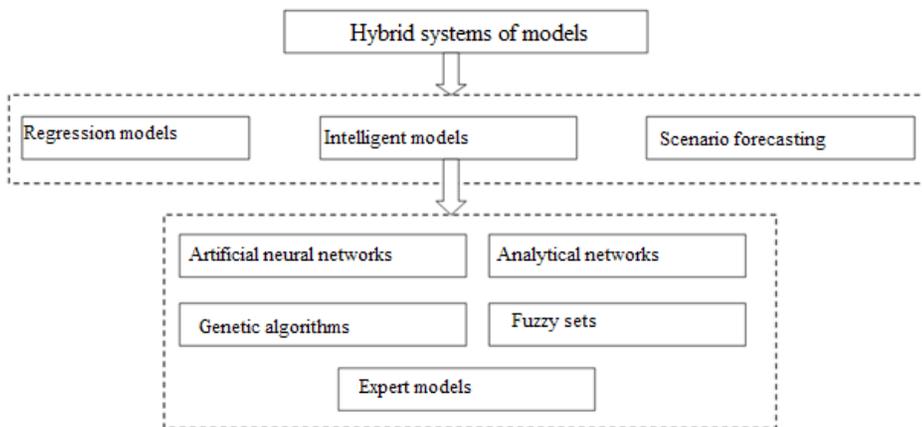
N. M. Bukharov suggests using combinations of different approaches in forecasting and calls them «hybrid» approaches: «If the outcome of the hybrid is successful, a synergistic effect is expected, which means a significant improvement in its performance» [26].

According to the authors of [27, pp. 130–131], a hybrid system of forecasting models consists of a complex of regression models and a set of intelligent models, including artificial neural networks, analytical networks, etc. (Pic. 1).

This system is open and allows us to include new models and indicators, it can have a modular architecture, which gives additional stability.

Using a Hybrid System of Models: an Example of Obtaining Predictive Values of Traffic Volumes along the Northern Sea Route

The number of indicators characterising the rate of passenger and cargo transportation used in various problems of forecasting and planning the operation of the EaUA transport is very large. To date, there are more than 150 forecasting methods and models. They are usually based on stable time series of indicators, mathematical statistics, and programming [1, pp. 16–17].



Pic. 1. Hybrid system of forecasting models [27].

Table 3

Volume of cargo transported along the Northern Sea Route in 2011–2021 (thousand tons) [[29; 30] and based on the analytical data of the NSR Directorate of Rosatom State Corporation*]

	Year										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Traffic volumes along the NSR	3111,0	3752,0	3930,0	3982,0	5392,0	7256,0	10691,0	20180,2	31531,2	32978,9	3487,9
including transit	824,0	1212,0	1355,9	274,3	39,6	210,0	214,5	491,3	697,3	1281,0	2041,3

* Volume of transportation of goods within the basin of the Northern Sea Route (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.fedstat.ru/indicator/51479>. Last accessed 28.05.2022.

An important indicator of the functioning of the EaUA transport system is the volume of freight traffic along the NSR, which is of exceptional importance, first, for ensuring the security of the Arctic zone of the Russian Federation. Its target value is stipulated as 80 mln tons by 2024². Such a target setting activates two possible scenarios for development of the Arctic transport system and of the EaUA transport network as of its component: *optimistic* (the specified traffic volume will be achieved) and *pessimistic* one (the specified traffic volume will not be achieved). Which of them will develop is determined by economic, political, natural and other risks [28, p. 53].

Between 2011 and 2019 there was a steady increase in the volume of freight traffic along the NSR due to an increase in the volume of hydrocarbon production in the EaUA and their

export transportation, which made it possible to develop quite adequate models for their forecasting with regression analysis.

Data on traffic volumes along the NSR in 2011–2021 are given in Table 3.

A certain contribution to this growth was made by transit transportation of goods from the Asia-Pacific region to Europe, however, their volumes are insignificant.

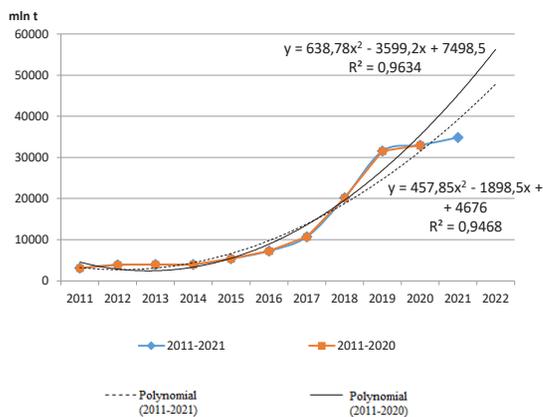
Based on the available values, regression models were built for the time series of 2011–2020 and 2011–2021 (Pic. 2).

For the time series 2011–2020 the forecast value obtained from ten actual values using a quadratic model for 2021 amounted to 45199,7 thousand tons, which significantly exceeds the real value of 34850,0 thousand tons. The estimate of traffic volumes in 2022 according to this model is 56292,4 thousand tons, further continuation of the trend line confirms the achievability of the target in 2024.

For the time series 2011–2021 the value of traffic volumes along the NSR for 2022 (based on 11 actual values) is 47824,4 thousand tons, while

² Plan for development of infrastructure of the NSR till 2035 has been approved (in Russian). [Electronic resource]: <http://government.ru/docs/38714/>. Website of state programs of the Russian Federation. [Electronic resource]: https://programs.gov.ru/Portal/pilot_program/24/elements. Last accessed 27.05.2022.





Pic. 2. Extrapolation of time series 2011–2020 and 2011–2021 in terms of traffic volumes along the NSR using regression models [compiled by the authors].

regression analysis does not exclude development according to the pessimistic scenario as well, including slower growth pace by 2024.

Thus, according to the results of the regression analysis, it is possible to make certain assumptions about the achievability or unattainability of the target indicator in the presence of stable time series. The scheme of such studies is directed «from the past to the future» [31, p. 18].

Therewith, it is necessary to consider great dependence of the regression analysis on the current changes in the dynamics of indices achieved, including temporary fluctuations, which reduce the accuracy of the forecast.

In the case of ANN, research is directed «from the future to the present», i.e., first, the main factors that may affect the functioning of the system in the future are determined, and then several scenarios for the current development are developed.

Below is a basic example of a model of building the elements of ANN, which determines the probability of achieving the target indicator of traffic volumes along the NSR by 2024.

Building a basic DPU

Considering the initial data, the input and output variables were determined, preliminary weights were set for the inputs (Table 4), and the threshold value $P = 0,4$ was also set. It is to bear in mind that preliminary groups of considered

constraints, their composition (including decomposition into the single lines), and relevant weights, that were determined by expert method, are not strictly set and in that case represent an illustrative example only. While implementing acting model they should be determined through large expert survey.

The generated basic DPU is shown in Pic. 3. Using the software implementation of ANN – the Flux.jl package (machine learning library³, written with the Julia programming language⁴, and for it), the weight coefficients were recalculated, a new threshold value $P' = 0,2$ was set, new data were entered into DPU_2 (Pic. 4).

To analyse the sufficiency of the cargo flows intended for transportation along the NSR, ANN developed DPU_1, the table of initial data of which is presented in Pic. 5.

The output variable DPU_1 goes to the input DPU_2, which, in addition to the sufficiency of the cargo flows, analyses the impact of other external factors (Pic. 6).

The initial data were read from an Excel file into Julia using XLSX.jl package, which made it easy to correct the data (variable weights) depending on the declared volumes of cargo

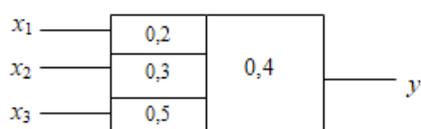
³ Flux: The Julia Machine Learning Library. [Electronic resource]: <https://fluxml.ai/Flux.jl/stable/>. Last accessed 27.05.2022.

⁴ The Julia Programming Language. [Electronic resource]: <https://julialang.org/>. Last accessed 27.05.2022.

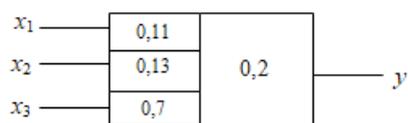
Table 4

Input and output variables and their weights for the basic DPU [compiled by the authors]

Variable notation	The meaning of the variables x_i	«Weight» of the variable w_i
x_1	External constraints (economic, environmental, etc.)	0,2
x_2	Covid-restrictions	0,3
x_3	Insufficient cargo flow	0,5
y	Target indicator is achieved / is not achieved	



Pic. 3. Basic DPU for the stated forecasting goal.



Pic. 4. Changed DPU_2.

	Semantic meaning of variables (conditional name of a project)	Variable notation	Variable's weight (transported volume within the project, mln t), W_{3i}
1	New port	$X_{3,1}$	5,56
2	Vostok Oil	$X_{3,2}$	30,00
3	Ymal LNG	$X_{3,3}$	19,70
4	Arctic LNG2	$X_{3,4}$	12,60
5	Obsky GCHC	$X_{3,5}$	0,60
6	Norilsky Nickel	$X_{3,6}$	0,96
7	Syradasayskoe deposit	$X_{3,7}$	3,50
8	Other projects	$X_{3,8}$	0,31
9	Procurement goods, «Northern delivery», transit	$X_{3,9}$	16,78
	Shift	Θ_3	-10,01
	Insufficient cargo flows	X_3	
	P=	80	

Pic. 5. Table of initial data DPU_1 for the analysis of the sufficiency of the cargo flows along the NSR [compiled by the authors based on the Decree of the Government of the Russian Federation dated 01.08.2022 No. 2115-p «On approval of the Plan for development of the Northern Sea Route for the period till 2035». Consultant Plus reference and legal information system].

flows (Pic. 5). The results of all calculations were also exported to an Excel file.

Depending on the objectives of the study, it is possible to replace the inputs of the network elements with new DPU, thereby increasing the number of ANN layers, or the number of DPU in any layer.

As a result of assessing the current and future volumes of cargo transportation along the NSR, it is possible to conclude that there are risks associated with achievement by 2024 the directive and forecast value of the cargo turnover of 80 million tons along it. One of the obstacles, in addition to the above, is the limited capacity of the existing railway access roads to the seaports of EaUA (Murmansk and Arkhangelsk) and the lack of such for Sabetta and the promising port of Indiga.

The quality of any forecast depends on the accuracy of input data, in that case, on the list of factors considered and on weights attributed by experts. Therefore, the forecast could not be considered under existing dynamically changing conditions as a finally achieved.

Thus, the first half of 2022 showed that a group of foreign countries was going to

renounce⁵ to Russian oil, gas and coal, despite the fact that in 2021 this group of countries had provided more than half of the proceeds from energy exports (about 100 out of 191,5 billion dollars). This might negatively affect the problem of insufficient freight flows in the Arctic seaports and, consequently, provoke the decrease in the volumes of cargo transported along the NSR.

On the other hand, the forecast regarding the set 2024 indicator has not been reduced, the target indicator is maintained at 80 mln t⁶. The exportation of oil and gas is redirected to the promising markets of other groups of countries (it refers also to implementation of rail, pipeline, port infrastructure projects and to provision of demand for energy resources in the internal

⁵ It has been ordered to accelerate the turn to the East: the path of energy resources to Asia will be thorny (in Russian). [Electronic resource]: <https://eadaily.com/ru/news/2022/04/15/povorot-na-vostok-prikazano-uskorit-put-energoresursov-v-aziyu-budet-temist>. Last accessed 27.05.2022.

⁶ Russia will deliver 80 mln t along Northern Sea Route by 2024. *Izvestiya*, 05.05.2022 (in Russian). [Electronic resource]: <https://iz.ru/1329712/2022-05-04/rossiia-dostavit-po-sevmorputi-80-mln-t-gruzov-k-2024-godu>. Last accessed 27.05.2022.



Variable notation	Variable weight w_i	The meaning of variables
x_1	0,11	External factor 1
x_2	0,13	External factor 2
x_3	0,7	External factor 3 (insufficient cargo flows)
...
y		Target indicator will not be achieved
P=	0,2	

Fig. 6. Example of a table of initial data DPU_2 for forecasting the achievement of the target indicator of the volume of freight traffic along the NSR [compiled by the authors].

market). Therefore, to determine priority of oil and gas projects and of implementation there-of it is necessary to use forecasted values of high validity.

In general, this task is due not only to the situation developing at a certain time period but has a long-term nature.

CONCLUSION

«The complexity of the problems of economic forecasting, in particular, of development of the transport network of the European and Ural Arctic determines the need for an interdisciplinary approach to their solution, the expansion and integration of existing methods» [32].

The variety and instability of statistical indicators encourages the creation of hybrid systems of forecasting models. They are based on regression models, intelligent models, including artificial neural networks, analytical networks, etc., which are complemented by scenario forecasting.

REFERENCES

1. Macheret, D. A. On the law of rapid development of transport infrastructure. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2018, Iss. 7, pp. 14–19. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35249444>. Last accessed 27.05.2022.
2. Van Creveld, M. Seeing into the Future: A Short History of Prediction. Transl. from English by D. Panaioti. Moscow, Novoe literatunoe obozrenie publ., 2022, 320 p. ISBN 978-5-4448-1758-2.
3. Andronov, A. M., Kiselenko, A. N., Mostivenko, E. V. Forecasting the development of the region's transport system: Monograph [*Prognozirovaniye razvitiya transportnoi sistemy regiona: Monografiya*]. Syktyvkar: KSC UB RAS publ., 1991, 178 p.
4. Petrov, M. B., Kozhov, K. B. New approaches to forecasting in order to manage the development of large systems of territorial infrastructure [*Novie podkhody k prognozirovaniyu v tselyakh upravleniya razvitiem bolshikh sistem territorialnoi infrastruktury*]. *Innovatsionnyy transport*, 2017, Iss. 2 (24), pp. 3–10. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-2-3-10.
5. Borisov, P. A., Vinogradov, G. P., Semenov, N. A. Integration of neural network algorithms, nonlinear dynamics

models, and fuzzy logic methods in prediction problems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2008, Iss. 1, pp. 78–84. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9603710>. Last accessed 27.05.2022.

6. Kiselenko, A. N. Information systems in management [*Informatsionnye sistemy v upravlenii*]. Syktyvkar, SSU publ., 1996, 86 p. ISBN 5-87237-141-1.

7. Kiselenko, A. N. Prediction and planning in economics [*Prognozirovaniye i planirovaniye v ekonomike*]. Syktyvkar, KRAGSiU publ., 2003, 87 p. ISBN 5-93206-050-6.

8. Macheret, D. A., Titov, R. A. Strategic Planning and Economic Assessment of Development of Intermodal Transport Infrastructure. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 6, pp. 30–45. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-30-45.

9. Kiselenko, A. N., Malashchuk, P. A. Strategic planning of the development of the transport network of the European and Cis-Ural Arctic at the federal level. *Transport of Russia: problems and perspectives – 2021: Proceedings of International scientific-practical conference November 09–10, 2021*. St. Petersburg, IPT RAS, 2021, Vol. 1, pp. 50–54. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47983630> (full text of proceedings). Last accessed 27.05.2022.

10. Saaty, T., Kearns, K. Analytical Planning. The Organization of Systems. Moscow, Radio i svyaz publ., 1991, 224 p.

11. Lindgren, M., Bandhod, H. Scenario Planning the Link Between Future and Strategy. Transl. from English by I. Ilyina. Moscow, CJSC Olimp-Business, 2009, 233 p. ISBN 978-5-9693-0137-5. [Electronic resource]: <https://www.cfin.ru/management/strategy/plan/scenario.shtml>. Last accessed 27.05.2022.

12. Artamonov, B. V. The formation of scenarios of strategic management. *Innovatsii v grazhdanskoj aviatsii*, 2015, Iss. 4, pp. 5–10. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23238451>. Last accessed 27.05.2022.

13. Andreeva, E. L., Dushin, A. V., Ignatieva, M. N. [*et al*]. Scenario approaches to implementation of Ural vector of development and development of the Russian Arctic [*Sitsenarnie podkhody k realizatsii ural'skogo vektora osvoeniya i razvitiya rossiiskoi Arktiki*]. Chief ed. Yu. G. Lavrikova. Yekaterinburg, Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, AMB Publishing House, 2017, 340 p. ISBN 978-5-94646-594-6.

14. Haykin, S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. 2nd ed. Transl. from English. Moscow, Williams publ., 2006, 1104 p. ISBN 5-8459-0890-6.

15. Brookshear, J. Glenn Computer Science an overview. 7th ed. Transl. from English. St. Petersburg, Piter publ., 2004, 620 p. ISBN 5-94723-650-8.

16. Saaty, T. L. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytical Network Process. Transl. from English. Scien. Ed. A. V. Andreichikov, O. N. Andreichikova.

- Moscow, LKI publ., 2008, 360 p. ISBN 978-5-382-00422-8 (Rus.).
17. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. Transl. from English by R. G. Vachnadze. Moscow, Radio i svyaz publ., 1993, 278 p.
18. Komkov, N. I., Selin, V. S., Tsukerman, V. A., Goryachevskaya, E. S. Scenario forecast of the development of the Northern Sea Route. *Studies on Russian Economic Development*, 2016, Iss. 2, pp. 87–98. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389311>. Last accessed 27.05.2022.
19. Muzlova, G. Ports of the Arctic: conditions for the growth of cargo turnover [*Porty Arktiki: usloviya dlya rosta gruzooborota*]. *Morskije porty*, 2021, Iss. 4. [Electronic resource]: <http://www.morvesti.ru/analitika/1688/90941/>. Last accessed 27.05.2022.
20. Kiselenko, A. N., Malashchuk, P. A., Sundukov, E. Yu. Assessment of compliance of the transport and throughput capacities of the transport routes of the European and Ural North of Russia with the needs of the Arctic transport system [*Otsenka sootvetstviya provoznykh i propusknykh sposobnostei transportnykh putei Evropeiskogo i Priural'skogo Severa Rossii potrebnostyam Arkticheskoi transportnoi sistemy*]. *Problemy razvitiya territorii*, 2019, Iss. 3 (101), pp. 33–48. DOI: 10.15838/ptd.2019.3.101.2.
21. Lukyanets, A. S., Bragin, A. D. Assessment of the scale and prospects of the impact of climate risks on the socio-economic development of Russia [*Otsenka masshtabov i perspektiv vliyaniya klimaticheskikh riskov na sotsialno-ekonomicheskoe razvitiye Rossii*]. *Ekonomicheskie i sotsialnie peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 2021, Vol. 14, Iss. 6, pp. 197–209. DOI: 10.15838/esc.2021.6.78.11.
22. Artamonov, B. V. Formation of scenario compositions in conditions of market instability [*Formirovanie stenarnykh kompozitsii v usloviyakh nestabilnosti rynochnoi konyunktury*]. *Innovatsii v grazhdanskoi aviatsii*, 2016, Iss. 1, pp. 19–25. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27196739>. Last accessed 27.05.2022.
23. Demidova, E. O. Problems of developing a model of the process of strategic scenario forecasting and planning the development of entrepreneurial structures [*Problemy razrabotki modeli protsessa strategicheskogo stsennarnogo prognozirovaniya i planirovaniya razvitiya predprinimatelskikh struktur*]. *Management of economic systems: electronic scientific journal*. Kislodovsk, Kislodovsk Institute of Economics and Law, 2011, Iss. 8 (32), p. 50. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17805187>. Last accessed 27.05.2022.
24. Schwartz, P. P. The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World. New-York, 1991, 238 p.
25. Solovieva, T. V., Chefranov, S. G. Elaboration of regional development management algorithm. *Novie tekhnologii*, 2011, Iss. 1, pp. 130–135. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16213551>. Last accessed 27.05.2022.
26. Bukharov, N. M. Management of human-machine complexes based on hybrid intelligence. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [*Upravlenie cheloveko-mashinnymi kompleksami na osnove gibridnogo intellekta. Avtoreferat diss. dokt. tekh. nauk*]. Moscow, 2011, 43 p. [Electronic resource]: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005089164.pdf. Last accessed 27.05.2022.
27. Kitova, O. V., Dyakonova, L. P., Savinova, V. M. A system of hybrid forecasting models for situational centers of regional governments and their application in education [*Sistema gibridnykh modelei prognozirovaniya dlya situatsionnykh tsevtrov regionalnykh organov upravleniya i ikh primenenie v obrazovanii*]. *Vestnik REU im. G. V. Plekhanova*, 2017, Iss. 5 (95), pp. 126–134. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30554038>. Last accessed 27.05.2022.
28. Kiselenko, A. N., Sundukov, E. Yu. Optimistic and Pessimistic Scenarios for Development of Feeder Network of the Arctic Transport System Based on Achievement of Target Indicators. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 6, pp. 46–62. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-46-62>.
29. Selin, V. S., Selin, I. V. Tendencies in development of Arctic seaports [*Tendentsii raznitiya arkticheskikh morskikh portov*]. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriadka*, 2018, Iss. 1 (57), pp. 55–66. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35134601>. Last accessed 27.05.2022.
30. Lapin, N. S. Northern Sea Route as an international transport main route [*Severny morsloy put' kak mezhdunarodnaya transportnaya magistral'*]. *Vestnik akademii*, 2020, Iss. 3, pp. 111–126. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44310264>. Last accessed 27.05.2022.
31. Artamonov, B. V. Features of development of strategic models of management [*Osobennosti formirovaniya strategicheskikh modeley upravleniya*]. *Innovations in civil aviation*, 2016, No. 4, pp. 17–22. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28278954>. Last accessed 27.05.2022.
32. Kiselenko, A. N. On the methodology of functioning and forecasting the development of the transport network of the European and Ural Arctic [*O metodologii funktsionirovaniya i prognozirovaniya razvitiya transportnoi seti Evropeiskoi i Priural'skoi Arktiki*]. *Problems of development of transport infrastructure of northern territories, Vol. 4, Collection of articles of IV All-Russian scientific-practical conference, April 23–24, 2021*. Kotlas, Kotlas branch of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2021, pp. 8–14. ISBN 978-5-906619-85-3. ●

Information about the authors:

Kiselenko, Anatoly N., D.Sc. (Eng), D.Sc. (Economics), Professor, Head of the Laboratory of Transport Problems of the Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia, kiselenko@iespn.komisc.ru.

Sundukov, Evgeny Yu., Ph.D. (Economics), Senior Researcher at the Laboratory of Transport Problems of the Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia, translab@iespn.komisc.ru.

Tarabukina, Nadezhda A., Senior Engineer at the Laboratory of Transport Problems of the Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North of the Federal Research Centre «Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences», Syktyvkar, Russia, nadandtar@mail.ru.

Article received 04.05.2022, approved 24.06.2022, accepted 11.07.2022.





Conceptual Foundations of the Synthesis of Safe Train Traffic Control Systems



Dmitry V. EFANOV



Valery V. KHOROSHEV



German V. OSADCHY

*Dmitry V. Efanov*¹⁻³, *Valery V. Khoroshev*¹, *German V. Osadchy*^{4,5}

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² LLC Research and Design Institute for Transport and Construction Safety, St. Petersburg, Russia.

³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.

⁴ LLC STC Complex monitoring systems, St. Petersburg, Russia.

⁵ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.

✉ ¹ TrES-4b@yandex.ru.

ABSTRACT

The article analyses the problem of synthesis of the systems of safe control of critical technological processes on the example of railway automation and remote control systems.

It is shown that modern control systems for complex distributed systems, such as a railway transport system, are not implemented with absolute safety. The safety of such systems is limited by considering only their own failures, external failures of control systems and their components, as well as failures of infrastructure objects that directly interact with control devices. Other infrastructure facilities are not considered in any way during automatic control and data transfer to on-board automation.

Keywords: train traffic control system, railway automation and remote control, train traffic safety, finite-state automaton (finite-state machine), dangerous failure of a railway infrastructure facility, functional safety of the monitoring system.

The objective of the article is to present theoretical concept of the synthesis of safe train traffic control systems, considering the capacity of equipping infrastructure facilities with highly reliable and safe means of technical diagnostics and monitoring.

A shown simplified structure of the central train traffic control centre considers the results of diagnosing and monitoring all the components of the transportation process.

The conditions for the synthesis of completely safe train traffic control systems are formulated along with the accompanying tasks.

A comprehensive accounting of the parameters of railway infrastructure facilities and rolling stock will allow reaching a qualitatively higher level of train traffic safety.

Acknowledgments: this work is a continuation of the research of honoured scientists of the Russian Federation, doctors of engineering sciences, Professors Valery Vladimirovich and Vladimir Vladimirovich Sapozhnikov, who have made a significant contribution to development of the theory of synthesis of self-checking, fault-tolerant, reliable and safe control systems for critical technological processes, including train traffic. We express our gratitude to our teachers and colleagues for the basic ideas and created opportunities for the development of intelligent technologies for the synthesis of safe control systems.

For citation: Efanov, D. V., Khoroshev, V. V., Osadchy, G. V. Conceptual Foundations of the Synthesis of Safe Train Traffic Control Systems. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

A huge number of works of scientists, engineers and researchers are devoted to the issues of synthesis of safe control systems for critical technological processes, including train traffic control in railway transport [1–5]. At the same time, oddly enough, this task remains relevant.

With development of engineering and technology, there emerge the ways to improve safety performance and to consider the functioning and impact of adjacent objects and systems. However, to date, they have owned very limited character being aimed at improving «point» solutions. As an example, one can quote improving reliability and safety of the electrical interlocking system through the use of more reliable components and equipment. This is evidenced by numerous publications in this field, among which we might note the works [6–9].

Improving safety of the train traffic control system can be achieved by implementing more advanced methods of self-diagnosis of the infrastructure complex through the use of external technical means for diagnosing and monitoring. It follows from fundamental works [2; 10] that, for example, in the synthesis of safe systems of railway automation and remote control (RARC), the technical condition of railway infrastructure facilities has still not been fully taken into account. The latter go through the procedure of test and functional diagnostics during operation, but the results there-of are not considered when implementing control algorithms. They are used only to organise procedures for periodic and unscheduled maintenance [11–13]. Moreover, even the automation devices themselves do not fully automatically transmit data on their technical condition to be considered in control processes [14; 15]. This is due, first, to the historically prevalent principles of building control systems in railway transport, to the established institute of standardisation, certification, and to safety evidence, as well as to the lack of techniques to account for data from technical diagnostic and monitoring systems (DMS) for automatic process control.

The task of synthesising a safe control system is solved by eliminating the influence of those events that lead to incorrect implementation of control algorithms and dangerous failures. Such failures not only affect the technological process in the form of its shutdowns, but create conditions

for the occurrence of catastrophic disturbances, resulting in damage, accidents, and crashes. Therefore, in the synthesis of safe control systems, a whole range of measures is used to protect and parry dangerous failures: the use of controllable device structures, the use of self-monitoring, self-checking and fault-tolerant logic circuits, the use of elements with an asymmetric failure characteristic, the use of redundant coding, the introduction of structural, informational and temporal redundancy, implementation of safe interface devices, etc. [1–5; 10; 16–20].

The *objective* of this work is to present theoretical foundations for the synthesis of safe signalling and train traffic control systems on railways. In contrast to previous studies, it is proposed to consider not only safety of functioning of the very means of railway automation and remote control, but also of infrastructure and rolling stock that do not directly interact with them. Such accounting is possible through the use of diagnostic and monitoring systems, which, however, must be implemented according to well-defined principles, be highly reliable, and provide information with a high predetermined reliability [21–23].

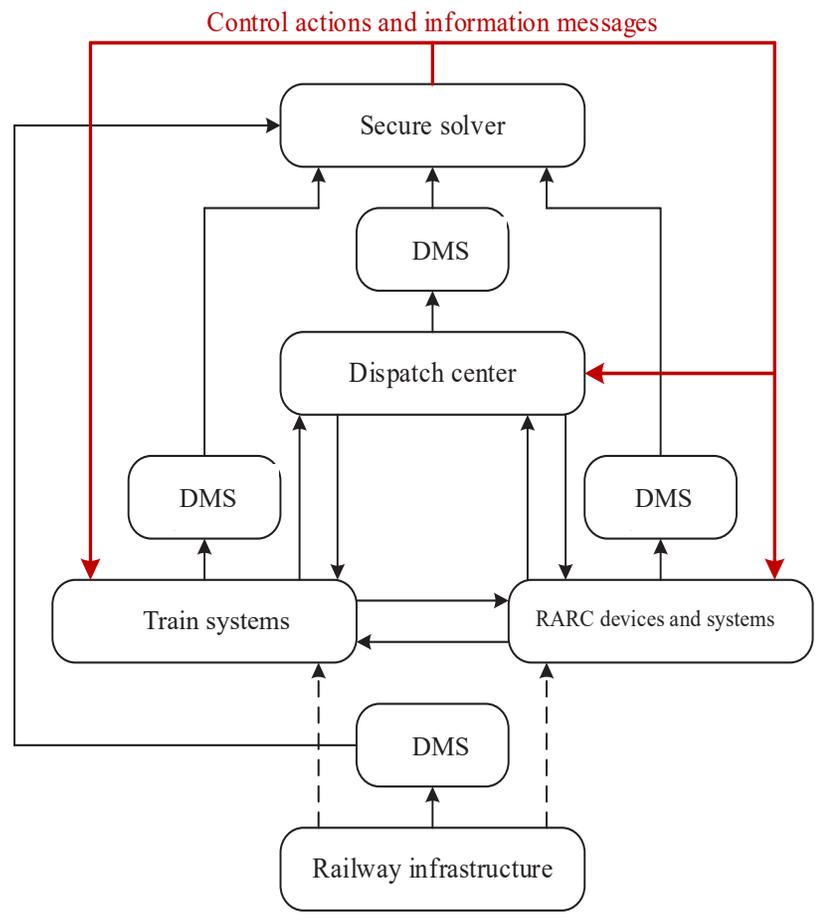
RESULTS

1. Train Traffic Control System Safety

In the modern paradigm of organisation of train traffic, it can be argued that the technical means of ensuring movement of trains are partially separated from each other and for the most part are not directly related [5]. Thus, the RARC system is almost completely separated from catenary facilities, partly separated from the objects of the superstructure of the track and artificial structures, partly separated from the state of the rolling stock. For example, the event of a track geometry defect and track width violation (track buckle), while the integrity of the rail is maintained, will not affect the RARC system in any way: a permissive indication will be lit at the traffic light blocking the entrance to the track section with a track defect. Moreover, it is impossible to give a prohibiting indication in the RARC system even artificially in this case without violating the rules for operating automation equipment.

Thus, the reasoning about safety of devices and systems of the RARC becomes not entirely consistent in terms of safety of the transportation process in the absence of consideration for safety





Pic. 1. Conceptual organisational structure of train traffic control [performed by the authors].

of the entire infrastructure facilities and the rolling stock. Many years of experience in the operation and development of RARC systems, as well as an analysis of the scientific and technical literature in this area have shown that, in fact, when considering the safety of RARC devices, one can speak of a certain property of a *limited safety*. Considered fully is internal safety and external safety is considered partially.

Definition 1. *Internal safety means a property of impossibility of the influence of malfunctions and errors in calculations on the execution of algorithms in terms of excluding the transition to dangerous states.*

Definition 2. *External partial safety means a property of possibility of parrying only those external destabilising factors that can be fixed by the automation object.*

The implementation of the RARC devices and systems in such a paradigm has made it possible to build safe control systems but has not allowed achieving absolute safety of train traffic, since the states of infrastructure and rolling stock are only partially taken into account in the controlling systems.

The technical object of the railway infrastructure and rolling stock is characterised by the following sets:

$$\langle X, Z, A, P, S \rangle, \quad (1)$$

where X is set of inputs;

Z – set of outputs;

A – set of implemented algorithms;

P – set of operating parameters;

S – set of states.

To build a completely safe automation system, it is required to solve the problem of obtaining information about the state of an object involved in the transportation process (or providing it) with a given validity $D \in [0, 1]$. In practice, this value should be normalised and standardised. A safe control system should be implemented through the use of technical means of built-in testing and functional diagnostics. Testing and functional diagnostic procedures should be carried out automatically and at pre-selected and scientifically substantiated control points and with pre-established and substantiated periods, implementing a specific monitoring strategy [21–23].

When solving the problem of diagnosing and monitoring, some subset of each of the above sets $X^* \subset X$, $Z^* \subset Z$, $A^* \subset A$, $P^* \subset P$, $S^* \subset S$ can be controlled. This allows getting a certain subset of correct and incorrect states of each of the

checked objects. For each of these objects, a set of correct states S_g and a set of incorrect states S_f are allocated: $S_f: S = S_g \cup S_f$. Within the set S_f , it is possible to single out those S_r states that are associated with a specific given risk for train traffic control: $S_r \subset S_f$.

Statement. *All S_r states for each technical object must be recorded and transmitted to a single safe decision device to develop the proper reactions for switching to protective states for train traffic control and information messages for traffic participants and operation of objects under diagnostics.*

Thus, separate diagnostic and monitoring systems of infrastructure objects, rolling stock and RARC should generate signals about reaching their S_r states with a given validity D . They either directly (which is technically more difficult) or through a secure platform for analytics and decision making should transmit signals for the transportation process control system to go to the set protective states. Pic. 1 shows the structure of the interaction of railway transport objects.

2. Basic rules for the synthesis of a safe train traffic control system

The safety of the transportation process significantly depends on the safety of functioning of the RARC devices and systems [1–3]. In fact, RARC devices and systems play a role of regulatory technical means for transmitting reliable data to a driver. The traditional way of transmission is the use of traffic lights. Each colour signal indicates a specific action for a driver. The number of such signals is very limited, which also limits the gradations for actions.

In the process of functioning, any RARC device or the entire system can switch between a finite set of predetermined states. In this case, the model of an abstract finite-state automaton (finite-state machine) Z can be used as a mathematical model of RARC objects:

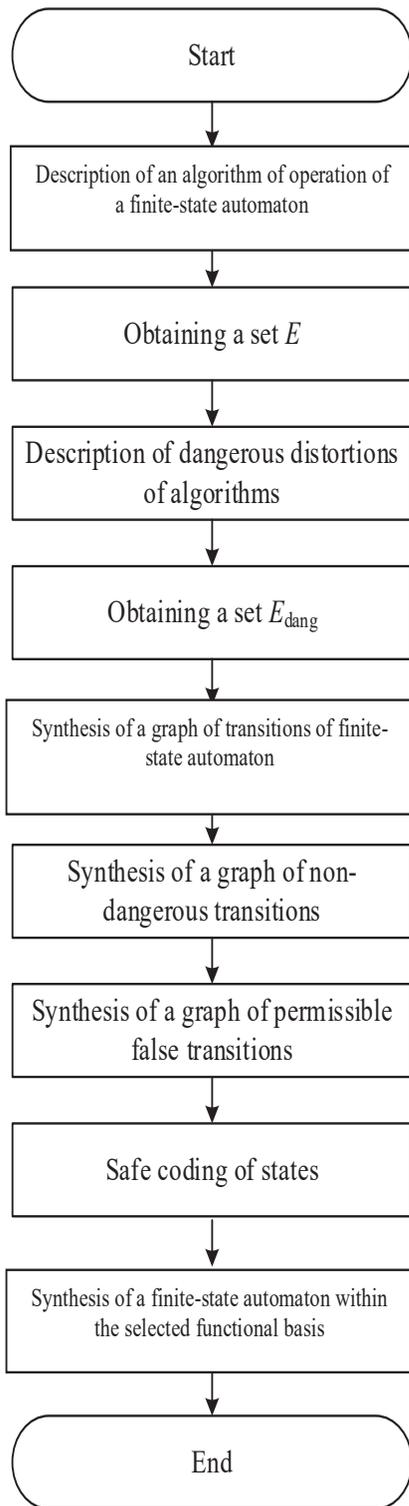
$$Z = \langle X, S, \Omega, s_0, \varphi, \psi \rangle, \quad (2)$$

where X is a set of input states corresponding to Boolean vectors generated at the inputs of the object x_1, x_2, \dots, x_q ;

S – a set of finite-state machine states corresponding to Boolean vectors of internal variables y_1, y_2, \dots, y_r ;

Ω – a set of output states of the finite-state automaton corresponding to Boolean vectors formed at the outputs of the object of internal variables z_1, z_2, \dots, z_p ;





Pic. 2. A simplified algorithm for synthesizing a safe finite-state automaton [performed by the authors].

s_0 – initial state ($s_0 \in S$);

$\varphi: X \times S \rightarrow S$ – transition function that maps the set $X \times S$ to the set S ;

$\psi: X \times S \rightarrow \Omega$ – transition function that maps the set $X \times S$ to the set Ω .

When synthesising secure finite-state automaton, one can use the algebra of regular events [24]. In this case, the finite-state machine is considered as a converter of input words into output ones. An event E for a finite-state automaton is any set of input words. To describe the algorithm of the finite-state automaton, it is required to find an event that includes all allowed words: such words that are represented in the automaton. This is done using three operations: disjunction, product, and iteration of sets of events. If this is done using the three indicated operations, then the event E is regular. It is known [25] that any finite-state automaton is a regular event and vice versa, any regular event can be represented in a finite-state automaton.

Events in a finite-state automaton can implement correct transitions and incorrect ones, including dangerous ones that violate safety of the technological process implemented by the described object. The set of dangerous events will be denoted by E_{dang} .

Failures in the device, which is described by the finite-state automaton under consideration, lead to false transitions of the finite-state automaton: instead of the state S_p , the finite-state automaton goes into the state S_z ($S_i \rightarrow S_z$). In fact, the original finite-state automaton is transformed, and regular events in it are already described by the expression [24]:

$$E_k^* = E_i E_{z(k)}, \quad (3)$$

where E_i – all events (a set of words) that transfer the original finite-state automaton from the initial state to the state S_i ;

$E_{z(k)}$ – all events that transfer the finite-state automaton from state S_i to states representing events E_k , where k is the number of a dangerous event.

Definition 3. A finite-state automaton is safe if it excludes all false transitions associated with implementation of dangerous events, the probability of which must be taken into account.

In [10; 24], the following is defined.

Definition 4. A false transition of a finite-state automaton is called dangerous if, when it occurs, for at least one k , the following condition is satisfied:

$$E_k^* \cap E_{\text{dang}} \neq \emptyset. \quad (4)$$

Definition 5. A false transition of an automaton is called protective if, when it occurs, for all k , the following condition is satisfied:

$$E^*_k \cap E_{dang} = \emptyset. \quad (5)$$

The introduced concept of a dangerous failure formed the basis of [24], where the theorem on the absence of dangerous failures in a finite-state automaton was proved.

Theorem 1. There are no dangerous failures in the operation of a finite-state automaton if and only if for all false transitions $S_i \rightarrow S_j$ and for all false events k the following condition is satisfied:

$$E_{S_i \rightarrow S_j} \cap E_{z(k)} \cap E_{dang} = \emptyset, \quad (6)$$

where $E_{S_i \rightarrow S_j}$ are events corresponding to false transitions of the finite-state automaton from the state S_i to the state S_j .

The conditions introduced based on regular expressions allowed the authors to formulate algorithms for the synthesis of automata that exclude their transitions to dangerous states in case of any failures, the probability of which must be considered. To exclude dangerous failures in a automaton, it is sufficient to prohibit all dangerous false transitions.

A simplified algorithm for synthesising a safe finite-state automaton is shown in Pic. 2. In it, the final stage supposes safe coding of the states of the finite-state automaton considering the graph of non-dangerous false transitions.

It should be emphasised that in this case, the finite-state automaton describing the operation of a certain device or a certain RARC system will be safe from the following positions:

1) From the standpoint of internal safety: failures and malfunctions will not lead to the transition to any of the risk states for train traffic S_R .

2) From the standpoint of external safety: external destabilising factors will not lead to the transition to any of the states of risk for train traffic S_R .

However, in this case, the finite-state automaton will in no way consider S_R states of those infrastructure and rolling stock objects that do not directly interact with this finite-state automaton. It's just not defined in the E_{dang} event sets. Thus, the finite-state automaton will be safe, but it will only be limitedly safe and will not be able to signal the transition to the protective state during one of

the transitions to S_R states of those infrastructure and rolling stock objects that do not directly interact with this finite automaton occurs.

Definition 6. A fully safe finite-state automaton of a train traffic control device or system will be a finite-state machine that is capable of transitioning to a set of protective states upon the occurrence of all given transitions to states with a specified level of risk of violation of train traffic safety for all infrastructure and rolling stock objects.

One more variable $\theta \in \{0,1\}$ should be added to the set of input actions of the finite-state automaton. The variable θ takes the value 1 if the safe solver detects the transition of one of the monitored objects, the state of which is associated with ensuring safety of the transportation process, to one of S_R states. In other cases, it is equal to 0.

In the described logic of the safe solver operation, the concept of a strict ban on movement is implemented: a virtual obstruction signal (red traffic light). In this case, the transition is made to the single safe state already available for the finite-state automaton: $s_{safety} \in S$. The exit from this state is carried out with participation of a human.

However, during practical implementation, not a single signal θ , but a code vector $\langle \theta_1 \theta_2 \dots \theta_i \rangle$ corresponding to one of the protected states with a given gradation, can be introduced into the finite-state automaton. For example, if it is required to transmit information about a decrease in speed of passage through the signalling system, then it is possible to adopt an analogue of three colours: «green», «yellow» and «red» ones. This will require two variables to encode. If it is required to transmit a gradation of speeds with a step of 10 km/h in the range from 0 to 300 km/h, then it will be necessary to transmit 30 protective states and, accordingly, five binary variables must be used.

In the general case, an initial introduction of $t = \lceil \log_2 N \rceil$ (N is the number of protective states) variables for coding will be required. In addition, the conditions for exiting them without human intervention should also be specified. This task requires special study in the future.

Hence follows such a conclusion.

Theorem 2. The finite-state automaton will be safe if:

$$\forall S_R : E_{dang} \supset E_{dang}^j, j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (7)$$



where n – number of diagnostic and monitoring subsystems.

Following (7) and implementing diagnostic and monitoring systems in accordance with the requirements for safe systems, normalising the level of validity of recorded diagnostic events, we can proceed to implementation of transportation process control systems of a new, actually higher, level of safety.

CONCLUSION

Despite the tremendous progress in development of engineering and technology over the past century, control systems in many areas of industry and transport are not implemented in such a way that it can be said that they are completely safe. The limited safety property of control systems is due to various factors. On the one hand, it is due to the human factor, which does not exclude the possibility of introducing errors into the design documentation and errors during the installation of devices and testing during commissioning. On the other hand, it is due to the lack of an integrated approach when considering the process of synthesis of the control system for individual devices or subsystems without full consideration of all interacting objects. This is fully reflected in the example of RARC systems. They are limitedly safe, since they do not transmit to the driver data on permissible speeds for movement considering the state of infrastructure facilities. In this article, the emphasis is on solving this problem and it is proposed to synthesise train traffic control systems with close integration with the means of automatic monitoring of railway infrastructure facilities.

Solving the problem of synthesising a completely safe train traffic control system directly is currently impossible. This is due to the existing set of regulatory documentation, which excludes the use of diagnostic data from external systems directly for controlling. It is required to solve the main subtask: to create a methodology for the synthesis of technical diagnostics and monitoring systems that can be certified at any of the levels of functional safety [26]. Since the task is relatively new, it is advisable to move along the path of evolution of existing, not certified regarding functional safety, external diagnostic and monitoring systems, to systems of a new level of safety (DMS 0 (modern implementation, not certified regarding functional safety) → DMS 1 → ... → DMS 4, according to the number of safety integrity levels SIL 1 ...

SIL 4). This will also require solving the following tasks:

- Identification of criteria of a dangerous failure of diagnostic and monitoring systems.
- Identification of functional requirements for the architecture, components and for the monitoring systems themselves.
- Application of the risk-focused approach to identify and rank diagnostic events according to the degree of impact on train traffic safety.
- Normalisation of validity of recorded events.
- Identification of ways to safely link solvers with control systems (these issues, for example, for RARC devices were considered earlier in [21–23]).

Following the principles of integrated accounting of parameters of railway infrastructure facilities and rolling stock, it is possible to achieve a significant increase (and even a jump!) in the quality of train traffic safety.

REFERENCES

1. Gavzov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, V. V. Methods for ensuring safety of discrete systems [*Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnykh sistem*]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1994, Iss. 8, pp. 3–50. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=3949&option_lang=rus. Last accessed 26.02.2022.
2. Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, V. V., Khristov, Kh. A., Gavzov, D. V. Methods for constructing safe microelectronic systems for railway automatics: Monograph [*Metody postroyeniya bezopasnykh mikroelektronnykh sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki: Monografiya*]. Ed. by V. V. Sapozhnikov. Moscow, Transport publ., 1995, 272 p. ISBN 5-277-01690-2.
3. Lisenkov, V. M. Statistical theory of train traffic safety [*Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poezdov*]. Moscow, VINITI RAS publ., 1999, 331 p. ISBN 5-900242-29-3.
4. Bestemyanov, P. F. Methods for ensuring the safety of hardware of microprocessor-based train control systems. *Elektrotehnika*, 2020, Iss. 9, pp. 2–8. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44000551> [access restricted for subscribers].
5. Railway Signalling and Interlocking: International Compendium. 3rd ed. Eds.: Dr. G. Theeg, Dr. S. Vlasenko. Germany, PMC Media House GmbH, 2020, 560 p. ISBN 978-3-96245-169-1.
6. Joung, Eui-jin; Lee, Changmu; Lee, Hanmin; Kim, Gil-dong. Software Safety Criteria and Application Procedure for the Safety Critical Railway System. 2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 26–30 October 2009, Seoul, Korea (South), pp. 1–4. DOI: 10.1109/TD-ASIA.2009.5356897 [access restricted for subscribers].
7. Markov, D. S., Nasedkin, O. A., Manakov, A. D., Vasilenko, M. N., Kotenko, A. G., Belozherov, V. L. Method for Assessing Probabilistic Reliability Estimation and Safety of Railway Automation Systems Redundant Structures. Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4–7, 2020, pp. 356–361. DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224925 [access restricted for subscribers].

8. Huang, Lujiang. The Past, Present and Future of Railway Interlocking System. IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 11–13 September 2020, pp. 170–174. DOI: 10.1109/ICITE50838.2020.9231438 [access restricted for subscribers].

9. Qian, Jinlong; Guo, Wei; Zhang, Hongtao; Li, Xiaona. Research on Automatic Test Method of Computer-Based Interlocking System. International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE), 3–5 July 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 298–302. DOI: 10.1109/CISCE50729.2020.00066 [access restricted for subscribers].

10. Sapozhnikov, VI. V. Synthesis of train traffic control systems at railway stations with the exception of dangerous failures [Sintez sistem upravleniya dvizheniem poezdov na zheleznodorozhnykh stantsiyakh s isklyucheniem opasnykh otkazov]. Moscow, Nauka publ., 2021, 229 p. ISBN 978-5-02-040877-7.

11. Efanov, D. V. Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices [Funktionalnyy kontrol i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2016, 171 p. ISBN 978-5-7641-0933-6.

12. Fritz, C. Intelligent Point Machines. Signal+Draht, 2018 (110), Iss. 12, pp. 12–16. [Electronic resource]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=469469&lng=en> [access restricted for subscribers].

13. Heidmann, L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance. Signal+Draht, 2018, Iss. 9, pp. 70–75. [Electronic resource]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=325895&lng=en> [access restricted for subscribers].

14. Efanov, D., Lykov, A., Osadchy, G. Testing of relay-contact circuits of railway signalling and interlocking. Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095 [access restricted for subscribers].

15. Wernet, M., Brunokowski, M., Witt, P., Meiwald, T. Digital Tools for Relay Interlocking Diagnostics and Condition Assessment. Signal+Draht, 2019 (111), Iss. 11, pp. 39–45. [Electronic resource]: <https://eurailpressarchiv.de/SingleView.aspx?show=1136153&lng=en> [access restricted for subscribers].

16. Bestemyanov, P. F. Methods for ensuring safety and reliability of microprocessor devices of railway automation and telemechanics [Metody obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti mikroprotssornykh ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki]. Proceedings of the international symposium «Reliability and quality», 2007, Vol. 2, pp. 273–274. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15619177>. Last accessed 26.02.2022.

17. Bochkov, K. A., Sivko, B. V. Selection and determination of the safety function in verification of microprocessor systems of railway automation and telemechanics [Vybor i opredelenie funktsii bezopasnosti pri verifikatsii mikroprotssornykh sistem zheleznodorozhnoi

avtomatiki i telemekhaniki]. Nadezhnost, 2014, Iss. 2 (49), pp. 101–108.

18. Markov, D. S., Nasedkin, O. A. Tool for assessing the probabilistic indicators of reliability and safety of railway automation systems [Instrumentalnoe sredstvo otsenki veroyatnostnykh pokazatelei nadezhnosti i bezopasnosti sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya, 2020, Vol. 17, Iss. 1, pp. 23–34. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-1-23-34.

19. Kovkin, A. N. Relay-semiconductor circuit switching in safe interface units based on electromagnetic relays. Transport Urala, 2020, Iss. 2, pp. 31–35. DOI: 10.20291/1815-9400-2020-2-31-35.

20. Bochkov, K. A., Komnatny, D. V. Ensuring functional and information safety of microelectronic traffic control systems, taking into account new types of threats. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport, 2020, Iss. 2 (41), pp. 4–8. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44780175>. Last accessed 26.02.2022.

21. Efanov, D. V., Osadchy, G. V., Aganov, I. A. Linking control systems with technical means of diagnosis and monitoring the infrastructure facilities. Avtomatika, svyaz, informatika, 2021, Iss. 6, pp. 25–29. DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.004 [access restricted for subscribers].

22. Efanov, D. V., Osadchii, G. V., Aganov, I. A. Barrier function of the monitoring systems in connection with train movement management systems. Transport Rossiiskoi Federatsii, 2021, Iss. 3, pp. 51–56. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46683409> [access restricted for subscribers].

23. Efanov, D., Osadchy, G., Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Cracow, Poland, September 22–25, 2021, Vol. 1, pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985 [access restricted for subscribers].

24. Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, VI. V. On the synthesis of finite automata with the exclusion of dangerous failures [O sinteze konechnykh avtomatov s isklyucheniem opasnykh otkazov]. Avtomatika i telemekhanika, 1972, Iss. 8, pp. 93–99. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrmid=at&paperid=8917&option_lang=rus. Last accessed 26.02.2022.

25. Shannon, C. E., McCarthy, J. Automata Studies. In: Annals of Mathematics Studies, Vol. 34. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1956, 285 p. ISBN 9780691079165.

26. Smith, D. J., Simpson, K. G. L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards. 2nd ed., Simpson, Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK and Burlington, MA, 2004, 263 p. ISBN 978-0750652704.

Information about the authors:

Efanov, Dmitry V., D.Sc. (Eng), Associate Professor, IEEE member, Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communications of Russian University of Transport, Deputy General Director for Research and Scientific Work of LLC Research and Design Institute for Transport and Construction Safety, Professor at Higher School of Transport of the Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Moscow / St. Petersburg, Russia, TRS-4b@yandex.ru.

Khoroshev, Valery V., Ph.D. (Eng), Senior Lecturer at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communications of Russian University of Transport (MILT), Moscow, Russia, hvv91@icloud.com.

Osadchy, German V., Ph.D. (Eng), Deputy General Director – Chief Engineer of LLC STC Complex Monitoring Systems, Senior Lecturer at the Department of Railway Automation and Remote Control of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, osgerman@mail.ru.

Article received 09.02.2022, approved 27.05.2022, accepted 20.06.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-7>World of Transport and Transportation, 2022,
Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 176–186

Assessment of Electric Vehicle Readiness of St. Petersburg Transport Infrastructure



Ekaterina V. KAIZER



Anna S. LEBEDEVA

Ekaterina V. Kaizer ¹,
Anna S. Lebedeva ²

^{1,2} ITMO University, St. Petersburg, Russia.

✉ ¹ semina_e_v@mail.ru.

ABSTRACT

The article presents an assessment of electric vehicle readiness of the transport infrastructure of the city of St. Petersburg. The relevance of the topic is obvious since today there is an active growth in the electric vehicle market, and its further development is on the official agenda of the transport industry. It is noted that the active use of electric vehicles in Russia implies the corresponding development of infrastructure, especially in such large cities as St. Petersburg.

The authors have described core studies on the prerequisites and prospects for development of the electric vehicle market and relevant transport infrastructure. The analysis of various factors for popularisation of electric vehicles allowed to conclude that scientific literature does not contain fully developed methodology for assessing the rate of electric vehicle readiness of the transport infrastructure. The most significant factors influencing the scaling of electric vehicles have been identified and analysed allowing to identify criteria and indicators for assessing the electric vehicle readiness of infrastructure, to determine the weight of each criterion and to carry out an analysis of the current state of the

urban infrastructure. Achieving of the objective of the research which is the assessment of electric vehicle readiness of the transport infrastructure of the city of St. Petersburg, was facilitated by authors' system approach, analysis, integrated and expert assessments.

The methodology for calculating the rate of readiness to use new transport solutions comprises assessment of four components. The analysis of scientific works helped to identify the factors influencing development and popularisation of electric vehicles. It was revealed that the most significant factor determining the pace of dissemination of electric vehicles is the availability of infrastructure. The conclusion is made about the better development in the city of such elements as operation of an electric charging stations (ECS) and an information system. The calculation of final assessment of the transport infrastructure of St. Petersburg is shown in the table. The study has allowed to obtain a general assessment of the electric vehicle readiness of the transport infrastructure, as well as to assess each element of electric vehicle system.

Keywords: electric vehicles, readiness assessment, urban transport, electric charging station, urban transport, information systems, development factors.

For citation: Kaizer, E. V., Lebedeva, A. S. Assessment of Electric Vehicle Readiness of St. Petersburg Transport Infrastructure. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 176–186. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-7>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Currently, there is an active growth in the global and domestic market for electric vehicles.

In 2021, the demand for electric vehicles in Russia increased nine times, the annual volume of new electric cars amounted to 2254 units, the annual volume of the used electric vehicles amounted to 9070 units¹. Further development of the electric vehicle market is on the official agenda of the transport industry. According to the plans of the Russian government, by 2030 every tenth produced car should be powered by an electric motor². On August 23, 2021, the government approved the Concept for development of production and use of electric road vehicles in the Russian Federation for the period up to 2030, which set the task of developing a wide range of vehicles with improved energy efficiency indices, operating on a traction battery with localisation of production in Russia³.

At the same time, the active use of electric vehicles in the Russian Federation implies the corresponding development of infrastructure, both extensive and intensive. The underdevelopment of certain elements of the infrastructure for electric vehicles hinders the growth of the market and the implementation of established strategic goals in this area. In this regard, issues related to infrastructure support for scaling of electric vehicles in the Russian Federation are relevant, especially for such large cities as St. Petersburg, where there is a significant impact of transport on environmental safety.

In Russian scientific literature, there are studies on the prerequisites and prospects for development of the electric vehicle market and transport infrastructure, as well as the on the analysis of various factors for popularisation of electric vehicles. The study by V. B. Moshkov, V. V. Ovchinnikov, D. V. Chernyakov and others, as well as the work of A. N. Afanasyev offered a list of factors influencing development of

electric vehicles and considered prospects and forecasts for development of electric vehicles in Russia [1; 2]. Factors influencing the development of electric transport were also considered in the article by D. I. Demidov and V. V. Pugachev [3]. Some authors also studied issues of infrastructure, having analysed standards of location of electric charging stations (ECS), power sources for ECS, and recycling of used batteries. According to some authors, by 2030 most developed and developing countries will adopt uniform standards and infrastructure requirements for electric vehicles. The expert and analytical report prepared under the editorship of A. I. Borovkov and V. N. Knyaginina states that development of transport infrastructure for electric vehicles should outstrip development of the electric vehicle market [4]. However, some sources consider the charging infrastructure separately.

Thus, the existing studies on this issue mainly examine one or two factors hindering the scaling of electric transport in the Russian Federation. Particular attention is paid to electric charging stations while the infrastructure elements are not considered as the entire system. The scientific literature does not contain methodology for assessing the rate of electric vehicle readiness of transport infrastructure both in the regions and in the whole country.

METHODOLOGY

The *objective* of this study is to assess the electric vehicle readiness of the transport infrastructure of the city of St. Petersburg.

In accordance with the above objective, the following research *methodology* is proposed:

1. To identify and to analyse the most significant factors influencing the scaling of electric vehicles.
2. To determine the criteria and indicators for assessing the electric vehicle readiness of the transport infrastructure.
3. To determine the weight of each criterion for assessing the electric vehicle readiness of the transport infrastructure.
4. To conduct an analysis of the current state of the infrastructure of St. Petersburg and its electric vehicle readiness.
5. To assess the rate of readiness of transport infrastructure elements for scaling electric vehicles.

The research problems were solved with the methods of analysis, synthesis, integral and expert evaluation.

¹ The Russian market for new electric vehicles tripled in 2021 (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/news/50525/>. Last accessed 22.05.2022.

² Development of electromobility: Stage II (in Russian). [Electronic resource]: <https://events.kommersant.ru/events/elektromobilnost/>. Last accessed 22.05.2022.

³ Decree of the Government of the Russian Federation dated August 23, 2021 No. 2290-r «Concept for development of production and use of electric road vehicles in the Russian Federation for the period up to 2030». [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJt.pdf>. Last accessed 22.05.2022.



RESULTS

Analysis of Factors Affecting the Scaling of Electric Vehicles

Modern research on dissemination and popularisation of electric transport applies various approaches to determine the most significant factors affecting the scaling of electric vehicles.

Thus, in a study by T. Yong and C. Park, devoted to a qualitative comparative analysis of factors affecting the introduction of electric vehicles, all factors are divided into three groups: technological factors (autonomy of electric vehicles, charging time, maximum speed, cost), political factors (all types of state support), environmental factors (fuel prices, consumer characteristics, level of infrastructure development) [5].

A similar approach is used in the KMPG study on the level of readiness of countries to use unmanned electric vehicles. In this study, the methodology for calculating the country readiness index regarding adoption of new transport solutions includes an assessment of four components: policy and legislation, technology and innovation, infrastructure, and consumer acceptance⁴.

In the study of S. Stataros [*et al*], the main factor for popularisation of electric vehicles is associated with the economic benefit of consumers [6]. An equally important factor is the promotion of an eco-friendly lifestyle. This is confirmed by the results of VTsIOM survey, which show that 50 % of car owners are ready to switch to an electric car if possible. The respondents named main reasons for their choice that included the environmental friendliness and economy of the operation of electric vehicles, as well as the benefits of using an electric vehicle due to the high cost of gasoline⁵.

There is also an approach that considers GDP per capita and the demographic structure of the population as the most important factors in the spread of electric transport along with the development of infrastructure and state support [7]. A similar opinion is shared by D. Yu. Katalevsky and T. R. Gareev, who note

the cost of an electric car and the development of charging infrastructure as the primary factors for the formation of consumer preference for an electric car over a car with an internal combustion engine (ICE) [8].

The study of V. B. Moshkov, V. V. Ovchinnikov, D. V. Chernyakov and others include into the list of factors influencing the development of the electric car market the state support for development of electric vehicles and of electric vehicle business, the availability of own production of electric vehicles in the country, the development of the infrastructure of electric charging stations and special specific Russian conditions for the operation of electric vehicles [2].

Based on the analysis of scientific works, we can highlight the factors influencing the development and popularisation of electric vehicles:

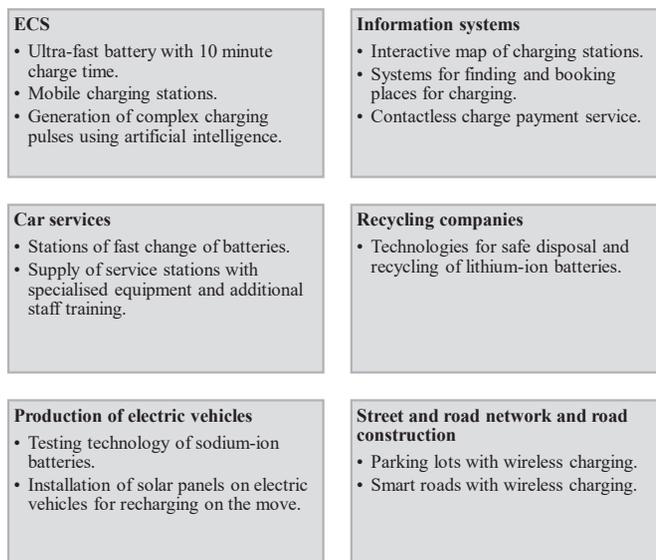
- State support for development of electric vehicles.
- Demand for electric vehicles from the commercial companies.
- Availability of own production of electric vehicles.
- Rate of development of the network of electric charging stations.
- Scientific and technical progress.
- Global trend towards environmental friendliness.
- Transition to the use of distributed electric power industry.
- Features of organisation of transport infrastructure in the region.

The state support, according to many authors, is one of the most important factors influencing the development of electric vehicles [2; 5; 7]. Government support measures include various ways to stimulate demand for electric vehicles, such as subsidies for the purchase of electric vehicles, exemption from value added tax, exemption from vehicle tax, organisation of free parking, permission to use dedicated lanes and free travel on toll roads. Also, state support measures should include support for domestic electric vehicle manufacturers and subsidies for the development of electric charging stations' (ECS) network.

Own electric vehicle manufacturing in the country is an important factor for development of electric vehicles, as well as the trend towards the use of distributed electric power, as electric transport not only consumes energy, but also

⁴ The index of readiness of countries to use autonomous transport. [Electronic resource]: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2018/03/ru-ru-avri-index.pdf>. Last accessed 25.05.2022.

⁵ Battery on wheels: the future of electric vehicle batteries (in Russian). [Electronic resource]: <https://trends.rbc.ru/trends/green/62671a189a7947c85bb26f0f>. Last accessed 02.06.2022.



Pic. 1. Directions of innovative development of infrastructure elements for electric vehicles [compiled by the authors].

accumulates it for further distribution, which helps to smooth out the day and night highs and lows of the energy system.

The demand for electric transport in the commercial sector of economy is driven by both economic benefits and the global trend towards sustainability and reduction of carbon emissions. Over the life cycle, electric vehicles can reduce total CO₂ emissions by 66–69 %⁶

These factors play a significant role in the development and popularisation of electric transport, however, the most significant factor determining the rate of distribution of electric vehicles in the country is the availability of the necessary infrastructure [7]. According to KPMG research, at least a third of potential EV consumers base their purchase decisions on the availability of charging infrastructure⁴.

However, the infrastructure for electric vehicles is not limited to ESC. The transport infrastructure is a result of the activity of all the organisations of the transport sector and that ensure the efficient implementation and maintenance of transportation [5]. The infrastructure for electric vehicles consists of the following elements:

- ECS.
- Car services.
- Information systems.

⁶ Electric cars proved to be more environmentally friendly than traditional ones, taking into account their life cycle (in Russian). [Electronic resource]: <https://nplus1.ru/news/2021/08/04/comparison-of-life-cycle>. Last accessed 22.05.2022.

- Manufacturing of electric vehicles.
- Recycling companies.
- Street and road network and road construction.

At the same time, the large-scale introduction of electric vehicles is influenced not only by quantitative, but also by the qualitative development of all elements through the introduction of innovations. This is confirmed by the fact that the largest growth in EV sales in retrospect has been attributed to inventions that improve the design and performance of EV. For example, since the invention of a new type of the battery in 1986 and the advent of hybrid vehicles combining a conventional internal combustion engine and an electric motor, sales of electric vehicles have more than quintupled. Electric vehicles gained new popularity with the launch of Tesla electric vehicles in 2008, after which many automakers turned their attention to this market segment and started their own production of electric vehicles⁷.

Actual directions of innovative development of the elements of the electric vehicle infrastructure are presented in Pic. 1.

Since most of the identified factors for large-scale introduction of electric vehicles are directly or indirectly related precisely to the availability of infrastructure, to achieve the strategic goals of increasing the share of electric vehicles in the

⁷ Global EV Data Explorer. [Electronic resource]: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>. Last accessed 29.05.2022.



Criteria and indicators for assessing the electric vehicle readiness of transport infrastructure [compiled by the authors]

Infrastructure element	Assessment criterion	Assessment indicator	Target value	Criterion weight
ECS	Availability of ECS	Number of electric cars* per 1 ECS, units	10	0,4
		Number of ECS per 1 million population, units	200	
	Level of localisation of ECS production	Share of Russian-made ECS, %	70 %	0,4
	Structure of ECS network	Ratio of fast and slow ECS	2:3	0,2
Car services	Availability of car services	Number of electric cars per 1 car service, units	30	0,5
	Employees' training	Availability of training programs for maintenance of electric cars	Yes	0,5
Information systems	Information infrastructure	Availability of applications for finding and analysing charging stations	Yes	1
		ICT development index	>0,5	
Production	Organisation of production	Number of organisations-producers of electric cars, units	>1	0,6
		Number of organisations-producers of electric vehicles, units	>1	
		Number of samples ready for production, units	>3	
	Innovation	Level of inventive activity in the region	>3,5	0,4
Recycling	Recycling development rate	Number of organisations implementing recycling technologies, units	>1	1
		Share of batteries intended for recycling, %	90 %	
Street and road construction	Availability of street-and-road network	Availability of dedicated lanes for electric vehicles	Yes	0,3
	State support	Availability of free parking lots for electric vehicles	Yes	0,4
		Availability of preferential travel on toll intercity roads and sections of federal highways	Yes	
	Investments	The share of investments in the development of electric vehicles in the total volume of investments in transport infrastructure, %	5 %	0,3

* The term «electric vehicles» is used in the context of the article to translate Russian term «electric transport» that englobes electric cars, trucks, buses, trams, trolley-buses etc., the term «electric car» is applied when the authors directly use it. – *Transl. note.*

Russian Federation in the total volume of transport vehicles in use, it is necessary, first of all, to analyse the readiness of a region's transport infrastructure to service vehicles of this type.

Methodology for Assessing the Electric Vehicle Readiness of the Transport Infrastructure of a Region

In accordance with the factors influencing the development and popularisation of electric vehicles, we single out the criteria for assessing the electric vehicle readiness of the transport infrastructure: the availability of ECS, the rate of localisation of the production of ECS, the

structure of the ECS network, the availability of electric car services, staff training, information infrastructure, organisation of production, innovation, the quality of development of recycling, accessibility of the road network, state support, investments. The weight of each criterion was determined based on the assessment of six experts: industry experts, as well as researchers and professors of ITMO University, involved in the development of electric vehicles in the Russian Federation.

Assessment indicators and their target values were determined for each criterion, based on the analysis of foreign expertise, the results of

analytical studies and strategic documents (Table 1).

The target value of provision of electric cars with the required number of ECSs is one ECS per ten electric cars. A study on worldwide comparison of transport infrastructure performance for electric vehicles, the average for Asia is one ECS per eight electric vehicles, for Europe – one ECS per 20 electric vehicles, for Japan – one ECS per ten electric vehicles, and for the United States – one ECS per 29 electric vehicles⁸. The concept for development of production and use of electric road vehicles in the Russian Federation until 2030 provides for a target level equal to one ECS per ten electric vehicles³. D. Yu. Katalevsky and T. R. Gareev also consider one ECS per ten electric vehicles to be the optimal indicator [8]. The above study comparing global transport infrastructure performance for electric vehicles highlights the average number of ECSs per 1 million population for Asia is 3900, for Europe 2200, for Japan 150, for the United States 9809.

The target value of the level of localisation of ECS production is 70 % of ECSs made in Russia³. The corresponding level was established in Decree of the Government of the Russian Federation of December 3, 2020 No. 2014 «On the minimum mandatory share of purchases of Russian goods and its achievement by the customer»⁹.

The target value for the ratio of fast and slow ECS is a ratio of 2:3. D. Yu. Katalevsky and T. R. Gareev in their study consider the ratio of 1:4 to be the optimal structure of the ECS network [8], however, in the Concept for development of production and use of electric vehicles, the target level of slow ECS is 60 %³.

The target value of the number of electric cars per car service is 30 electric cars per a single car service. The number of hybrid cars and electric vehicles that applied for service in 2021

amounted to 3500 units¹⁰. At the same time, the total number of cars that applied for service in 2021 amounted to one million cars. The total number of electric cars at the end of 2021 was 10836 units¹¹.

The target value of the level of inventive activity in the region, considering also utility models, is 3,5 [6]. The target recycling rate is 90 %¹². According to the directives of the European Commission, starting from 2015, for end-of life vehicles, with the re-use and recycling shall be increased to a minimum of 85 % by an average weight per vehicle, 5 % may be landfill, and battery recycling should be at least of 50 % of the weight of the battery [9]¹². However, the average recycling efficiency of lithium-ion batteries reached 74,5 % in 2019 and 80,1 % in 2020¹³, so new rules are now being discussed with an increase in the percentage of recycling of various elements and the use of new technologies⁵.

The target value of the share of investments in development of electric vehicles in the total volume of investments in transport infrastructure is 5 %. According to the Transport & Environment report published by the European Federation for Transport and the Environment, in 2020 the share of investment in infrastructure for electric vehicles in the EU attained 1 %. With the current rate of investment in infrastructure for electric vehicles and in road infrastructure, the expected share of investment will increase to 3 % in 2025 and to 5 % in 2030¹⁴.

To obtain a score for each criterion, the actual values of the indicators are correlated with the target values, after which an equal weighting

⁸ How to build an electric vehicle city: deploying charging infrastructure. [Electronic resource]: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-build-an-electric-vehicle-city-deploying-charging-infrastructure?language=en_US. Last accessed 29.05.2022.

⁹ Decree of the Government of the Russian Federation of December 3, 2020 No. 2014 (as amended on May 16, 2022) «On the minimum mandatory share of purchases of Russian goods and its achievement by the customer». [Electronic resource]. Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370114. Last accessed 22.05.2022.

¹⁰ Electric vehicles: pros and cons (in Russian). [Electronic resource]: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ehlektromobili-za-i-protiv>. Last accessed 22.05.2022.

¹¹ Electromobilisation of the country. How will environmentally friendly transport be developed in Russia (in Russian). [Electronic resource]: https://tass.ru/transport/13593109?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru. Last accessed 02.06.2022.

¹² See also, Directive 2000/53/EC of the European Parliament and the Council of 18.09.2002 on end-of life vehicles. [Electronic resource]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0053-20200306&from=EN>. – Ed. note.

¹³ Recycling of lithium-ion batteries (in Russian). [Electronic resource]: <https://rocla.ru/>. Last accessed 29.05.2022.

¹⁴ Transport & Environment. European Federation for Transport and Environment AISBL, 2020. [Electronic resource]: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/01_20202020_20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf. Last accessed 02.06.2022.



approach is used. The assessment of each element of the infrastructure is calculated as a weighted average assessment, considering the importance of the assessment criteria:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

where R – weighted average estimate of the infrastructure element;

A_i – criterion score;

w_i – criterion weight;

n – number of criteria for an element assessment.

To obtain a final assessment of the electric vehicle readiness of the region's transport infrastructure, the scores of each element are summed up, so the final assessment is in the range from 0 to 6.

Assessment of the Electric Vehicle Readiness of the Transport Infrastructure of the City of St. Petersburg

To assess the electric vehicle readiness of the transport infrastructure of St. Petersburg, it is necessary, first, to analyse the current state of its elements in St. Petersburg and in the Russian Federation, and to determine the actual values of the established indicators.

In St. Petersburg, the total number of registered electric cars in 2021 attained 417 units, while 255 electric cars were registered in 2021¹⁵.

There are 83 charging stations in St. Petersburg and Leningrad Region (43 are slow ECSs, 40 are fast ECSs), of which 46 charging stations are operated by PJSC Rosseti Lenenergo (10 are slow ECSs, 36 are fast ECSs), 37 charging stations are installed and operated by other organisations (33 slow ECSs, 4 fast ECSs)¹⁶. As of March 12, 2022, more than ten ECS manufacturers have been certified in Russia, some of which are already operating (FORA ECS – DC, FORA ECS – AC, IECS-SKT, E-prom), but at the moment the rate of localisation in Moscow and St. Petersburg does not exceed 10%¹¹.

There are 30 car services in St. Petersburg that provide repair and maintenance services for hybrid and electric cars. There are also eight

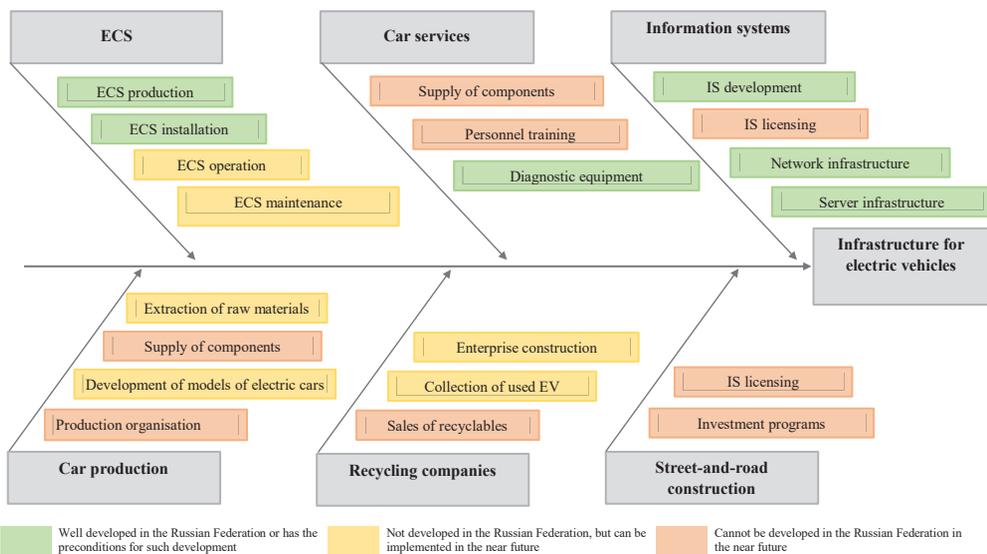
services that carry out post-warranty repair of Tesla cars, 18 services serve Nissan Leaf, 18 services – BMW i3. Training programs for employees providing service maintenance of electric vehicles are taught in colleges and universities («Autoservice» vocational school, Academy of Transport Technologies), centres for professional training and advanced training (EuroAuto Academy) and are also implemented in the form of training courses in engineering centres (SMART engineering scientific and educational centre).

In Russia, domestic information systems can fully meet the demand of manufacturers and consumers of electric vehicles, since there are all the necessary software products on the market, including programs for managing ECS networks, tracking the level of charging of an electric car and searching for a free ECS. On the territory of St. Petersburg, more than 15 applications for finding and analysing charging stations are available for download, for example, Charge Map, PlugShare, NextCharge, Charge and Parking, PlugMe, IT Charge, Zevs. These applications allow not only to find the nearest ECS on the map, but also to pay for charging and reserve a parking lot. The index of development of information and communication technologies (ICT) in 2020 was 0,511, while the level of access to ICT is 0,671, and the level of ICT use is 0,803 [10].

In Russia, there is production of electric vehicles, but there has been no mass production of electric cars. This is due to the lack of domestic production of structural elements and electronics, as well as insufficient extraction of the necessary natural resources. The largest manufacturer of electric vehicles in St. Petersburg is PK Transport Systems LLC (production of [electric trams] 71-911 City-Star, 71-911E, 71-923 Bogatyr, 71-922 Varyag, 71-931 Vityaz, 71-931 M «Vityaz-M»). In the segment of electric cars, a number of projects were implemented to prepare models of electric cars, the most successful of which is creation of KAMA-1 in Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, performed within the framework of the Federal Target Program «Research and development in priority areas of development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020» Research and complex of Russia for 2014–2020»³. This model is in the process of preparation for mass production, the release is scheduled for 2024–2025 [4]. The level of inventive activity in

¹⁵ The Russian market for new electric vehicles tripled in 2021 (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/news/50525>. Last accessed 22.05.2022.

¹⁶ The number of charging stations for electric vehicles in St. Petersburg will increase by 2,5 times (in Russian). [Electronic resource]: <https://spbnevnik.ru/news/2022-02-03/chislo-zaryadnyh-stantsiy-dlya-elektromobiley-v-peterburge--velichitsya-v-25-raza>. Last accessed 29.05.2022.



Pic. 2. Analysis of development of infrastructure elements intended for electric transport in the Russian Federation [compiled by the authors].

2021 was 3,23 and considering also utility models it accounted for 4,79. During the period 2011–2021, 50 solutions related to development of electric vehicles were patented in Russia, which include options for design of charging stations, as well as systems and methods for controlling charging stations and battery charge, as well as remote control and user identification [11].

Electric cars use lithium-ion batteries, on average 95–96 % of each battery is a recyclable raw material that can be reused in production. About a hundred companies are involved in the recycling of lithium-ion batteries in the world¹⁷. But in Russia, recycling is currently underdeveloped, as there are no opportunities for commercially profitable legal disposal of lithium-ion batteries, as well as mechanisms for controlling the disposal of electric cars. At the same time, the recycling market is unattractive for investors due to insufficient demand for electric car's components obtained following the recycling. There have been no recycling organisations in St. Petersburg yet.

Street and road construction implies significant capital expenditures and licensing of foreign technologies, but at the same time there is not enough demand for specialisation of street construction on infrastructure elements for

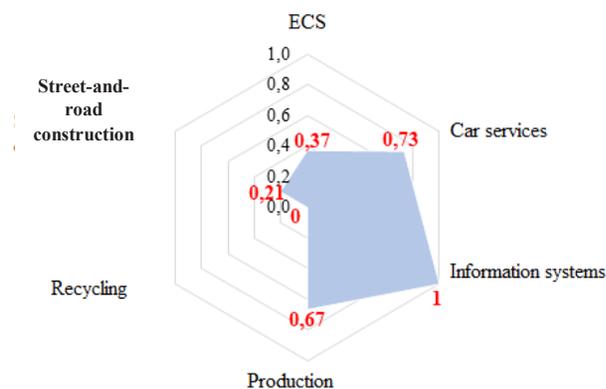
electric vehicles. In St. Petersburg, the owners of electric cars have the possibility of free parking in the toll parking area, it can be used when applying for a parking permit for an electric car. This opportunity has already been used by 349 people¹². At the same time, there is no possibility of driving along a dedicated lane and of preferential travel on toll sections of intracity roads and regional sections of federal highways [2]. However, as part of demand support, a pilot project is planned in 2022 to eliminate fees paid by owners of electric cars on toll roads³. The expected volume of investments in implementation of regional programs for development of transport infrastructure for electric cars in 2020–2023 will be at least 70 million rubles¹⁷.

Pic. 2 shows the current state of the structural elements of the transport infrastructure intended for electric transport. The already sufficiently developed elements are marked, as well as those that have the potential for development, along with the elements that meet significant constraints for development in Russia.

According to Pic. 2, ECS and information systems are the best developed among the elements of infrastructure in Russia, which is due to the availability of relevant technologies and developments in the Russian market. The least developed are street-and-road construction and recycling, as well as car services, due to the lack of sufficient demand for electric cars from buyers.

¹⁷ China is doing Li-Ion recycling business, why not others? [Electronic resource]: https://neovolt.ru/blog/1045_pererabotka-li-ion-akkumulyatorov-v-kitae. Last accessed 22.05.2022.





Pic. 3. Assessment of the electric vehicle readiness of the elements of the transport infrastructure of St. Petersburg [compiled by the authors].



Photo: gov.spb.ru

However, an increase in the fleet of electric cars up to 1,4 million units by 2030³ should include modernisation and adaptation of the transport infrastructure to the increased volume of electric cars. To do this, it is important to quantify the rate of electric vehicle readiness of the transport infrastructure for specific regions, in this case, for the city of St. Petersburg.

The calculation of the final assessment of the rate of readiness of the transport infrastructure of St. Petersburg, according to the proposed methodology, is presented in Table 2.

The final assessment of the rate of electric vehicle readiness of infrastructure elements is shown in Pic. 3.

According to the results of the analysis, a high level of readiness is observed for such elements as «Information systems», «Car

services», «Production», a low level of readiness is characteristic of «ECS», «Street-and-road construction», «Recycling». The final assessment of the electric vehicle readiness rate of infrastructure was 2,98 or 49,67 % of the maximum assessment, which indicates the average level of electric vehicle readiness of infrastructure and the need to implement comprehensive measures to improve it.

CONCLUSIONS

The analysis resulted in a general assessment of the readiness of the transport infrastructure for large-scale adoption of electric vehicles, as well as in scores for each element of the infrastructure.

Successful large-scale development of dedicated transport infrastructure requires attracting more investment in areas that receive

Table 2

**Calculation of the final assessment of the readiness of the transport infrastructure
[compiled by the authors]**

Infrastructure element	Assessment criterion	Assessment indicator	Target value	Fact	Integral assessment of the criterion	Criterion weight	Element assessment
ECS	Availability of ECS	Number of electric cars per 1 ECS, units	10	5	0,288	0,4	0,37
		Number of ECS per 1 million population, units	200	15			
	Level of localisation of ECS production	Share of Russian-made ECS, %	70 %	10 %	0,143	0,4	
	Structure of ECS network	Ratio of fast and low ECS	0,67	0,93	1	0,2	
Car services	Availability of car services	Number of electric cars per 1 car service, units	30	14	0,467	0,5	0,73
	Employees' training	Availability of training programs for maintenance of electric cars	1	1	1	0,5	
Information systems	Information infrastructure	Availability of applications for search and analysis of charging stations	1	1	1	1	1
		ICT development index	0,5	0,51			
Production	Organisation of production	Number of organisations-manufacturers of electric vehicles, units	1	3	0,444	0,6	0,67
		Number of organisations-manufacturers of electric cars, units	1	0			
		Number of samples ready for production, pcs.	3	1			
	Innovations	The level of inventive activity of the region	3,5	4,79	1	0,4	
Recycling	Level of recycling development	Number of organisations implementing recycling technologies, units	1	0	0	1	0
		Share of batteries intended for recycling, %	90 %	0 %			
Street-road construction	Availability of street-and-road network	Availability of dedicated lanes for electric vehicles	1	0	0	0,3	0,21
	State support	Availability of free parking for electric vehicles	1	1	0,5	0,4	
		Availability of preferential travel on toll intercity roads and sections of federal highways	1	0			
	Investments	Share of investments in the development of electric vehicles in the total volume of investments in transport infrastructure, %	5 %	0,09 %	0,018	0,3	
Total score							2,98



the lowest scores. The insufficient number of ECS today is the most important deterrent to the spread of electric cars, therefore, it is necessary to work on their increase using the following tools: partnership with business, gas station operators and regional energy operators to install private ECS, participation in the second phase of implementation of the government project, carried out within the framework of concepts for the development of production and use of electric vehicles in the Russian Federation until 2030, information and administrative support for Russian manufacturers of ECS, assistance in concluding tripartite contracts between regional authorities, business and Russian manufacturers of ECS.

Promoting an increase in the level of ECS localisation and an increase in the number of ECS should be accompanied by organisation of production of electric motors, batteries, as well as implementation of a project for safe disposal of batteries to achieve the target level of recycling. It is necessary to scale the existing experience of Russian companies with involvement of modern scientific developments.

For successful development of the street-and-road network, foreign practices can be used as an example of implementation of large-scale infrastructure projects (for example, the provision with ECS of all high-speed highways).

The developed methodology can be used to assess the level of electric vehicle readiness of the transport infrastructure both in the regions and regarding the entire country.

REFERENCES

- Afanasiev, A. N., Sazonov, M. V. Prospects for development of electric transport [*Perspektivy razvitiya elektrotransporta*]. *Symbol of science: international scientific journal*, 2020, Iss. 12 (1), pp. 29–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44389628>. Last accessed 22.05.2022.
- Moshkov, V. B., Ovchinnikov, V. V., Barannik, A. Yu., Chernyakov, D. V. [et al.]. Prerequisites and trends in electric vehicle development. *Civil Security Technologies*, 2021, Vol. 18, Iss. 2 (68), pp. 14–19. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46170329>. Last accessed 22.05.2022.
- Demidov, D. I., Pugachev, V. V. Forecast of global development of electric transport and infrastructure of electric filling stations. *Bulletin of Orenburg State Agrarian University*, 2019, pp. 173–178. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41288910>. Last accessed 22.05.2022.
- Sanatov, D. V., Abakumov, A. M., Aidemirov, A. Yu., Borovkov, A. I. [et al.]. Prospects for development of the market for electric transport and charging infrastructure in Russia: an expert-analytical report [*Perspektivy razvitiya rynka elektrotransporta i zaryadnoi infrastruktury v Rossii: ekspertno-analiticheskiy doklad*]. Ed. by A. I. Borovkov, V. N. Knyaginina. St. Petersburg, Polytech-Press publ., 2021, 44 p. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46443315>. Last accessed 22.05.2022.
- Yong, Taeseok; Park, Chankook. A qualitative comparative analysis on factors affecting the deployment of electric vehicles. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 497–503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.066>.
- Statharas, S., Moysoglou, Ya., Siskos, P., Zazias, G., Capros, P. Factors Influencing Electric Vehicle Penetration in the EU by 2030: A Model-Based Policy Assessment. *Energies*, 2019, Vol. 12, pp. 2739. DOI: 10.3390/en12142739.
- Campisi, T., Ticali, D., Ignaccolo, M., Tesoriere, G., Inturri, G., Torrisi, V. Factors influencing the implementation and deployment of e-vehicles in small cities: a preliminary two-dimensional statistical study on user acceptance. *Transportation Research Procedia*, 2022, Vol. 62, pp. 333–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.042>.
- Katalevsky, D. Yu., Gareev, T. R. Simulation modelling for predicting the development of automotive electric transport at the regional level [*Limitatsionnoe modelirovanie dlya prognozirovaniya razvitiya avtomobilnogo elektrotransporta na urovne regionala*]. *Baltiyskiy region*, 2020, Vol. 12, Iss. 2, pp. 118–139. DOI: 10.5922/2079-8555-2020-2-8.
- Kormishkina, L. A., Kormishkin, E. D., Koroleva, L. P., Koloskov, D. A. Resource recycling in modern Russia: necessity, problems and development prospects [*Rettsikling resursov v sovremennoi Rossii: neobkhodimost, problemy i perspektivy razvitiya*]. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, 2018, Vol. 11, Iss. 5, pp. 155–170. DOI: 10.15838/esc.2018.5.59.10.
- Kasimova, T. M., Magomedova, S. R., Rabadanova, M. G. Assessment of the level of development of information and communication technologies and its impact on the regional economy [*Otsenka urovnya razvitiya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologii i ego vliyaniya na regionalnuyu ekonomiku*]. *Fundamental Research*, 2021, Iss. 5, pp. 13–18. [Electronic resource]: <https://fundamental-research.ru/article/view?id=43032>. Last accessed 01.06.2022.
- Protsenko, N. V., Malozemov, B. V., Dmitrieva, Yu. V., Kuznetsov, S. A. The need to identify and patent promising solutions in the field of electric transport [*Neobkhodimost vyyaleniya i patentovaniya perspektivnykh reshenii v oblasti elektricheskogo transporta*]. *Reports of the Academy of Sciences of Higher Education of the Russian Federation*, 2021, Iss. 4 (53), pp. 36–48. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-4-36-48. ●

Information about the authors:

Kaizer, Ekaterina V., Master student at the Faculty of Technology Management and Innovations of ITMO University (National Research University), St. Petersburg, Russia, semina_e_v@mail.ru.

Lebedeva, Anna S., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Faculty of Technology Management and Innovations of ITMO University (National Research University), St. Petersburg, Russia, aslebedeva@itmo.ru.

Article received 24.06.2022, approved 08.07.2022, accepted 12.07.2022.



Diagnostics of Subsystems of Material and Equipment Supply Chain: Delivery by Rail in Orenburg Region



Evgenia A. TARASENKO



Vladimir N. ELISEEV

*Evgenia A. Tarasenko*¹, *Vladimir N. Eliseev*²

¹ Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.

^{1,2} Orenburg Railway Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia.

✉ ¹ t_e_a_t@mail.ru.

ABSTRACT

The process of supply of enterprises with material and equipment is one of the most important conditions for uninterrupted and productive performance of economic entities. Therefore, it is important to pay attention not only to the number of transactions and purchases, and rational use of those resources but also to the time of delivery to enterprises, to the travel time. Delay in supply of necessary resources may cause reduction in production efficiency that further will result in losses for enterprises. This topic is relevant not only for individual business structures and

organisations, or all over the national transport system, but from the regional aspect as well.

The article using an example of Orenburg region considers not only general issues of development of regional transport and logistics system but also the features of rail transportation.

The proposed classification of subsystems of supply chain management based on core activity indicators supposes further in-depth diagnostics to reveal the causes of occurrence of signs of inefficiency in rail transportation and their prompt elimination.

Keywords: transport, transportation, supply chains, staff, infrastructure, cargo owners, diagnostics, regional transport and logistics system.

Financial support: the article was prepared as part of the research activity plan of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2021–2023.

For citation: Tarasenko, E. A., Eliseev, V. N. Diagnostics of Subsystems of Material and Equipment Supply Chain: Delivery by Rail in Orenburg Region. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 187–192. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-8>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Railway transport is deservedly popular all over the world not only among cargo owners and consignees, but also among passengers (see, e.g.: [1; 2]).

Therewith, in the modern world, in the framework of market relations, since the activity of business enterprises is aimed not so much at satisfying the value of consumers as at obtaining their own benefit, and regardless the great dependence of revenues on satisfying the demand of consumers, the risk that managers once will make decisions that can lead to a decrease in the quality of the transportation services provided can't be entirely eliminated.

This is a reason for the emergence of a problem of formation and development of supply chain management systems that use diagnostics of all its components concerning participants in the transportation process.

The solution of this problem requires careful preparation, collection of a huge number of documents and data. Sometimes this is quite difficult since the participants in the supply chain are economic entities of different legal and organisational status and the accessible data format and volume differ.

In the process of preparing the article, the authors set an *objective* to reveal the main causes of failure and delays in supply of material and technical resources, and also suggested a developed model of subsystems of transportation process management, allowing further diagnosing of all supply chain participants and levels.

RESEARCH METHODS

The main *methods* of research on the problems of railway transportation in Orenburg region comprised collection of data on

quantitative and qualitative indicators of the work of this area and a comparative analysis of activity of various modes of transport to determine the position of railway transportation in the transport services market. A performed SWOT analysis of the features of Orenburg region referring to transport and logistics was intended to determine how they can influence the transportation activity by rail.

RESULTS

To identify the strengths and weaknesses of features of Orenburg region referring to transport and logistics, namely to rail transport, as well as to identify opportunities and threats, the authors conducted a SWOT analysis (Table 1).

Orenburg region has quite favourable conditions for transportation activities, including for the activities of railway transport.

The draft Development Strategy of the Orenburg Region for the period up to 2030 submitted for public discussion in June 2022 notes that the region is «one of the Russian regions most integrated with partners in Kazakhstan, including along technological chains». The draft emphasised the location of the region at the intersection of two major transport corridors: «Europe–Western China» and «North–South». In addition, it is crossed by the shortest route through Central Asia to Iran and further to India and the Persian Gulf countries. This is a prerequisite for the implementation of the transit potential of the region¹.

As far as rail transportation is concerned, since Orenburg region borders on Kazakhstan,

¹ Development Strategy of the Orenburg Region for the period up to 2030. Draft [Electronic resource]: https://www.economy.gov.ru/material/file/6a52661b0123d0507aef907cece7d894/proekt_strategii.pdf. Last accessed 06.07.2022.

Table 1
SWOT analysis of the core features of Orenburg region influencing the development of rail transportation [developed by the authors]

Strengths	Weaknesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Favourable geographical location in proximity to the Republic of Kazakhstan. 2. Sufficiently developed agro-industrial complex. 3. Developed transport infrastructure, availability of access roads. 4. A large number of industrial enterprises. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Insufficient development of human resources. 2. Lack of a logistics distribution centres and warehouses in Orenburg region. 3. Insufficient financing of the region. 4. Features of climatic conditions.
Opportunities	Threats
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cooperation with the Republic of Kazakhstan and the PRC. 2. Extraction of minerals and their sale to other regions. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Threat of air pollution related to industrial activity. 2. The outflow of the population due to lack of employment. 3. Depletion of water resources.



and also has possibilities to organise transportation to China, it can be supposed that rail transportation is promising to provide transportation support for cooperation with these countries if the purchase of some resources is made there: e.g., of cheaper fuel from Kazakhstan, of a variety of consumer goods, e.g., stationery and office equipment, etc.

The presence of large industrial enterprises involves possible provision of other cities by rail with various types of resources: coal, coke, iron and manganese ore, ferrous metals. It is necessary to take into account that according to draft region development strategy the region manufactures almost 100 % of liquefied helium, odorant and electrolytic chromium in the country. Besides, the region has immense capacity to extend non-energy sector of the regional economy¹.

The features of the agro-industrial complex of Orenburg region make it possible to provide the need for transportation all the year round, there is «year-per-year growth of exportations of agricultural products abroad»¹. At the same time, regional transportation is influenced by seasonal fluctuations. E.g., the delivery of seasonal harvest of watermelons from Sol-Iletsk increases volume of regional transportation, according to the

Statistical Yearbook of Orenburg Region (2021), by 2 %².

At the same time, currently there is no single transport and logistics system efficiently operating within the territory of Orenburg region supposing the presence of logistics centre instead of several small enterprises providing logistics services.

The state program of Development of transport system in Orenburg region notes that «regardless favourable trends for development of modes of transport, transport system does not fully meet existing needs and prospects for development of the region»³. The reasons noted comprise unbalanced and uncoordinated development of some modes of transport and transport infrastructure.

So, the relevant task is to develop transport system, interregional logistics cluster. This

² Statistical Yearbook of Orenburg Region. 2021: Stat. coll. / Orenburgstat. Orenburg, 2021, 516 p. [Electronic resource]: https://orenstat.gks.ru/storage/document/document_statistic_collection/2021-12/30/Ежегодник_2021.pdf. Last accessed 06.07.2022.

³ Decree of the Government of Orenburg region dated 29.12.2018 No. 916-pp on the adoption of the state program «development of transport system of Orenburg region» (as amended and supplemented). [Electronic resource]: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=153108768&backlink=1&&nd=153123737>. Last accessed 06.07.2022.



Parameters of supply chain management subsystems in railway transport [newly developed by the authors based on [3, pp. 140–141]]

Type of sustainability	Clients	Business processes	Finance	Personnel
Economic	- volume of transportation; - number of services provided; - the number of clients; - level of logistics service	- implementation of the transportation plan; - availability of warehouses and access roads - speed of fulfilment of orders for transportation	- profit from transportation; - marginal profit; - level of receivables	- number of employees; - mean wages; - labour productivity
Environmental	- compliance of services with environmental standards; - number of delays in delivery	- environmentally harmful substances emission; - the impact of noise, vibration, radiation; - the state of sanitation in the workplace	- environmental protection costs; - payment for cases of incapacity of personnel for environmental reasons; - fines and payments for non-compliance with environmental protection requirements	- compliance with labour safety requirements; - number of cases of occupational diseases; - availability of personal protective devices; - training in behaviour in emergency situations
Social	- number of loyal clients; - number of new clients; - share of clients leaving; - trust level	- number of suppliers and intermediaries; - errors in order picking; - losses due to poor management; - smart use of human capacity	- the amount of social payments; - losses from downtime and overtime work; - hiring, dismissal and training costs	- psychological climate; - number of labour accidents; - the state of labour discipline; - staff turnover

opportunity is highlighted among key opportunities in the draft regional development strategy. It foresees, namely, that the construction of a new road infrastructure in the framework of New Silk Road project will allow to create an important multimodal hub in the region. For this, it is necessary to continuously eliminate key «bottlenecks» in regional road network and to improve the infrastructure of border checkpoints. It will facilitate the creation of conditions for «redistribution of cargo flows in favour of the region, attracting of freight transportation and freight carriers into the region»¹.

Development of single transport and logistics system will contribute to further growth in attractiveness of Orenburg region in the national market, positioning it as «large trade, educational, cultural, administrative and business centre» [3]. Besides, transport and logistics system can potentially become a key sector of regional economy and will allow the region to act an important transport hub at the intersection of transport corridors «Europe–Western China» and «North–South»¹.

It is necessary to account for some other factors also.

Namely, the regional transport system is influenced by «continuing outflow of population,

particularly from the eastern part of the region»¹ followed by losing of key competences in different sectors and increased load on «maintenance costs for social and transport infrastructure»¹.

The risks in the sphere of staffing of railways relate to probability of lack of employees with required qualifications and to recruitment of young employees [3, pp. 115–116].

The decrease in the time of rail delivery of material and technical equipment is most influenced by general time of transporting that includes the idle time of cars and locomotives at stations for loading and unloading, repair, shunting and maintenance operations.

One of the main problems of transport infrastructure is associated with high degree of wear of main productive assets. Referring, e.g., to road transport in Orenburg region, the wear of «some groups [of assets] attain 50–80 %» that influences throughput capacity of roads and demands continuous investment on repair and modernisation works³ [4]. The problems of wear, including of rolling stock, are to different extent inherent also to some rail enterprises of Orenburg region. The important issues also comprise current maintenance of infrastructure and rolling stock

• World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 187–192

(see, e.g.: [5]), and keeping them in good state of operability

It is also extremely important to pay constant attention to improving safety of railway crossings, since the non-respect of the rules implies risks of interruption of rail traffic.

It is also necessary to highlight a topical factor. Transport and logistics system requires the fastest introduction of digital technology. It is important for regional development¹, entire transport industry⁴ and rail transport⁵, nationwide as well as at regional level.

The above allows drawing a conclusion that optimisation of the existing supply chain management system should consider the totality of mentioned factors.

Some other factors also merit attention as those determining the efficiency of supply. They englobe issues of cargo safety, including legal aspect there-of (e.g.: [7–9]), combined transport (e.g.: [10]), tariffication and pricing (e.g.: [11]).

Recommendations on Improving Rail Transportation

Most important are suggestions referring to rail transportation since rail transport of Orenburg region is among the top regions in Volga federal district per rates of loading and fright turnover, is on the list of top-10 of largest regional structures, and the share of goods transported by rail constitutes 67 % in general volume of cargo transported in the region, and 95,3 % in regional cargo turnover⁶.

See the results of the studies, it can be assumed that risks of negative impact on railway transportation are predetermined by several factors that may hinder development of transportation activities and continuous functioning of supply chains due to insufficient sustainability. This assumption is based on series of authors' research, referring to classification of the objects of supply chain management, integrated resource flows, classification of

processes accompanying separate flows and their sustainability [12], management of logistics processes [13], management of supply chains at the level of territorial entities of railways [3; 14], other researchers' works in the field of supply chain management (e.g.: [15]).

The issues of efficiency of the entire supply chains without focusing on the transport links are developed by the foreign companies specialised in that field⁷; many researchers consider issues of organisation and optimisation of supply chains regarding selected industrial sectors or enterprises as well as in the context of management there-of; works (e.g.: [16]) are dedicated to selected functional aspects of diagnostics, namely, to application of IT-technology.

Based on this, it seems appropriate to suggest a system of indicators for further detailed diagnosing supply chains in railway transport based on the sustainability criterion by economic, social and environmental types within «Clients», «Business processes», «Finance», «Personnel» subsystems.

Table 2 shows possible problems in each of the identified subsystems of supply chains, which allows further diagnostics of them to detect «bottlenecks» and promptly eliminate those that cause problems in the supply of material and technical resources by rail in Orenburg region [3].

Diagnostics could result in identification of critical deviations of the parameters of logistics systems, which if there is insufficient quality of concentration and distribution as activities of the logistics system, and under the influence of external and internal environmental factors may have an impact on transportation services provided by rail transport in Orenburg region, increasing time and reducing quality of delivery.

CONCLUSIONS

The research has resulted in identification of factors affecting the activities of railway transport, including timeliness of cargo deliveries. Diagnostics of supply chain subsystems being implemented based on the array of the required data, it will allow executives of a rail company, in the considered case of Russian Railways, to promptly eliminate emerging problems.

The supply chain management is the most important task for the management of transport

⁴ Transport Strategy of the Russian Federation till 2030 with a forecast for the period up to 2035. Approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated 27.11.2021 No. 3363-r. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>. Last accessed 06.07.2022.

⁵ The board of directors of the JSC Russian Railways has approved the strategy of digital transformation. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=184629>. Last accessed 06.07.2022.

⁶ The website of the Government of Orenburg region. Transport. [Electronic resource]: <https://orenburg-gov.ru/activity/1651/>. Last accessed 06.07.2022.

⁷ E.g.: Supply chain diagnostic: improving processes. [Electronic resource]: <https://www.mecalux.com/blog/supply-chain-diagnostic>. Last accessed 06.07.2022.



and logistics companies, since insufficiently efficient supply chain management may cause loss of active customers, intermediaries, suppliers, lost profits, growing employee turnover, etc., which in turn will lead to loss of beneficial cooperation and will consequently inevitably cause decrease in profit of the enterprises that position rail transportation as main activity.

Hence, to reveal the causes of emergence of signs of inefficiency in rail transportation in the most accurate way, it is necessary to develop the detailed parameters of all the subsystems of supply chain followed by further diagnosing of each of the parameters.

Once relevantly adapted, the suggested matrix approach to diagnostics of the supply chain management subsystems, in the authors' opinion, may be scaled up to Russian Railways (in case of rail transport), and the companies of other modes of transport at regional, as well as at the national level. Further research on the issue will contribute to create best conditions for the implementation.

REFERENCES

1. Golikova, Yu. A. Problems and prospects of railway transport in Russia. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologii*, 2015, Iss. 3, pp. 32–37. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25032318>. Last accessed 06.07.2022.
2. Smirnov, S. A., Smirnova, O. Yu. Evaluation of effectiveness of different transport modes for regular mass freight transportation. *Transportnie sistemy i tekhnologii*, 2017, Vol. 3, Iss. 4, pp. 204–220. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32237359>. Last accessed 06.07.2022.
3. Tarasenko, E. A. Development of the supply chain management system within the territorial direction of a railway. Doctoral theses (Economics). Moscow, 2022, 208 p. [Electronic resource]: https://science.usue.ru/images/docs/down/tarasenko/disser_Tarasenko.pdf. Last accessed 06.07.2022.
4. Bobrova, V. V., Barezhnaya, L. Yu. Directions of improving transport infrastructure of Orenburg region [*Napravleniya sovershenstvovaniya transportnoy infrastruktury Orenburgskoy oblasti*]. *Azimitur nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*, 2019, Vol. 8, No. 1 (26), pp. 93–96. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37206050>. Last accessed 06.07.2022.
5. Bulatov, A. A., Andronchev, I. K., Zhelezov, D. V., Tyapukhin, A. P. A combined approach to assessing the technical content of electrical equipment of traction rolling stock. *Elektrotehnika*, 2017, Iss. 3, pp. 45–50. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28370769>. Last accessed 06.07.2022.
6. Eliseev, V. N. Aspects of the use of digital technologies in the activities of JSC Russian Railways [*Aspekty primeneniya tsifrovyykh tekhnologii v deyatelnosti OAO «RZD»*]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2021, Iss. 1, pp. 285–286. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47850181_54525887.pdf. Last accessed 06.07.2022.
7. Korotaev, A. N., Novikov, E. F. On the issue of preventing the theft of goods from the rolling stock of railway transport [*K voprosu o preduprezhdenii krazh gruzov s podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta*]. *Actual problems of state and legal development of Russia*. Chita, Transbaikalian State University, 2020, pp. 218–222. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44005276>. Last accessed 06.07.2022.
8. Shmakova, A. S. Features of responsibility of participants under the contract for transportation of goods by rail [*Osobennosti otvetstvennosti uchastnikov po dogovoru perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom*]. *Uralskiy zhurnal pravovykh issledovaniy*, 2020, Iss. 2 (9), pp. 80–103. DOI: 10.34076/2658-512X-2020-2-80-103.
9. Arustyamyanyan, S. M. Cargo transportation by rail [*Perevozki gruzov na zheleznodorozhnom transporte*]. *Actual problems of law: Collection of scientific works*. Moscow, MGIU publ., 2009, Iss. 9, pp. 146–176.
10. Kolik, A. V. Combined railway transportation in supply chains [*Kombinirovannye zheleznodorozhno-avtomobilnye perevozki v tsepyakh postavok*]. Moscow, LLC Tekhpolygon, 2018, 302 p. ISBN 978-5-94385-143-8.
11. Zhitnev, P. Yu. Assessment of existing approaches to railway pricing. *StudNet*, 2020, Vol. 3, Iss. 10, P. 70.
12. Tarasenko, E. A. Classification of Objects of Supply Chain Management to Ensure their Sustainability. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 2 (93), pp. 50–56. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-2-7.
13. Tarasenko, E. A., Karkh, D. A., Tyapukhin, A. P. Management of logistics systems: Monograph [*Upravlenie logisticheskimi sistemami: Monografiya*]. Moscow, Rusayns publ., 2021, 156 p. ISBN 9785436579191.
14. Karkh, D. A., Abbazova, V. N., Tarasenko, E. A. Methodological tools for diagnosing the supply chain management system in railway subdivisions [*Metodicheskiy instrumentariy diagnostiki sistemy upravleniya tsepyami postavok v podrazdeleniyakh zheleznoi dorogi*]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2022, Vol. 16, Iss. 2, pp. 150–164. DOI: 10.14529/em220215.
15. Tyapukhin, A. P., Matveeva, O. B., Tasmaganbetov, A. B. Distinctive features of the logistics approach to managing information flows. *Journal of the Ural State University of Economics*, 2019, Vol. 20, No. 1, pp. 112–130. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-8.
16. Naim, M., Childerhouse, P., Disney, St., Towill, D. R. A supply chain diagnostic methodology: Determining the vector of change. *Computers & Industrial Engineering*, 2002, Iss. 43, pp. 135–157. DOI: 10.1016/S0360-8352(02)00072-4. ●

Information about the authors:

Tarasenko, Evgenia A., Ph.D. (Economics), Lecturer at the Department of Logistics and Transport Technology of Orenburg Railway Institute, branch of Samara State Transport University; Researcher at Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, t_e_a_t@mail.ru.

Eliseev, Vladimir N., Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor at the Department of Logistics and Transport Technology of Orenburg Railway Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia, evsei86@mail.ru.

Article received 06.06.2022, updated 06.07.2022, approved 07.07.2022, accepted 11.07.2022.



Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing Wi-Fi Data in Moscow Transport Hub. Part 1



Nikolai Yu. Alekseev
Sitronics Group, Moscow, Russia.
✉ alekseev-trn@mail.ru.

Nikolai Yu. ALEKSEEV

ABSTRACT

In modern, rapidly developing cities of the world, building an urban transport model requires traffic data. The lack of those data does not allow making timely management decisions on distribution of passenger flows, namely within transport flows.

Currently, there are various methods and systems for counting passenger flows, such as the manual staff counts, survey and counted ticketed entries methods, and various automated technology-based systems. However, those well-known methods have their drawbacks.

For this reason, the task to search for alternative methods and data sources for the study of passenger flows remains relevant.

This article is based on the updated results of the study recently conducted by the author during preparation of his master's thesis. During the study and developing previous author's papers, data on connections of passengers to Wi-Fi routers were chosen as a data source. Since this phase of the study was conducted on the territory of Moscow transport hub,

in metro and on Moscow Central Diameters (MCD), where the cars are equipped with great number of Wi-Fi routers, with free connection and Internet access, it has increased the sample Wi-Fi data array significantly.

The objective of the study was to study the possibility of processing Wi-Fi data obtained from Wi-Fi scanners as a passenger flow analysis tool.

The study has revealed that, on average, up to 40% of passengers in metro and MCD cars on the studied lines use the Wi-Fi module turned on in their mobile devices.

The results of the study have confirmed that Wi-Fi data can be used as a tool for passenger traffic analysis, but at the same time revealed the necessity to integrate them with other data sources, as well as the strong dependence of the result of Wi-Fi data processing on the technical features of the Wi-Fi scanner and its location in the vehicle during experiments.

You can find the first part of the article in the issue.

Keywords: transport, urban public transport, urban mass transit, metro, city railway, passenger flow, data analysis, Wi-Fi analytics.

Acknowledgements: the author expresses his sincere gratitude to Pavel V. Zyuzin, Ph.D. (Geography), Senior Researcher at the National Research University Higher School of Economics, for his inestimable assistance in conducting the study and in preparing publication of its results.

For citation: Alekseev, N. Yu. Sample Survey of Passenger Traffic by Analysing Wi-Fi Data in Moscow Transport Hub. Part 1. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 193–200. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-9>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Urban public transport is among core elements in creation of modern urban environment and in growing quality of life of Moscow residents. The popularity of urban public transport in the capital has been increasing from year to year thanks to the development of the city mass transit system^{1, 2, 3}, its integration with new transport infrastructure facilities, renewal of rolling stock, adoption of new types of vehicles, and growing integrity of the system components.

The important share of passengers is still transported by Moscow Metro. According to the information of the Transport department of the city of Moscow, in 2021, in 2021 during working day Moscow Metro transported 56,7 % of average passenger flow (including those transported by Moscow Central Circle (MCC) and Metro Big Circle Line (BCL), opened in 2020, 4,135 % each), surface transport – 30,3 %, railways – 13 % (including 4,21 % transported by Moscow Central Diameters (MCD)). The indices of passenger flows (+ 37 %) and of transported unique passengers (+ 38 %) shown in 2021 great progress as compared with 2020, though indices have not yet completely recovered if compared with pre-pandemic 2019. Fastly growing transportation through MCD and MCC is an exception since they have already excelled the 2019 indices⁴, and there are all reasons to suppose that the positive dynamics of all types of public transport will be kept and even accelerated in 2022 as to overcome a temporary, pandemic-related change in previously growing trend regarding share of

public and individual transportation (the share of public transport in 2019 was of 70 %, in 2020 – of 60 %, in 2021 – of 62 %)⁴.

The comfort of travelling with urban public transport and Moscow Metro is improving every year [1]. The phased and targeted developed of urban public transportation and growing comfort of travelling resulted in the increased satisfaction of passengers of public transport (from 76 % in 2019 to 89 % in 2021) and of Moscow Metro (according to CoMET survey Moscow Metro in 2021 was in top-3 of world leading metros according to passenger satisfaction criteria)⁴.

Considering the general trend towards growing popularity of using urban public transport, and, namely, of Moscow and St. Petersburg Metros, under different aspects including as of tourist site [2], the analysis of passenger flows becomes a very important factor to optimise routing and clarify the intervals between arrival of urban public transport vehicles (e.g.: [3]).

Now, measuring of passenger flows involves traditional counting methods (visual, survey, ticketed entries counting) as well as those based on processing arrays of digital data input from data from automated fare collection (validation) systems, automatic passenger counting (monitoring) systems, mobile operators, and other techniques. World practices, besides the above data sources that allow partial counting of passenger flows), also apply Wi-Fi analytics; the paper [4] was dedicated, namely, to some of its aspects.

Since 2016, a free Wi-Fi network called «MT FREE» [*abbreviation of Moscow Transport*]⁵ has been introduced in the urban public transport of the city of Moscow, at its stopping points, metro stations and other locations. An increase in the number of points of free access to Wi-Fi network in the urban public transport of Moscow, by definition, increases the audience of potential passengers who use this free network. Consequently, with the increase in the number of passengers using the free Wi-Fi network, the flow of received Wi-Fi data increases, which can be used to analyse passenger flows using modern Wi-Fi scanners and Wi-Fi data processing algorithms.

⁵ The single Wi-Fi network is now available in metro and surface vehicles. Moscow transport Website (in Russian). [Electronic resource]: https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/14254. Last accessed: 10.04.2022.

¹ Transport complex of Moscow. Presentation. [Electronic resource]: https://report2010-2017.transport.mos.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_spreads.pdf. Last accessed 10.04.2022.

² The results of the activity of transport complex of the city of Moscow since 2010. Presentation (in Russian). [Electronic resource]: https://transport.mos.ru/common/upload/public/prezentacii/Презентация_Итоги_работы_%2008_11_19.pdf. Last accessed 10.04.2022.

³ Index of development of transport complex: comparison of leading Russian and foreign cities. Presentation of Moscow State University at Moscow Urban Forum July 6–12, 2017 (in Russian). [Electronic resource]: https://transport.mos.ru/common/upload/docs/1499956207_PrezentatsiyaMGUv2.10.pdf. Last accessed 10.04.2022.

⁴ The results of the activity of transport complex of Moscow in 2021 and plans for 2022. Transport department of the city of Moscow. Presentation (in Russian). [Electronic resource]: <https://transport.mos.ru/common/upload/public/prezentacii/106/itogi-raboty-tk-2021-i-plany-na-2022.pdf>. Last accessed 10.04.2022.

The objective of the research is to study and analyse the method of collecting and processing Wi-Fi data as a tool for analysing passenger traffic.

The object of the research is passenger traffic in Moscow transport hub.

The subject of the research is associated with the properties of passenger flows in Moscow transport hub.

The *tasks* of the research comprised study of existing methods for processing Wi-Fi data; collection and analysis of Wi-Fi data in Moscow transport hub during the morning rush hour using a Wi-Fi scanner on selected routes; construction of an algorithm for analysing and processing Wi-Fi data received from a dynamic Wi-Fi scanner; obtaining data on quantitative characteristics of passenger flows, namely, on the average travel distance and average travel time of passengers.

Structurally, the paper supposes three parts. The first one is devoted to the study of methods for counting passenger flows and world experience in the field of Wi-Fi analytics. The second chapter describes the methodology of the data collection, and an algorithm for analysing Wi-Fi data. The third chapter presents the immediate results of the study.

RESULTS

Methods for Studying Passenger Flows

Research in the field of passenger flows is the most important element of analysing and planning activity of transport system of any large city agglomeration since it is directly interrelated with the steps towards improvement of the comfort of movement of passengers and the speed of their travelling.

The growth in passenger traffic in Moscow implies a heavy load on the entire intracity transport network, as well as on the entire Moscow transport hub and its interchange hubs. The risk accompanying load on the city transport network is associated with increased waiting and travel time for passengers. The planning of measures to counter this risk through optimisation of transport infrastructure and route network requires a very thorough analysis of traffic and passenger flows.

Systemising of methods of data collection and analysis of passenger flows existing in the world and in Russia can help to answer the following questions: «what is the most accurate tool for collecting and analysing data on

passenger traffic?»; «what are the advantages and disadvantages of one or another method of collecting passenger flow data?»; «is there a single solution for collecting and processing data on passenger flows?»

The term «*passenger flow*» means the concept referring to movement of passengers, which is expressed in the volume of passengers transported by any type of public transport (surface, underground, and others) or individual transport per unit of time.

The case in the paper is assumed to be limited to the study on the passenger flows at urban public transport in the city of Moscow.

Currently, counting of passenger traffic in Moscow city agglomeration can apply already existing, traditional methods for collecting and analysing data, such as:

- Visual method (estimate by staff).
- Questionnaire method (survey method).
- Ticket method (coupon method).
- Automatic systems for monitoring (counting) passenger traffic (ASCPT).
- Automated fare collection (validation) systems (AFCS).
- Data of mobile operators (GSM).
- Video surveillance system.

The article [5] describes in detail the various data collection and processing methods for counting passenger flows and the existing problems that have been identified by Moscow Transport Department.

Nevertheless, it is necessary to offer a short assessment of most wide-spread methods.

Manual (non-automated) methods

Visual (estimate by staff) and tabular (on-site) method

This type of passenger flow calculation is executed through a visual counting of the number of passengers entering and exiting public transport vehicles⁶. To obtain the result, a point scale is used. The task of the person conducting visual observation is to estimate according to his visual perception the number of passengers in the vehicle [occupancy] and set the appropriate score.

Tabular (on-site) method may be considered as its variation since observation is conducted

⁶ Roshchin, A. I., Akopov, F. V., Zhukov, A. I. Guidelines for laboratory work for training students in the discipline «Methods for surveying transport processes», MADI publ., 2015, 35 p. [Electronic resource]: <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel16M435.pdf>. Last accessed 10.04.2022.



by ticket collectors, checkers, drivers and other clerks inside vehicles. Some more detailed data are collected and filled in the tables regarding number of persons boarding and alighting at specific points, passenger categories, etc.

Many Russian city administrations have adopted guidelines to apply this method to assess and forecast passenger flows (e.g.: ^{7, 8}).

As a result of using the visual method [6], it was possible, for example, to measure such indicators as the average occupancy of urban public vehicles, the rate of its unevenness, the rate of capacity utilisation, the average distance of a passenger trip in both directions of the route.

Advantages: it is a low-cost method of counting passenger flows that can be counted by current employees travelling on a particular public vehicle, such as a checker, fare collector or a driver.

Disadvantages: it is mostly intended for one-time use, it misses opportunity to systemise data collection and is dependable on a large number of human resources.

Questionnaire method (survey method)

This method supposes interviewing passengers (already travelling or potential (e.g., awaiting) passengers) by filling in the questionnaire (collecting answers) directly at the segments of street-and-road network or on Internet. question-answer on the road network or through a questionnaire survey on the Internet. The questionnaires may contain questions regarding the purpose of the passenger's trip, its destination and time. Answers to the questions asked can be applied and used to solve problems related to the prospect of developing the transport network of both the whole city and an individual community.

This method is also widely practised by administrative bodies of Russian cities and

⁷ Decree of the Administration of the Angarsk City District of Irkutsk Region dated 06.12.2016 No. 2697-pa «On approval of the Procedure for surveying passenger flows on regular city and suburban routes of road and surface electric public transport within the territory of Angarsk City District» (in Russian). [Electronic resource]: https://angarsk-adm.ru/upload/iblock/5c4/2697_pa-poryad-obsled-passazhiropt.doc. Last accessed 10.04.2022.

⁸ Order of the Department of industry, transport and communications of Bryansk Region dated 17.10.2016 No. 175-P «On the approval of the Procedure for studying passenger flows». Annex 1 (in Russian). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/42574462/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>. Last accessed 10.04.2022.

entities. The contents of the questionnaire depend on the goal set for a researcher, e.g., by a representative of the transport directorate of the city or urban agglomeration. The result of the questionnaire depends on the human factor and the list of questions asked, and, to a larger extent, on the amount of data received from passengers.

This method allows also to obtain data on the transport network of a particular community (microdistrict) in case of a targeted survey of residents of this community. Data obtained can be sufficiently reliable and valid since residents of a particular community are interested in improving transport accessibility of the nearest transport interchange hub (TIH), and of transportation, particularly to the place of work during the weekdays, and the residents own detailed reliable information on the transport situation in the community [7].

Advantages: an opportunity to get detailed feedback from passengers, as well as the feedback from potential passengers from a particular city community.

Disadvantages: the inability to count the passenger flow, obtaining only partial data on estimate use of public transport, impossibility to identify the routes of movement through intermediate stops and TIH.

Fare (ticket) accounting method

This method consists in counting the number of tickets sold in a particular vehicle. To improve the result of application of indicators obtained with this method, the following work scheme is often used: a checker is at the front door of a public vehicle, recording the time and location (stopping point of public transport) of a passenger's boarding and issues a coupon or a ticket to this passenger, and the second checker picks up these coupons or tickets, recording the time and location of the passenger's alighting. Thus, as a result, origin-destination matrix can be built, which will allow obtaining data on the boarding and alighting of specific passengers of public transport. This information is very important for planning the number of vehicles serving the route, scheduling, and the possibility of introducing a stop on demand, which will increase the speed of vehicles and, as a result, can reduce the travel time of passengers.

Meanwhile, this method (in the form of ticket collection) is not applicable to Moscow

and several other cities, where there is no paper tickets for trips in public transport or there are many passengers not using single trip tickets.

Advantages: the method does not require special training for counting.

Disadvantages: the inability to count passengers with reduced fares; the method is not applicable if paper tickets are not in use, it requires many human resources.

All the above passenger counting methods are not automated and require involvement of many human resources, they do not offer enough information, may potentially generate many errors, that make them rather obsolete under modern conditions.

Moreover, the results obtained by these methods are one-time, not systemic, do not allow conducting long-term measuring.

Considering higher efficiency of modern technologies, the above methods can be used in special cases, or in small towns where there is no possibility of using automated systems due to lack of funding, or the absence of the need to implement them due to the low intensity of transport flows.

Automated methods

Automated systems that do not require the presence of a person conducting the counting immediately in a vehicle, or at a public stop are now also well-known.

Automated systems for monitoring passenger flows in urban passenger transport (ASM-PF)

Those systems [*or ASM-PP for its literally translated abbreviation in Russian*] are sufficiently widespread on the territory of the Russian Federation.

Transnavigation Research and Production Enterprise was among the first to introduce this technology⁹. To implement this technology, it is necessary to equip the fleet of urban public transport with special equipment, including infrared sensors, navigation and communication units with GSM and GPS/GLONASS antennas.

The bottom line of the technology: infrared sensors are installed above the doorways of urban public vehicles (in particular, of buses,

trolleybuses, trams), and they record the boarding and alighting of passengers, including time and place. This results in collection of data on the ridership of passengers, including those entered and alighted from a particular vehicle [4, pp. 197–198].

Advantages: operation of the system does not require human resources in vehicles.

Disadvantages: financial costs of system implementation, system errors, complexity of system synchronisation with GPS/GLONASS modules.

Automated fare collection (validation) system (AFCVS)

Currently, in the author's opinion, AFCVS system [*or ASCP for its abridged name in Russian that in full literally means «Automated trip control system»*] is among the most accurate methods of collecting data on passenger flow widely used both in the Russian Federation and in the world.

In Russia, this technology was first introduced on the territory of Moscow agglomeration in 2001 on bus routes in the territory of Zelenograd Administrative District¹⁰.

The main task of AFCVS is to check travel documents and fare collection. The implementation of AFCVS requires the installation of validators in urban public transport. This technology is quite simple for use: to receive data, a passenger needs to attach a travel document to a validator that reads the data from the travel document and accounts the payment. The moment of attaching the travel document will be simultaneously the time of counting a passenger [4, p. 197; 8].

The *advantage* of this system is the accuracy of the received data.

Disadvantages: possible error in the absence of obligatory attachment of the ticket to the validator, the cost of implementation.

As for public transport of Moscow agglomeration, AFCVS mainly works when a passenger enters compartment of a bus, trolleybus, tram, and metro car. Thus, the disadvantage of AFCVS is the lack of data on the place of alighting of the passenger, which

⁹ Automated system for monitoring passenger flows in urban passenger transport (ASM-PF). Website of RPE «Transnavigation». [Electronic resource]: <http://www.transnavi.ru/projects/asmpp/about/about.php>. Last accessed: 10.04.2022.

¹⁰ See, e.g.: The capital introduces Automated control system for surface urban public transport (in Russian). [Electronic resource]: <https://duma.mos.ru/ru/34/news/novosti/v-stolitse-vvoditsya-avtomatizirovannaya-sistema-kontrolya-na-gorodskom-nazemnom-transporte>. Last accessed: 10.04.2022.



significantly affects the counting of passenger traffic.

Another disadvantage of the system is that introduction of AFCVS is often accompanied by the installation of turnstiles. The installation of turnstiles can significantly increase the boarding time of passengers and, accordingly, the travel time of passengers. Considering that a turnstile is installed in the front door of the vehicle, i.e., of a bus, and that the turnstile works only after the fare is accounted, in case of an unsuccessful attempt to validate the fare because of malfunction of the travel document, the potential passenger has an increased waiting and travel time. This problem is of great importance during morning and evening rush hours for passengers moving daily on weekdays from their place of residence to the nearest metro station and back.

In Moscow agglomeration in urban public transport, turnstiles have recently been disabled by the decision of the City Department of Transport and Development of Road Transport Infrastructure and Mosgortrans State Unitary Enterprise; fares are paid by the passenger using a validator^{11, 12}. This decision allowed to significantly speed up the time of boarding and alighting of passengers of surface public transport. Earlier, before turning off the turnstiles, the researcher observed this problem on his own example, e.g., on the bus route No. 906 of the Mosgortrans State Unitary Enterprise.

Data of mobile operators (GSM)

Mobile operator data are also used to count passenger traffic [4, p. 197–198]. The article [9] reveals possibilities of using the data of GSM mobile operators, describes collection of data on movement of five hundred thousand users using mobile communications, development of a model for changing the routes of urban public transport. The model was used and tested in the city of Abidjan, the largest city of Côte d'Ivoire (the population of the city of Abidjan was 3,8 million in 2013). The data were obtained from the largest mobile operator for the period

¹¹ Validator v. Turnstile: passengers save up to 20 minutes paying the fares in the compartment. Website of the Mayor of Moscow (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.mos.ru/news/item/38508073/>. Last accessed 10.04.2022.

¹² Fare collection without turnstiles has been introduced since 01.09.2018 on all the routes of surface public transport in Moscow – entry by all the doors. Website of SUE Mosgortrans (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.mosgortrans.ru/alldoors/>. Last accessed 10.04.2022.

between December 2011 and April 2012. All data used were de-identified, which is very an important element of maintaining confidentiality. The authors of the article suggested to optimise sixty-five existing routes and create three new urban public transport routes. The authors also pointed to a 10 % reduction in waiting time, measured in passenger-minutes.

The main feature of this model, in the author's opinion, is the possibility of optimising the existing route networks for new city communities.

The authors of the article [10] suggest using the data of mobile operators to count passenger flows entering and exiting the metro. The authors describe the received origin-destination matrix and further possible use of the received data, for example, when opening a new metro station. They also believe that the data obtained should be used when planning construction and operating metro lines, when planning the number of cars operated in morning and evening rush hours, that is, to use the data not only for economic purposes, but also for urban transport planning. The authors also believe that the data obtained can be used to synchronise the entire urban public transport, especially during peak hours and different seasons, for example, in summer and winter.

Another article [11], thanks to the data of mobile operators, offers a method for classifying stations during morning and evening peak hours and words four groups of their features.

Thus, the advantage of using data received from mobile operators to count passenger traffic and optimise existing urban public transport routes is the large array of information received from mobile operators, and a possibility of its consequent automatic processing and analysis.

The potential disadvantage is associate with the accuracy of the received data, which directly depends on the location of the base stations of the mobile operator. There are also risks of keeping confidentiality of received data, their protection against infringements of intruders.

Video surveillance system

The application of video surveillance to obtain data on passenger flows is described in the article [12] as a comprehensive solution for counting the number of passengers who are seated in the vehicle (car). To implement this solution, CCTV cameras and an on-board computer are required, which, using a Wi-Fi

Table 1

Advantages and disadvantages of existing methods and systems for counting passenger flows [compiled by the author]

Method / system	Advantages	Disadvantages
Visual and tabular (on-site) method (estimate by staff)	Cheapness of use	One-time use, lack of systematisation of data collection, dependence on human resources
Questionnaire (survey) method	Feedback from potential passengers of a particular city community	Inability to calculate passenger traffic, fragmented data on assessment of public transport use
Fare (ticket) accounting method	Does not require special training for counting	Inability to count passengers with reduced fares, requires large human resources
Automated systems for monitoring passenger flows (ASM-PF)	The system allows counting the number of boarded and alighted passengers	Requires additional equipment of public transport and financial investments. With a large flow, duplications are likely
Automated fare collection (validation) system (AFCVS)	High accuracy of data on boarding passengers	In the absence of exit validators, there is no information about the points of passengers' alighting
Data of mobile operators (GSM)	Large array of data received from cellular operators with the possibility of their further processing and analysis	Data accuracy, which is directly dependable on the location of the base stations of the mobile operator
Video surveillance system	Allows getting accurate data on passenger traffic	Requires financial investments and building of a data processing algorithm

network, sends data to the server via the Internet. Further, the received data are processed on the server: each video fragment is assigned a GPS/GLONASS coordinate and a marking with the number of the train, car, camera, date and time of receipt of the video fragment. The second solution mentioned in this article is the previously described ASM-PF.

Comparative features of existing methods of counting passenger flows

Summarising the above types of passenger traffic counting, it is possible to show the advantages and disadvantages of the methods of passenger traffic counting (Table 1).

As we see in Table 1, there is no ideal tool or method for analysing and counting passenger flows.

A research article [13] confirms the theory about problems inherent in existing methods for collecting and analysing data on passenger flows, along with that it offers quantitative estimate of advantages of more modern methods (namely of video surveillance).

There are works aimed at studying the behaviour of passengers, and, accordingly, their origin-destination patterns [14], and works that

classify passenger flows [15]. The information is also confirmed that the data received from the carrier is often unreliable [16].

The totality of above circumstances highlights relevance of a search for new methods of counting passenger flows that will be exonerated of all or at least of most of the above disadvantages.

One of the most important criteria for the search for a new, more reliable and multifunctional method for collecting data and analysing passenger flows refers to ability to identify the routes of potential passengers, and consequently the occupancy of relevant vehicles (in the case of the study, of metro cars) at a specific urban public transport stop.

Based on the general hypothesis on possibility of using as such a method of collection of data on the use of Wi-Fi connections and see the widespread of Wi-Fi technology in Moscow city agglomeration, technologies are being actively introduced in Moscow agglomeration, it was determined that this hypothesis merits in-depth study and experimental approval.

To be continued



REFERENCES

1. Pashina, A. S., Kravchuk, I. S. Innovations in the infrastructure of Moscow metro [*Innovatsii v infrastrukture Moskovskogo metropolitena. Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoi nauki*]. In: Proceedings of the conference «Current state, problems and prospects for development of branch science». Moscow, Pero publ., 2019, pp. 330–335. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39227779>. Last accessed 10.04.2022.
2. Dolmatenya, Yu. V., Trandina, E. V. Features of the Metro as Area for the Organization and Development of Tourist Events. In: Topical problems of development of service sector [*Aktualnie problem razvitiya sfery uslug*]. Collection of scientific works, Vol. XIII. St. Petersburg State University of Economics, 2019, pp. 135–139. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42476132>. Last accessed 10.04.2022.
3. Podkhalyuzina, V. A. Analysis of passenger traffic in the Moscow ground public transport. *Challenges of the global world. Vestnik IMTP*, 2015, Iss. 2 (6), pp. 31–34. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24245177>. Last accessed 10.04.2022.
4. Alekseev, N. Yu., Zyuzin, P. V. Assessment of Applicability of Wi-Fi Analytics in Studies of Urban Public Transport Passenger Flow (Moscow Case Study). *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3, pp. 196–208. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.
5. Petrova, D. V. Modern approaches to the organisation of public transport passenger traffic monitoring in urban agglomerations. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 1, pp. 47–57. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Last accessed 10.04.2022.
6. Borovikov, A. V. Analysis of passenger traffic of city bus route. *Mezhdunarodniy studencheskiy nauchniy vestnik*, 2019, Iss. 3, Art. 46. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38318095>. Last accessed 10.04.2022.
7. Novikov, A. N., Radchenko, S. Yu., Sevostyanov, A. L., [et al]. Study of passenger flows and transport mobility of the population in the city of Oryol. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2011, pp. 69–77. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17280343>. Last accessed 10.04.2022.
8. Rubtsova, K. A. Peculiarities of accounting for passenger flow on ground public transport. *Ekonomika predprinimatelstva, organizatsiya i upravlenie predpriyatiyami, otraslyami, kompleksami*, 2015, pp. 168–172. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24866446>. Last accessed 10.04.2022.
9. Berlingerio M., Calabrese F., Lorenzo G., Nair R., Pinelli F., Luca Sbodio M. AllAboard: A System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. *Mobile phone Data for Development*, 2013, pp. 397–411. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_50.
10. Namiot, D. E., Nekraplonna, M. N., Pokusaev, O. N., Chekmarev, A. E. OD-matrix and passenger flow analysis. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 4, pp. 25–30. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42748922>. Last accessed 10.04.2022.
11. Pomatilov, F. S., Namiot, D. E. On the analysis of passenger traffic of Moscow Metro [*Ob analize passazhiropotokov Moskovskogo metropolitena*]. *Modern information technologies and IT education*, 2019, Vol. 15, Iss. 2, pp. 375–385. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.375-385.
12. Brusyanin, D. A., Vikharev, S. V., Popov, V. Y., Gorbenko, A. A., Sheka, A. S. Intelligent system monitoring passenger transport complex of the region. *Innovatsionniy transport*, 2012, Iss. 2 (3), pp. 41–43. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18225474>. Last accessed 10.04.2022.
13. Shchetinin, N. A., Koryakov, V. B., Semikopenko, Yu. V. Passenger traffic survey methodology. *European Journal of Natural History*, 2020, Iss. 3, pp. 105–108. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43172623>. Last accessed 10.04.2022.
14. Stepanchenko, I. V., Krushel, E. G., Panfilov, A. E., Lyutaya, T. P. Algorithm for simulating passenger flows at the stops of the metropolitan transport network. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh*, 2019, Vol. 10, pp. 19–23. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41261453>. Last accessed 10.04.2022.
15. Sytnik, R. A. On the question of the study of passenger traffic in urban transport and logistics systems. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, Vol. 7, Iss. 186, pp. 43–48. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26322476>. Last accessed 10.04.2022.
16. Yankov, K. V., Lavrinenko, P. A., Fadeev, M. S. Experience in forecasting passenger flows and socio-economic effects in accelerated railway communication in Samara-Togliatti agglomeration. *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of RAS*, 2016, Vol. 14, pp. 622–646. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633857>. Last accessed 10.04.2022.
17. Nakagawa, Y., Nishida, J., Asao, H., Mukoko, B., Tamura, K. Application of AMP Collectors in Nairobi CBD for Transport Planning. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 34, pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.020>.
18. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of antenna characteristic effects on pedestrian and cyclists travel-time estimation based on Bluetooth and Wi-Fi MAC addresses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, Vol. 60, pp. 124–141. DOI: 10.1016/j.trc.2015.08.010.
19. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D. Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 32, pp. 62–68. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.012.
20. Hong, J., Thakuria, P. Examining the relationship between different urbanization settings, smartphone use to access the Internet and trip frequencies. *Journal of Transport Geography*, 2018, Vol. 69, pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006.
21. Oransirikul, T., Nishide, R., Piumarta, I., Takada, H. Measuring Bus Passenger Load by Monitoring Wi-Fi Transmissions from Mobile Devices. *Procedia Technology*, 2014, Vol. 18, pp. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.023>.
22. Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C. [et al]. A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and When it Fails. *US Naval Academy, Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, March 2017, 23. DOI: 10.1515/popets-2017-0054. ●

Information about the author:

Alekseev, Nikolai Yu., master in transport planning of National Research University Higher School of Economics, project leader of Sitronics Group, Moscow, Russia, Alekseev-trn@mail.ru.

Article received 21.06.2022, approved 11.07.2022, accepted 13.07.2022.



On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads.

Some Facts about the History of Construction of Railway Lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo. Part 2



Aleksey I. FEDYANIN

Aleksey I. Fedyanin

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ lekha.fedianin@yandex.ru.

ABSTRACT

The final part of the article, the first part of which was published in the previous issue of the journal.

The article, based on the archived and other never published materials, discusses the history of design and construction of Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo railways which belonged to Moscow–Ryazan branch of Moscow railway. The objective of the article was to clarify the circumstances of design, construction and operation of these lines, as well as to identify the reasons that led to their decline and closure in the mid-2000s. To achieve this objective, well-known publications in the press and the Internet were analysed. In addition to using data from these sources, written sources on the issue under study were searched for in archival institutions in Moscow. Some documents are published for the first time.

The work carried out resulted in revealing previously unknown or questioned facts: Krivandino–Ryazanovka railway line was built in 1943–1944, Sazonovo–Ryazanovka section was built later than the rest of the line. The purpose of Krivandino–Ryazanovka line according to the project and in the first years of its existence was transportation of firewood for heating of Moscow. The date of commissioning of the entire Sazonovo–Pilevo line for servicing Kurovskaya distance of the railway was January 1, 1978. From the northern neck of Pilevo station, the access railway went to the construction yard of Meshcherskoye peat enterprise. According to information of Kurovskaya distance of the railway, the broad-gauge transshipment station of Meshcherskoye peat enterprise was called Torfyanaya.

Keywords: railway line, Krivandino, Ryazanovka, Sazonovo, Pilevo, peat enterprise, Great Patriotic War, transport construction.

Acknowledgements: the author expresses his gratitude to the compilers of the book «Meshcherskaya Magistral» for an interesting work that became a source of inspiration for the work and personally to Vadim Mironov for reviewing and providing photographs; to the authors of repeatedly mentioned sources [2–4] for an informative resource with a lot of facts about the studied lines; to researcher of narrow-gauge railways S. V. Kostygov for a lively description of the narrow-gauge railway of the Ryazanovskoye and Radovitsky Mokh peat enterprises (Kostygov, S. V. Farewell to Ryazanovka [Proshanie s Ryazanovkoy]. [Electronic resource]: http://www.pereyezd.ru/readarticle.php?article_id=124. Last accessed 28.03.2020) and expresses the hope that someday he will nevertheless publish its full history, and this material will be somehow useful in this; Head of the Department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport Professor O.E. Pudovikov; to the track service of Moscow Railway and personally to the head of the service D. A. Korenkov, chief engineer P. Yu. Bogdanov for showing interest in the research topic and providing access to archival materials of the railway; SBI «CSA of Moscow» for preservation of the most important documents on the history of the considered lines; the staff of the reading room of the Department for storage of scientific and technical documentation for their highest professionalism.

For citation: Fedyanin, A. I. On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads. Some Facts about the History of Construction of Railway Lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo. Part 2. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 202–209. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-10>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

War Years

To ensure the functioning of the branch two operation points were built: Pozhoga and Lesnaya stations. Krivandino station was also reconstructed. The project provided for construction of the following service and technical buildings at the stations:

- A locomotive shed with a single bay, a sand dryer with a canopy, a cellar for storing and dispensing lubricants at Pozhoga station.

- Technical inspection point at Krivandino station, the inspection point at Pozhoga station located in the station building (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 51).

In addition to them, the project provided for construction of station buildings at two new stations. In Krivandino, the station building already existed at the time of construction of the line, but half of the building was occupied by housing, the other half housed the head of the station, the station duty officer, the passenger hall, and the ticket clerk.

Pics. 3–5 (the numbering of pictures continues from the Part 1) shows their schemes, reconstructed based on design drawings.

Given the strategic importance of the line under construction providing the capital of the

combatting state with fuel, as well as the fact that earthworks are the most time-consuming in construction of the railway, it would be interesting to cite a table (Table 1 at next page) incorporated into the project [5] (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 60).

Despite the requirement of State Defence Committee Resolution on construction of the line without estimates and expertise, the latter was completed. Here are some excerpts from it:

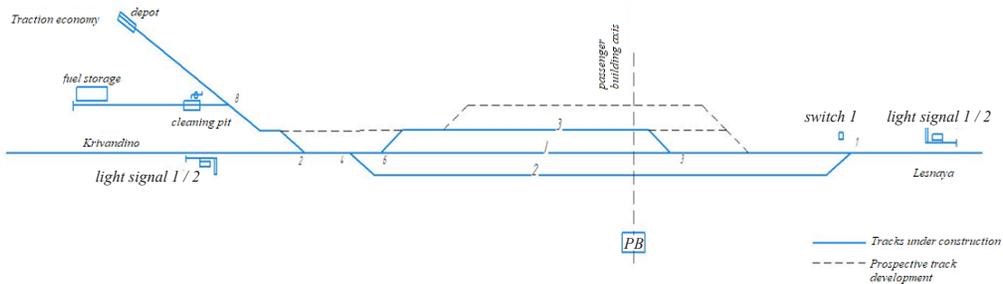
«Conclusion of the Bureau of Examination of projects and technical conditions of construction of CBN of NKPS [commissariat of railways].

January 26, 1944

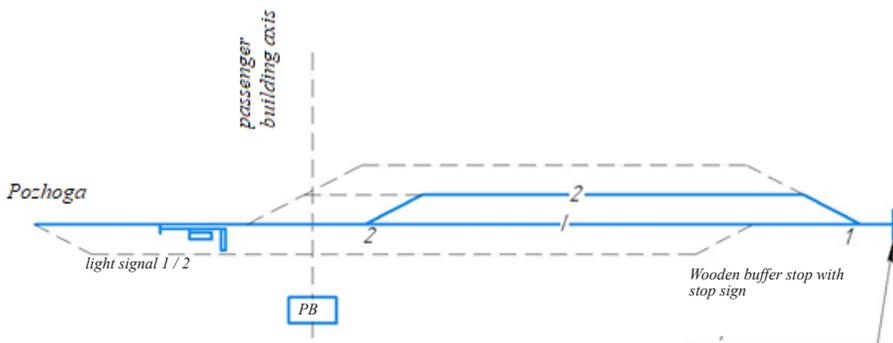
On the technical design attached to the estimate for construction of the railway branch Krivandino–Radovitsy.

Bureau of Examination of projects and technical conditions of construction, having considered the technical design of the railway branch Krivandino–Radovitsy, developed by Moscow Branch of Soyuztransproekt, believes that it can be submitted for approval by the NKPS.

As of January 1, 1944, on Krivandino–Lesnaya section, work was completed on construction of a roadbed, laying the track superstructure, construction

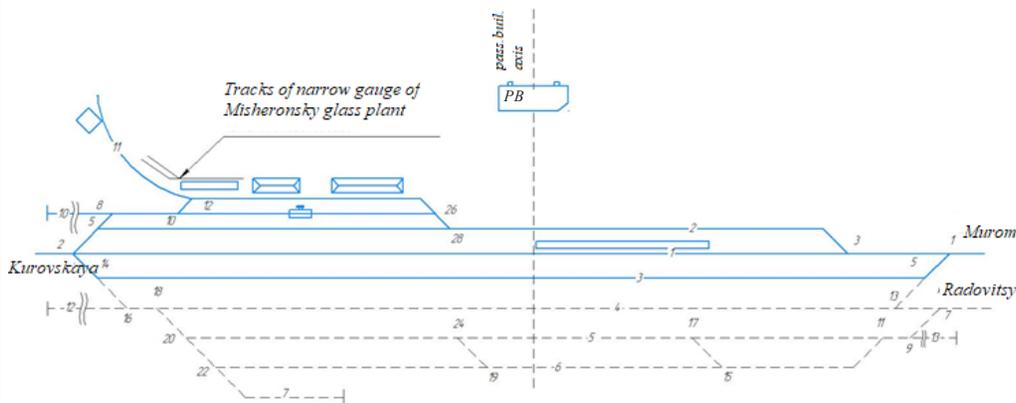


Pic. 3. Schematic plan of Pozhoga station. Reconstruction based on SBI «CSA of Moscow» document F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 54. Published for the first time.



Pic. 4. Schematic plan of Lesnaya station. Reconstruction based on SBI «CSA of Moscow» document F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 55. Published for the first time.





Pic. 5. Schematic plan of Krivandino station. Reconstruction based on SBI «CSA of Moscow» document F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 53. Published for the first time.

Table 1

Earthworks, m³

Method of development	To be swept with double re-handling	Wheelbarrows up to 75 m	Stretchers up to 20 m	Diggers	Excavators with transportation... (illegibly)	Outburst by explosion	Excavators with transportation by trucks	Manual development with transportation by trucks
Main track	10464	11888	49007	54195	3500	22437	130431	13371
Station tracks	–	1020	–	–	29730	–	10186	1000
Sum	10464	12908	49007	54195	33230	22437	140611	14371
%	3,1	3,8	14,6	16,2	9,9	6,6	41,6	4,2

of artificial structures, and works were partially completed on construction of passenger buildings, a depot at the station Pozhoga and water supply.

The cost of the work performed is 6666 thousand rubles.

The Bureau of Examination of projects considers that the following changes and additions should be made to the technical project when performing the remaining scope of work:

Accepted in technical project:

1. Firewood is loaded at hauls.

The Bureau of Examination of projects offers the following:

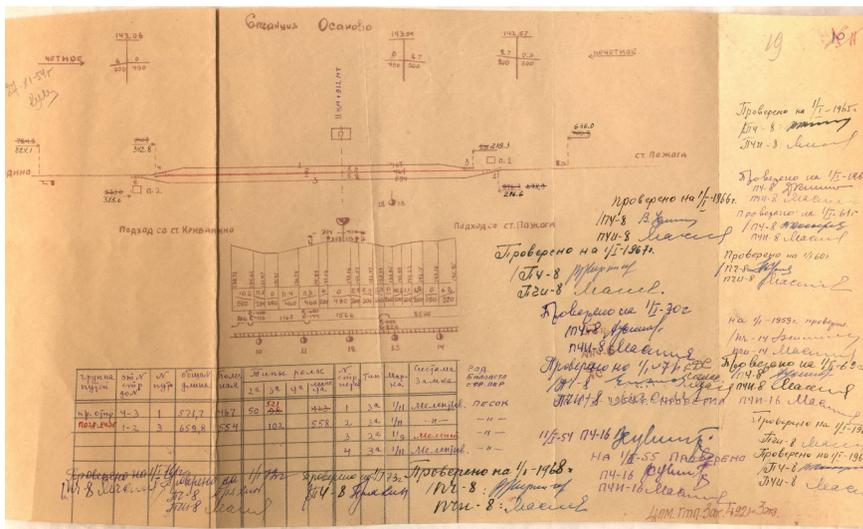
The loading of firewood at the hauls of the branch is allowed only during the first period with insignificant traffic volume.

The organisation of train traffic along the branch should be taken with the loading of firewood on sidings and moustache-type dead ends.

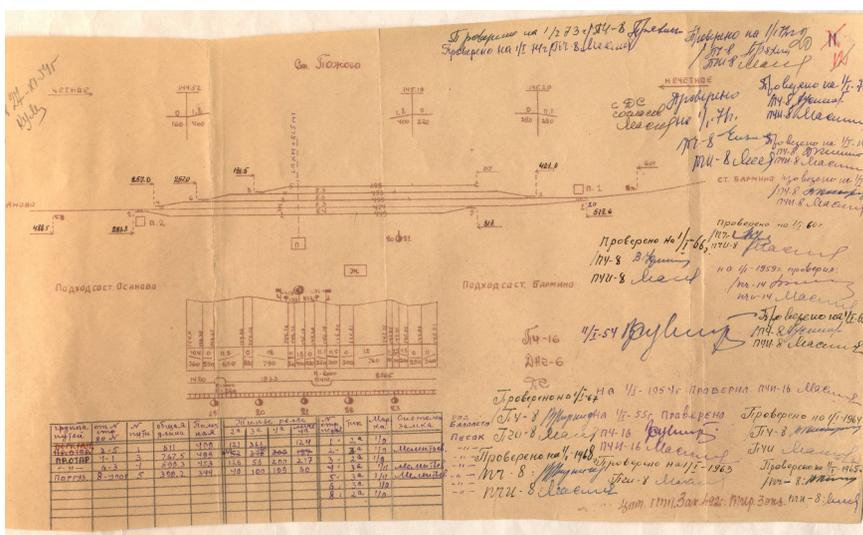
The works provided for during the 1st stage, should be complemented by laying, for loading firewood, sidings at Minino and Bobynino junctions: of a useful length of 200 m, and laying of 3 temporary dead ends 200 meters long each on the hauls...» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 81).

Summing up the consideration of the conditionally first (military) stage of existence of the line, we repeat the conclusions already made earlier:

- 1) Krivandino–Ryazanovka railway line was built to supply Moscow with firewood from the Radovitsky forest area.



Pic. 6. Scale diagram of Osanovo station as of 1954–1974. (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 4 d. 96 I. 19. Published for the first time).



Pic. 7. Scale diagram of Pozhoga station as of 1954–1974 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op.4 d. 96 I. 20. Published for the first time).

2) Peat transportation along the line during this period was not carried out but was only planned for the future.

3) Lesnaya (Sazonovo)–Ryazanovka section was built later than Krivandino–Lesnaya section.

4) The first kilometres of Sazonovo–Pilevo line were built in 1943.

Post-war years. Line development

There is information about the post-war period in the history of the lines under consideration in the passports of Kurovskaya track distance (PCh-8) of Moscow Railway, which commissioned the objects in question for

service almost from the very beginning of their existence. These documents are available in SBI «CSA of Moscow».

Passports have been kept for the years 1960–1962 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 157), 1970–1973 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 179), 1974–1977 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 245), 1978–1982 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269).

Based on these documents, we can state the following.

As of 1960–1962, the main track Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Sorokovoy Bor were considered in the accountancy of the track



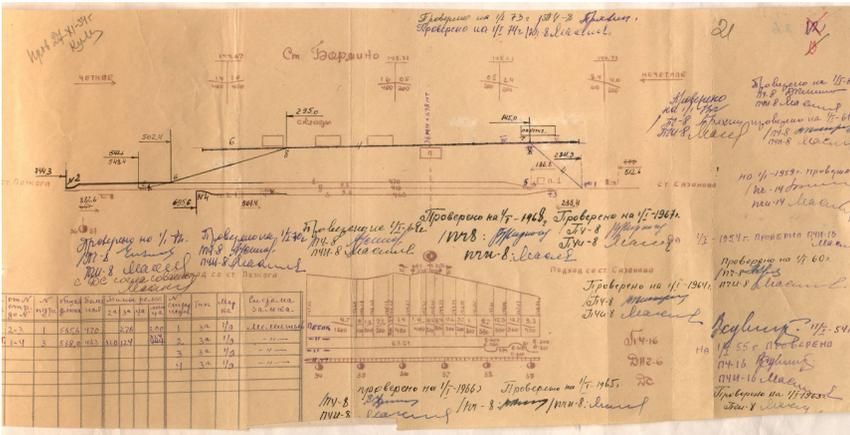


Fig. 8. Scale diagram of Barmino station as of 1954–1974 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 4 d. 96 I. 21. Published for the first time).

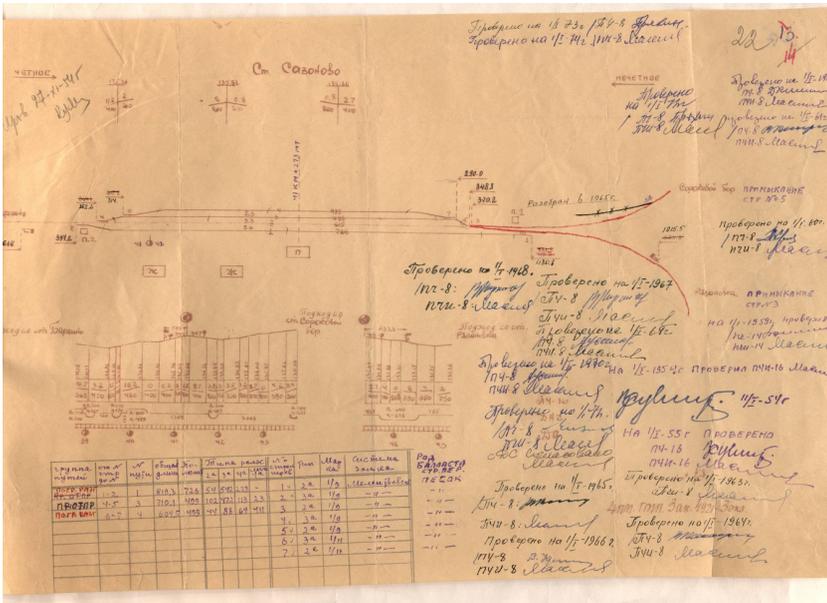


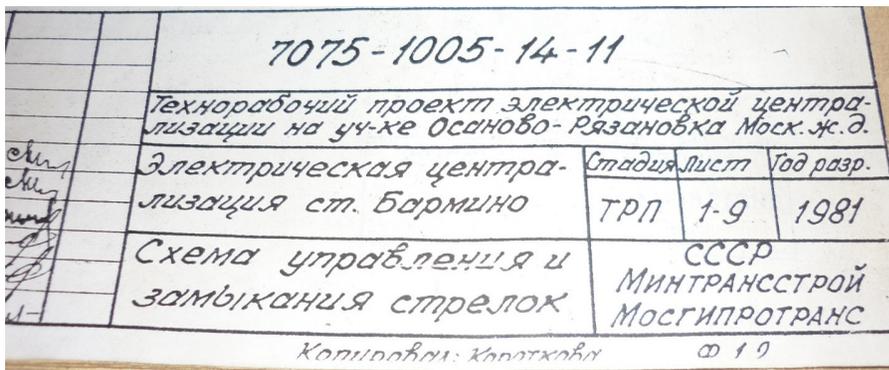
Fig. 9. Scale diagram of Sazonovo station as of 1954–1974 (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 4 d. 96 I. 22. Published for the first time).

distance, the latter was also called the Prudovskaya branch. The latter was considered from 42nd to 50th kilometre, the deployed length was 8379 m, at the 50th kilometre the summary graph of the state of the track ended in the middle of the case page with a note «border with a peat enterprise», there was no operation point in this place. The track was made of R-38 rails and lighter. R-43 rails were used for a distance of only 525 m, there was one turnout.

There were 22 turnouts on Krivandino–Ryazanovka section that was 52,500 m long. Light grade rails prevailed along the track, for example, 19,533 m of R-38 rails were laid. According to the results of the passage of a track

measuring car in 1961, the section was rated as follows: «excellent» – 2 km, «good» – 8 km, «satisfactory» – 42 km. Wooden bridges built in 1943 continued to be used. Schemes of operation points of the considered lines are given below.

In the technical passport of track distance-8 (PCh-8) as of 1970–1973, Sazonovo–Sorokovoy Bor section is called the Prudovskaya branch, and it is considered up to the 50th kilometre. All the same, light rails are laid along the track. On Krivandino–Ryazanovka line, by 1974, out of 52,500 m, R-65 and R-50 rails were laid on a distance of respectively 13,940 m and 22,527 m. During 1960–1972, all wooden bridges were replaced with reinforced concrete pipes, except



Pic. 10. Photo of a page of «Technological design of electrical centralised control of Osanovo–Ryazanovka». Photo of the author.



Pic. 11. TE2-479 locomotive at Ryazanovka station 1983. Photo by V. Mironov. Published with his kind permission.

for the longest one across the Letovka River at the 40th kilometre. On Sazonovo–Sorokovoy Bor section, the bridges remained wooden (their year of construction was recorded as 1945, which contradicts the above excerpts from the project documentation). For the first time, a series of operated locomotives and the type of track blocking are indicated: TE1, 2, while for Krivandino–Ryazanovka line those were TE2 and semi-automatic blocking (SAB).

The most interesting is the track distance passport as of 1974–1977.

In it, on the general scheme of tracks served by track distance-8 (PCh-8) the Krivandino–Ryazanovka line was supplemented with the section Sazonovo–Sorokovoy Bor–Pilevo from its 50th kilometre. The stations Sorokovoy Bor and Pilevo were also marked.

On this section, the numbering of the mileage from Sazonovo station towards Sorokovoy Bor was changed, the countdown started from zero, the border with the peat enterprise is indicated on the summary graphs until 1977. This year a note was made «From 1.1.78 see Sazonovo–Pilevo». From January 1, 1978, the section is considered as the main track of Sazonovo–Pilevo kine with a length of 34460 m. The years of construction are indicated as follows: up to the 9th km – reconstruction of the track was carried out in 1970, after the 9th km the track is designated as a «newly built» with the years of construction: 10–22 km – 1971, from 22 to 28 km – 1972, after 28 km – 1973, 30 and 31 km – 1974. Mainly R-50 rails were laid on the track. All artificial structures were replaced with concrete ones. New stations were immediately built at the modern technical level: all turnouts at Sorokovoy





Pic. 12. TE2-489 diesel locomotive at Pilevo station. Photo by V. Mironov, published with his kind permission.



Pic. 13. Neck of Pilevo station. From right to left, there are hauls: Pilevo-Tyukovo, Pilevo-Spas-Klepiki narrow gauge line, Pilevo-Sorokovoy Bor normal gauge line. Photo by V. Mironov, published with his kind permission.

Bor station have been electrically interlocked since 1976, at Pilevo station – since 1978. SAB was used as a track blocking system, a series of locomotives used was TE1, 2.

Reconstruction was also carried out on Krivandino–Ryazanovka line: all the rails up to Sazonovo station were replaced with R-50, R-65 grade rails, the station itself was equipped with electrical centralised interlocking of switches and signals, however, other stations of this section were similarly equipped only in 1981 (Pic. 10).

Sazonovo–Ryazanovka haul did not undergo reconstruction.

The Letovka River was enclosed in a reinforced concrete pipe in 1974, thus the last wooden bridge on the line was eliminated (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269 l. 71).

At the stations Sorokovoy Bor and Pilevo there were passenger platforms, and at the last one there was also a railway terminal. But, according to available data, the passenger trains traffic had never started. The reason is unknown.

The last years of the lines

The closings at the described lines began in the 1990s.

According to the source [3], the first station closed on Krivandino–Ryazanovka line was Pozhoga, this happened in 1995.

It was followed, in 2004, according to the same source, by Osanovo station.

The change of the owner of the main consumer of peat which was Shaturskaya GRES-5 [regional power station] and the subsequent its full transition to natural gas caused the cessation of peat mining in Shatursky district, and, consequently, made the entire infrastructure of its transportation, including the considered lines, unnecessary. According to the source [2], peat transportation through them stopped in 2009.

The need for intermediate operation points on the line Krivandino–Ryazanovka has disappeared consequently. There were practically no other trains, except for the daily commuter (three trains per day in each direction). On Sazonovo–Pilevo line, traffic stopped altogether.

Orders to close the remaining stations came out only a few years after their actual liquidation: Barmino station was officially transferred to the category of stopping points by order of the Federal Agency for Railways dated March 26, 2010, No. 105, Sazonovo, Sorokovy Bor, Pilevo – by order of April 4, 2013, No. 127.

Regarding Sazonovo–Pilevo line, the order was a formality: soon after the traffic stopped, the track began to be plundered for scrap, a criminal case was initiated following this fact¹, but no information about the capture of the criminals was published. By the mid-2010s, there were only a clearing in the forest and remaining artificial structures.

Legally, the history of this railway was terminated by writing off the balance sheet with a letter of authorisation dated October 5, 2015, No. 54 signed by the First Deputy Head of Moscow Railway.

Krivandino–Ryazanovka line has turned into one haul, on which a daily commuter

train runs, which is probably subsidised by Moscow region. And all the more surprising is the fact that a major overhaul of all 54 kilometres was carried out with a complete change of the superstructure of the track in 2015. Though, as of 2015, the speed of the commuter train remained the same as before the reconstruction.

CONCLUSION

The study determined or clarified the following facts:

- Krivandino–Ryazanovka railway line was built in 1943–1944.
- Sazonovo–Ryazanovka section was built later than the rest of the line.
- The purpose of Krivandino–Ryazanovka line under the project and in the first years of its existence was transportation of firewood for heating of Moscow.
- The date of acceptance of Sazonovo–Pilevo line in full to be served by track distance-8 (PCh-8) is January 1, 1978.
- From the northern neck of Pilevo station, the siding railway led to the construction yard of Meshcherskoye peat enterprise.
- According to PCh-8 data, the broad gauge transshipment station of Meshcherskoye peat enterprise was called Torfyanaya.

REFERENCES

1. Berzin, A., Mironov, V. Meshchera main line [Meshcherskaya Magistral]. Vladimir, Posad publ., 2004, 190 p.
2. Website about the railway. [Electronic resource]: <http://infojd.ru>. Last accessed 28.03.2020.
3. Railway line Krivandino–Ryazanovka. [Electronic resource]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13196.html>. Last accessed 28.03.2020.
4. Railway line Sazonovo–Pilevo. [Electronic resource]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13483.html>. Last accessed 28.03.2020.
5. Technical project of the railway branch Krivandino–Radovitsy. SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 229–232.

LIST OF ARCHIVAL DOCUMENTS

Russian State Archive of Socio-Political History (RGASPI) F. P-68 op. 2 d. 71. 20.

Central State Archive of the City of Moscow (SBI «CSA of Moscow») F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 5–81.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 157.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 179.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 245.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 4 d. 96 l. 19–22.

SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269 l. 71. ●

¹ Based on the materials of the prosecutor's check, a criminal case was initiated following the fact of the theft of a railway track with a length of more than 2 km (in Russian). [Electronic resource]: <http://www.mmtproc.ru/news/1/7811/>. Last accessed 28.03.2020.

Information about the author:

Fedyanin, Aleksey I., Ph.D. Student at Russian University of Transport, Moscow, Russia, lekha.fedianin@yandex.ru.

Article received 08.02.2021, enlarged and amended 26.01.2022, approved 14.02.2022, accepted 05.03.2022.





Discussion of the Report of N. P. Verkhovsky about the Book «Railway Confusion» in the Imperial Russian Technical Society in 1910



News from the archives

Three previous issues of *World of Transport and Transportation* acquainted the readers with the main contents of the report delivered by Nikolai Petrovich Verkhovsky at the session of the VIII Department of the Imperial Russian Technical Society while presenting his book «Railway Confusion», dedicated to the comprehensive solution of a wide range of pressing issues of organising the work of railways. The report, in fact, was a detailed and accentuated presentation of the book's content.

The discussion that followed the report is also of great interest. It allows to introduce the essence of opinions and views prevailing then in professional railway community regarding such «eternal» issues as optimal career trajectory, corporate culture, labour productivity, role of bonus awarding in motivating higher efficiency of management and staff, balanced ratio of role and volume of wages of managers and engineers, countering violations of discipline, load implied by excessive reporting and its paradoxical role in relief of unjust punishment.

The specific aspect of the discussion engaging the chairman of the meeting and the speaker can also be of interest since it refers to missing feedback from readers to publications in railway journals.

The editorial publication presents the main content of the stenographic report published in the *Rail Business* journal.

Punctuation and vocabulary of the original publication are preserved in the text as much as possible.

Keywords: history, railways, management, staff management, railways social policy.

Acknowledgements: the editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the material.

For citation: Discussion of the Report of N. P. Verkhovsky about the Book «Railway Confusion» in the Imperial Russian Technical Society in 1910. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 210–216. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-11>.

The text of the archived article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
 Текст архивной статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

Stenographic recordings of the report of N. P. Verkhovsky and the conversation in the VIII Department of Imperial Russian Technical Society on December 2, 1910, under the chairmanship of A. N. Gorchakov.

Chairman. Allow me, Nikolai Petrovich, to offer you some questions. I wrote down a few notes. In general, many questions can be asked based on your rich report, but I will confine myself to a few. It seems to me that your report would greatly benefit if you did not bypass the historical side of the matter, i.e., history of railway origins, of how Russian railway have reached the current state. The same – there is no even a brief parallel with foreign railroads.

Then, in our Society in 1892, the «Essay on the Railway Network» was published, and, it seems to me, this book is also unknown to you, at least you did not mention it and bypassed some of the facts reported in it. Now, if this had not been missed, then neither Count Baranov, nor A. A. Vendrich and V. M. Verkhovsky were not attributed to defects on the part of the chiefs of roads and administrators but would attribute the activities of these persons to the state of railroads in Russia¹. After all, not everything lies with the duties of managers and chiefs of roads. Then I wanted to say that at present, due to the not particularly good management of the traffic service of the commercial part of the road operation, the commercial part will soon form a separate service, on a par with the traffic service. Railways are already preparing for this.

Regarding the artel, as far as I remember, Mr. Traustel, who also sympathised with this Russian organisation, reported to us in the spring, in May. I am surprised by the long procession of this question through all institutions. You said you would have to let that the State Duma to decide. This means that it seems to encounter a lot of friction, and nothing is reported about such friction in the official press. To what is this to be attributed? The artel is characteristic of Russian

¹ The part of the report of N. Verkhovsky not published in WTT, mentioned that «...the difficulties in transporting grain during the famine of 1901 caused the appointment of the formidable Colonel Wendrich, with large Higher powers, to take vigorous measures for successful transportation. Obviously, the higher spheres did not trust the mutual solidarity and self-activity of the managers and chiefs of the roads (because then many roads were already under state administration) and had to resort to military energy, with unification of power in the hands of one person... Even earlier than this period, railway troubles caused the appointment of the Highly Approved Commission of Count Baranov to study the railway business». – *Ed. note.*



Nikolai Petrovich Verkhovsky

labour, it remains to take and accept it; but, obviously, frictions exist for other reasons, perhaps – these are legislative or administrative reasons that are unknown to us, so that a good deed is not hampered by the railways, and no one can blame them for this, but is hampered by extraneous reasons.

Regarding the development of the issue that the railway employees, with the assistance of the current minister and the administration, would begin to improve the railways, it seems that in our Technical Society there was no shortage of this. The Technical Society once published reports, and it continues to deal with this issue in its journal, and sometimes at our meetings. Today's conversation with you about your report serves as proof of this. There is no shortage of assistance from the Society, and in general, if you trace the historical part of the railways, you can see that the first undertakings in all matters did not come from government agencies, but from private ones. This is wonderful and completely natural, and I think this is how our business is conducted in all countries. That's what I wanted to tell you. Gentlemen, can anyone offer questions to the speaker?

Speaker. The work that you are talking about, indeed, did not catch my eye, but I expressed what I myself had to go through. I also made a historical sketch, but I did not read yours, and I came to the conclusion that the heads of railroads and managers could not act in solidarity, and as a result they had to wait for instructions from outside. It seems that you yourself have created a project about distribution bureaus. If the chiefs



were able to send cargoes by their own agreement, then no one would prevent the chiefs from coming together, and you set up a bureau.

Chairman. Your pointing at me gives me the right to correct you. Heads of railroads, and then, when I was the director of the department of railways, were bound by orders of the department of railways, and the projects that were presented staled. Blame the general system. And now it's the same thing. It depends on the general system and the attitude of society towards the administration, and, therefore, the reasons lie deeper than the will of the railroad chiefs and managers. The bureaus were not so easily established: once they decided, once they established them. No, there was some struggle, but I will not go into details, and this is not necessary, indeed, railways were embarrassed. District committees can also be added to this issue. It is not at all the oversight of the chiefs of railroads and managers that is the reason for formation of district committees, but the activity to which these committees have devoted themselves would be beyond the capacity of chiefs and managers of railroads alone.

Speaker. I want to talk about artels. As editor of the Journal of the Ministry of Railways, I wanted to help, and I proclaimed: «Sirs, please speak!». We did this: we have 2 editors in the editorial office. I wrote one thing, and the other deliberately disagreed with me to show how impartial we consider the issue. We waited to see if there were any objections. It was assumed that the legal department of the railway will look at it from a legal point of view and highlight this issue, but for half a year everyone is silent and, obviously, no one is interested. It is necessary to compel the Administration of the railway to provide data.

Chairman. Do you want to know my answer?

Speaker. I would like to know.

Chairman. The reason for your excitement about this is your youth as an editor. In this regard, I have some seniority over you. I would be very surprised if feedback was received on such a proposal from my side. They is no feedback. Our audience is special, and we ourselves often do not respond to received letters. We have established a department of questions and answers in the journal, and what? We had to do what you do with 2 editors, i.e., we, by asking questions, answered them ourselves, wishing to provoke an exchange of opinions by example. We had to limit ourselves to this.

[Interventions during debates]

Yu. N. Erlikh. I must say that I have read the book in question, so I am fairly aware of the speaker's views. As you can see from the report, the book contains many interesting figures, and I don't know why the speaker titled it so modestly: «Confusion». I think, with the vast experience that can be seen with the author, he understood what needs to be especially emphasised.

We are practitioners of the business, we know that we are obliged to keep too many administrative clerks, and why? The author of the book knows because we are burdened with delivering masses of information that no one wants. This information is compiled because the authorities, in theory, should know everything and we should report everything. It comes to the point that recently there was a meeting where the task was to reduce the number of reporting forms, and we were given such a requirement that the central institutions want to know how much cargo is sent in Russia per each haul of all railways in one and the other direction. When at this meeting one of the chiefs of the traffic service who was present said: «State-owned roads are 40000 versts and with private roads considered it makes only 60000 versts, and I have 2000 versts at my disposal, and I'm only interested in 2–3 loaded directions, and I'm not interested in the rest», they answered him: You can consider like that, but it is not good for us; we must know everything.

Then one of the reasons, one of the shortcomings of railways lies in labour productivity. Trouble of railways, maybe, depends on the fact that we are chasing the leveling of wages. We consider it great if the wages are chosen the same for everyone, everyone gets the same. If a working person receives as much as another, less working person, then in most cases this produces a bad effect, reduces his energy, and here you need to adhere to the system that the author correctly pointed out that people should be rewarded unevenly. This principle is opposite to the principle of public railways, which avoid it.

In private enterprises, responsible persons, although junior employees, stand out and receive much more than their colleagues. That's why they try. This is one of the methods in our common cause that is inevitable.

Then I can't agree regarding bonuses that the senior employees get too much and the juniors don't get enough. Did I get it correctly?

Speaker. No, I gave a particular example that was reported to the State Duma, that bonuses for cargo work at stations are offered to the heads of traffic service.

Yu. N. Erlikh. If we reward everyone without exception, then, no matter what kind of credit, in the end, very little will come to everyone's share, and a small increase in salary is not a bonus. Therefore, people have to be divided into those who lead the work, and those who are led. Therefore, to be successful, leaders need to be singled out. The method you indicate is practised with complete success on private roads.

With regard to the fact that success in such a business depends on the selection of employees, this is clear, but where can this be done? This can only be done on new lines. Here, suppose, the chiefs can select their own employees, but on the old lines people have served for many years, they settled down, and this selection is less accessible to the chiefs of the lines, and such a caste, about which the speaker speaks, is formed by itself from old-timers. I cannot treat this phenomenon as one that would be of great benefit. I, on the contrary, think that this leads on the railways exactly to the fact that on railways the momentum that exists when people are selected according to talent disappears. Here you have to reckon with the fact that you have to keep people who cannot but be recruited into the service. This will be an enormous burden, so that the formation of a caste I cannot recognise as a rational measure that can contribute to the progress of the railway, especially since the author himself, when he points out that in the traction service one can find the departmental behaviour, he assesses it negatively for the traction service. It would seem that if in the traction service it happens that they don't go into details who is right and who is wrong, and only defend their own employees, then it will be all the more so if all railway employees form a caste.

Then the speaker offers predestination in the choice of the head of the railroad. As I understand it, it seems that it is determined in advance that such and such a young person can be promoted to future bosses. How can I make out that one young man has the material to be a boss, and another does not? If a young man knows that he is being prepared for leadership, will it be useful?

Speaker. Regarding caste, I will say that I associate the formation of a caste with the systematic training of personnel. I did not say a single word in order to understand the caste in

such a way that every railway employee, since his parents were railway clerks, acquired the right to the title of railway employee, so that every employee, no matter how negative qualities he may be, would certainly be in the service. I don't understand this and say that if there is such a caste in the service of traction, then I point out its negative side. When a principal who is not particularly developed comes across, he will give the caste a bad direction in the sense of supporting each other at all costs. In any case, there are such a mass of railway employees that, of course, it is impossible to attach all of them to the railway. The railroads have such a mass of young people that one can choose from them; so that the wicked will not be accepted.

As for preparation of the chiefs of the railroad, there are different ways. I dwell on this method precisely because, it seems to me, persons preparing for the activity of railroad chiefs must go through a lot of posts in order to become familiar with the services, and such persons will perhaps be more competent railroad chiefs, and one can choose from among them. After the publication of this book, I received a lot of letters, and one engineer writes that I put the question in this way, that an engineer trained in this way will put forward certain requirements: I have prepared myself and should be the head of the railroad. He prepared, yes, but perhaps he has such negative talents that are unacceptable in the railroad. I do not put the question in such a way that if the engineer has done everything that I recommend, then he can demand the position of the head of the railroad. He can be the head of the service because he has shortcomings that do not give him the opportunity to be appointed as the head of the railroad.

M. A. Schukin. It seems to me that in this respect you are hardly right. From experience, we know a lot of railroad leaders who just did not go through any services and turned out to be the best railroad leaders. I won't call names, but that's how it is.

Then you say that on railways leveling exists. This is not true. Heads of stations receive from 40 rubles up to 150 rubles.

Yu. N. Erlikh. Too small as difference.

M. A. Schukin. Sorry, the difference between salaries of 40 and 150 can hardly be considered small. Differences in salaries exist in every kind of office and depend on the work that is entrusted to well-known persons, although they occupy the same title of office.





P. A. Alexandrov. I would like to say some words about the method recommended by the speaker to deal with theft. The author, on the one hand, calls for joint friendly work and, on the other hand, signs in complete impotence, i.e., says: «our network is large and extensive, but there is no order in it – let's bring the Varangians». I'm talking about the all-Russian artel «Varyag», strongly recommended by the speaker. I completely agree with Mr. Erlikh's statement about the overburdening of railway employees with work on compiling various information, to the detriment of direct duties.

How much of one statistical information that no one needs? The highly respected Ivan Ivanovich von Richter made a count of this mass of papers. He can confirm how much is being redundant, repeated. Let people do their direct business, provide them financially – and then we will cope with theft with the same means! Such an appeal to the Varangians is not needed, you just need to put things right.

Speaker. What has just been said, I sympathise with completely, and, to tell the truth, I have overlooked this. I myself, as an experienced person, suffered from the presentation of a mass of such materials, although very valuable and well-chosen. For example, in the traffic service, as a champion of this business, I tried to present the most accurate and correct information, and what was my position when I often received requests to give information. I said, let me turn to this. «No, they say – give us

information», and I had to report by dispatch that I had sent that a month ago correctly stated on paper. I forgot to write about it, but many good pages can be written about it, especially by me, as a free man. This is a big ulcer, although the correspondence saved many people from jail. Since we began to write, we have ceased to go to jail. A capable and efficient engineer went to jail for not having time to work out instructions. As for your remark, in my book I have repeatedly said that I can point out a lot of capable and efficient engineers. I could not talk about living people; I could tell about Adadurov, and this addendum was made after his death. I made an addendum because I had served 11 years with him. He was a great manager. I can name in the same manner a lot of efficient engineers, excellent administrators who did not go through the school I recommended. It depends on the talent. It would be unfortunate if we did not possess such talented elements. We would not have achieved what we have achieved now, and our position, perhaps, would be worse than it is now.

I. I. von Richter. I also have read the speaker's book with great attention, and moreover twice, and I find that the picture drawn by him is correct, but it seems to me that their causes are just as important as the phenomena themselves. I fully subscribe to the opinion, Mr. Chairman, that a historical analysis could reveal all the conditions of the present situation of the railway business. I think railways are flesh of our flesh. We have railways, which we deserve to have. Let's look

around at what is being done in Russia. Did railways work worse than the rest of the mechanism? No, not at all. We see that some are pessimistic about this case, others are optimistic. At first, I was an optimist, but I have become so pessimistic that even the fact that we are indiscriminately called swindlers does not surprise me. Why railways should form an oasis where moral purity will reign? I think that it is necessary to study all the conditions, and then everything will be clear, and we can move on to assessing the conclusions and proposals that are being made to correct the evil. I say – a careful study of history would undoubtedly reveal that for the conduct of war, as well as for the railroad business, three things are needed: money, money, and money.

All the unsatisfactoriness of our railways is made up of their loss. You know how inflated this loss is, how much water is in capital, how unreliable our balance sheets are. Recently, a questionnaire committee pointed out that neither the passive nor the active side of this balance is known to anyone exactly.

If our railroads were profitable, then we would find that everything is fine. At the present time, we, the ranks of the Office, are the scapegoats. We do not manage tariffs, we serve not only trade and industry, but also all kinds of government needs that do not appear on our balance sheet assets. Railways' authorities are subjected to unheard-of care; we cannot take a single step without being subjected to guidance, which, however, lacks unity. Here the question arose: do you need advice. I think they are inevitable: where the Minister of Railways cannot manage without the Minister of Finance and a number of other ministers, there the chiefs of railroads cannot be independent. They say that the chiefs of the railroads are bad. I leave this conclusion to the responsibility of the rapporteur and am willing to admit that this is the case. I'm not interested in facts, but in their causes. They say that the personnel is not organised. It is disorganised. We notice that over the past 50 years it has become much worse. There was no such general escaping as now. No matter how much employees are trained, they will leave us. They are paid in cash. I was in Washington, in America, and I asked what facilities the collection service had.

On a network of 2400 stations, i.e., 10 times more than on the North-Western railway, there were 200 employees, we have 800. Young ladies

receive 1800 rubles each as in our money. This is due not only to the intensity of work, but also to other conditions.

In America, railways, to avoid the control of the federal government, issue invoices only within their own lines. The accounting procedure is simple – transportation is taken into account according to the rules and regulations of domestic traffic. Comparison with our conditions shows how much easier it is, but we cannot think of anything like that.

Then it was said here about overproduction of statistics. This is the result of the influence of a whole mass of bodies that make their demands to the railways, not in accordance with the means of the latter. I have tried to classify the relevant data and have shown how great this overproduction is. I know that we are acting unsatisfactorily in all respects, both technically and economically, but why? Because on the one railroad I served on, the average age of locomotives was 37 years, and the duration of service of employees was 5,7. A samovar of this age would fit into a cabinet of curiosities. I remember back in the [18]60s an American came to Russia and asked what we were doing with old locomotives? We repair them because steam locomotives do not age. It turns out that in America they change the skin every 10 years, and we continue to put patches on the old sole. As far as employees are concerned, just the opposite is found in this area.

It is said that the station's expenses absorb huge sums of money.

40 years have passed, and piecework accounting of station expenses exists only on paper. I will allow myself to tell what happened on the Nikolaev railway: the director, the late I. F. Koenig, as a result of my statement that the condition for such accounting is the concentration of rooms and apparatus with which traffic is carried out, decided to rebuild one of the small stations. It is known that these stations have double buildings and it is necessary to keep the service in 2 buildings. This small station has a tunnel to connect all the services in one building. The deceased said: I will build this monument for you, and it will remain for the edification of posterity, but, I think, neither I nor you will live to see this moment. This is the inevitable product of our conditions. Until conditions change, this case will not change. These conditions are very diverse, and there are even censored conditions, which I cannot name, while others are openly discussed. There are so many of them that if I



start discussing them, I won't finish until tomorrow.

Speaker. I have this phrase: «*Society will see how railway world is complex and how to bring it to perfection, given the general imperfection of all departments in general and even the social environment itself, from which the figures of our vast economy are drawn*». Therefore, I understood that we cannot be perfect when others are imperfect.

Our society should condescendingly, therefore, treat the defects of the railroad.

M. A. Schukin. I am acquainted with some manufacturers and during a frank conversation I heard the opinion that the theft, which was discussed recently, is very serious in Russia, and it is quite difficult to deal with different institutions, but it is easiest with the institution that is so scolded. I heard it with my own ears.

I. I. von Richter. I think there are many exaggerations. I think they always stole before, and now, but now public opinion is reacting more. The General Charter has created many unfavourable conditions for railroads, and they steal what is badly laid down; for example, insufficient specialisation of cargo spaces and insufficient development of marshalling facilities, hindering the classification and specialisation of trains and cars, play a big role, and to eliminate this, a lot of money is needed. The recipe that is recommended is that specialisation is not something new. In order to compare the former views and wishes with the present, I took a bibliographic index compiled by the order of Count Baranov, and it turned out that then, just as now, we were interested in this specialisation. There are no specially built warehouses and tracks, and orders and circular instructions on this part have always existed. When the cargo is scattered all over the train, over all the cars that are opened at each station, then how can it not be stolen?

Yu. M. Erlikh. I will talk about the housing issue. I know the railroad, which, having carried out a quotation sheet for several million, included several hundred thousand rubles for residential premises. The line goes through the steppe area, where there is nowhere to live, and when considering the statement, a representative of the State Control objected. He said: «*it is much easier for you to give apartment money*».

M. A. Schukin. Considerations on this matter have been presented by all the state-owned railways and, as far as I know, without facing special opinions of the Control; but the Ministry

of Railways itself found it more advantageous to give out apartment money.

Chairman. In conclusion, I would like to say only that the current report was listened to with great interest. The report touched on an area that is very familiar to us, and yet, until the very end, it did not lose interest. Of course, this retention of interest belongs to the speaker himself. We must thank him for this. What will come out of this report? More facts worthy of attention will be added to the general consciousness. We often had presentations, good ones, but, unfortunately, they were of little immediate use, owing again to the general conditions that were discussed today. In the same way, if there is no success for this report, then such a result will not be the fault of the speaker or ours. Those events that we talked about, we found before, and now we have found sympathy for ourselves. It is desirable that public opinion and the authorities pay attention to this, and at least will do something of the possible. Allow me, gracious sirs, to offer to thank the speaker and his opponents, as well as those who supported him, for these messages and for the desire to improve the railways in our fatherland (*applause*).

From the editors [of Rail Business]. The above report, in its size, could not be read in its entirety, without gaps, at 1½ or 2 hours, which could be used to read it, and therefore, in the conversation that followed the report, some parts of the report remained, as it were, bypassed or unnoticed. Nevertheless, by agreement with the distinguished speaker, we decided not to exclude them and give those who wish to speak on the entire report – the opportunity to do so.

In any case, we undertake to draw the attention of gentlemen-critics to the expediency of using the material accumulated in the «Rail Business» for almost 30 years of its publication on all branches of the activity of railways and their departments according to the «*Systematic Index of Articles Placed in the Journal «Rail Business» during all years since the beginning of its publication in 1882*» and, in particular, the material predominantly related to the report in the «Personnel» section, which contains outstanding articles and notes by Mr. Shishkov, Richter, Radzig, Zaderatsky, and many others. – The advertised price of the said «Systematic Index» will be lowered.

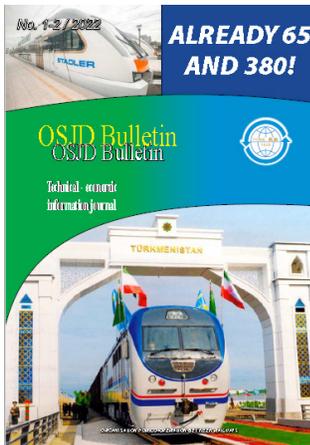
(Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business], 1911, Iss. 21–22, pp. 50d–60d) ●

T



BOOK REVIEW 218

Control and supervision in the transport industry. Rather new learning subject needs new textbooks.



PARTNER JOURNALS 222

OSJD Bulletin celebrates its 65th anniversary. What are the core results of many years of activity?

BIBLIO-DIRECTIONS

ABSTRACTS OF SELECTED D.SC. AND PH.D. THESES 230

- Improving safety of production processes at railway transport enterprises based on reduced impact of the human factor.
- Formation on the surface of a cutting tool and parts of discrete diffusive oxide layers to improve their durability.
- Energy-saving control of power installations of gas turbine locomotives.
- Mathematical and algorithmic support for calculating the performance indicators of maintenance and repair of complex equipment.
- A model for managing the energy complex of a railway enterprise based on intelligent decision-making processes.
- A model for managing the life cycle of locomotives using modern methods of technical diagnostics.



NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 240

Newly published books and texts on transport.





Legal Regulation and Organisation of Control and Supervision Activity: New Methodological Horizons for a New Discipline



Ivan V. KHOLIKOV

Ivan V. Kholikov

Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.

✉ iv_kholik@mail.ru.

Actual problems of legal regulation and organisation of control and supervisory activity: Textbook [Aktualnie problemy pravovogo regulirovaniya i organizatsii kontrolno-nadzornoj deyatelnosti: Uchebnik]. Team of authors; under general editorship of A. I. Zemlin. Moscow, KnoRus publ., 2023, 592 p. ISBN 978-5-406-10620-4.

The article is a review of the textbook «Actual problems of legal regulation and organisation of control and supervisory activity: Textbook» intended for students of transport universities studying in master's programs. The textbook was prepared by the staff of the Department of Transport Law of the Law Institute of the Russian University of Transport under the general editorship of the Honoured Scientist of the Russian Federation, D.Sc. (Law), Professor Alexander I. Zemlin. The review highlights the relevance of the topics included in the content of the textbook, the breadth of their coverage, which allows for a complete and comprehensive mastering of the didactic material, the depth of the scientific approach demonstrated by the authors in the process of working on the publication, the practical significance and potential

relevance of the textbook. The sufficiency of the material presented in the textbook is especially significant for both the students of transport educational organisations and acting inspectors of Federal Service for Supervision of Transport (Rostransnadzor) from the point of view of development of professional competencies, which are necessary for successful fulfilment of their official duties in conformity with the provisions of the Federal Law dated July 31, 2020, No. 248-FZ «On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation» valid from July 1, 2021.

The textbook is recommended as main educational literature for training of master's students in Jurisprudence and for inspectors of Rostransnadzor attending the programs of additional professional education «Legal provisions and organisation of control and supervision activity in transport industry» and «Organisational and legal foundations of control and supervision activity in transport industry». When preparing the textbook, reference legal systems «GARANT» and «ConsultantPlus» were used, the validity of laws is as of March 1, 2022.

Keywords: control and supervisory activity, transport, law, legislation, training, students, attendees, legal support.

For citation: Kholikov, I. V. Legal Regulation and Organisation of Control and Supervision Activity: New Methodological Horizons for a New Discipline. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 218–221. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-12>.

The text of the review article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи-рецензии на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

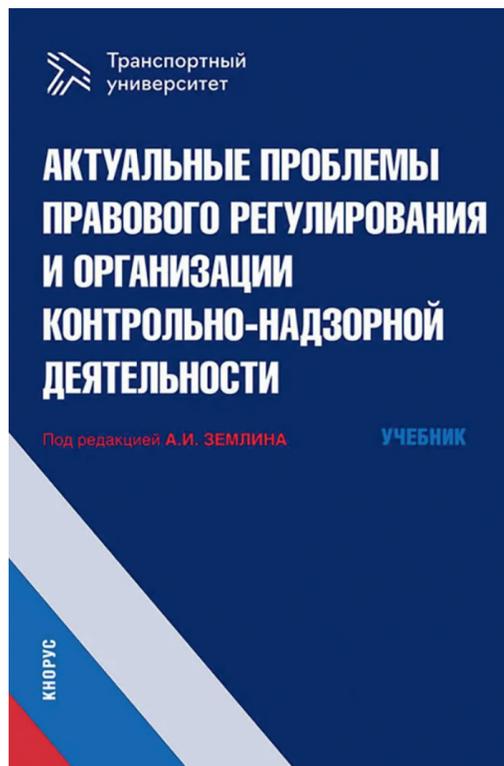
The successful functioning of the transport system implies, along with implementation of measures to ensure safety and security of the transport infrastructure [1; 2], fulfilment of international legal obligations of our state in the transport sector [3], deployment of a set of social and medical measures aimed at reducing the risk of emergencies and preserving health of people [4], reducing environmental damage [5; 6] and many others, the implementation of control and supervision activity.

The attention paid by specialists in the field of transport and legal science to the problems of legal regulation of transport relations that arise in the course of various types of activities is quite natural and is due to the needs of development of the Russian transport system [7]. The training of specialists of the transport industry in the field of legal support for their professional activities is the key to continuous improvement and development of the industry [8]. All this fully applies to control and supervision activity in transport field.

This circumstance is determined by the role played by the «human factor» together with other prerequisites and causes of violations of the rules for operation of transport infrastructure facilities and vehicles [9], as well as by the importance of transport safety and security in general, which in this area should be formed within the framework of institutional subjects of legislation, responsible for servicing the relevant industries [10], by a high degree of vulnerability of transport infrastructure facilities to acts of unlawful interference [11; 12], as well as by other circumstances that are emphasised by representatives of transport and legal science and education [13–16].

The practical significance of training highly qualified specialists for implementation of control and supervision activities in transport sector, who have systemic legal knowledge and skills in organising control (supervision), is confirmed by the results of the work of transport prosecutors, who often note the low level of both theoretical and practical background of the inspectors of the Federal Service for Supervision of Transport (Rostransnadzor), as well as of employees of controlled organisations.

At the same time, Federal Law dated July 31, 2020, No. 248-FZ «On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation», which entered into force on July 1, 2021, stipulates fundamentally new requirements for



the procedure and proceedings of control and supervision activities in the Russian Federation and imposes new requirements for training of participants in control and supervision relations.

So, the main tasks solved in the process of training a specialist are: providing students with a set of legal knowledge, skills and abilities necessary to understand principles, forms and methods of public administration, control (supervision) and their implementation in the process of official professional activity; development of students' skills and abilities necessary for effective participation in implementation of control measures, for ensuring that controlled (supervised) persons comply with requirements of the law, and mandatory requirements.

In addition, Article 29 of the Federal Law «On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation» sets the duties of an inspector, fulfilment of which presupposes that he has legal competences related to implementation of legally significant activities and exercise of rights of an inspector.

These circumstances necessitated the publication of the textbook «Actual problems of legal regulation and organisation of control and supervisory activity», which was prepared by a team of scientists, representatives of the scientific





school «Transport Law», created and functioning at the Law Institute of Russian University of Transport, which is the basic industry university, scientific, educational, and methodological centre of the national transport industry. The material presented in the textbook has been radically revised and significantly supplemented, compared with the topics presented in the printed materials previously available on the market.

While stating its timeliness, theoretical validity, and practical significance, it should also be noted that the authors set as their goal to fill the lack of educational literature necessary for the student to fulfil the duties within the future mission and in accordance with qualification requirements for persons occupying positions of the state civil service related to exercising the authority of an inspector.

When forming the structure of the textbook, the needs of transport specialists in obtaining legal knowledge in all areas of control and supervision activities were taken into account. Thus, the edition contains didactic blocks included in the work program of the discipline «Actual problems of public legal regulation of transport relations in implementation of control and supervision activities», studied by students of the Law Institute of RUT as part of the master's program within a training profile «Legal support of transport security, control and supervision and law enforcement activities in transport» in Jurisprudence. Also, the textbook is recommended as the main literature source for training in the programs of additional professional education «Legal provisions and organisation of control and supervision activity

in transport industry» and «Organisational and legal foundations of control and supervision activity in transport industry», focused on advanced training and retraining of civil service employees including inspectors of Rostransnadzor and officials of controlled (supervised) organisations.

The material contained in the textbook is presented in an accessible form, structured in accordance with the logic of mastering the knowledge necessary for a systemic perception of the problems of implementing control and supervision activities.

It should be especially noted that the publication of the textbook under review by representatives of the scientific school «Transport Law» of the Law Institute of Russian University of Transport indicates the continuation of traditions that have historically developed in the leading transport university, according to which formation of a high legal culture is the most important component of training a specialist for the needs of the transport industry [17–21].

In view of the foregoing, it seems possible to state that the textbook is written in an accessible, but at the same time, legally literate and literary language. There is no doubt that it largely compensates for the existing lack of educational literature for teaching students of transport educational organisations, students of master's programs, and fully complies with the state educational standard in jurisprudence and, of course, will be in demand not only by RUT students and students of additional professional programs, but also by Ph.D. students, scientific and pedagogical and practical employees.

REFERENCES

- Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Counteraction to terrorism. Organisational and legal support in transport industry: Study guide for bachelor's, specialist's and master's programs [Protivodeistvie terrorizmu. Organizatsionno-pravovoe obespechenie na transporte Ucheb. posobie dlya bakalavriata, spetsialista i magistratury]. Moscow, Yurait publ., 2019, 182 p. ISBN 978-5-534-10013-6.
- Zemlin, A. I., Kozlov, V. V. Life safety for transport specialties: countering terrorism in transport industry: Study guide [Bezopasnost zhiznedeyatelnosti dlya transportnykh spetsialnostei: protivodeistvie terrorizmu na transporte. Uchebnoe posobie]. Moscow, Yurait publ., 2020, 156 p. ISBN 9785534140446.
- Kholikov, I. V. International legal aspects of implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation in the field of medical support in transport industry [Mezhdunarodno-pravovye aspekty realizatsii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii v sfere meditsinskogo obespecheniya na transporte]. *Transportnoe pravo i bezopasnost*, 2018, Iss. 4 (28), pp. 93–99. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36782509>. Last accessed 11.07.2022.
- Klyonov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and Organisation Issues of Transport Occupational Health and Medical Assistance to Passengers in Russian Federation. *World of Transport and Transportation*, 2019, Iss. 3, pp. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.
- Bagreeva, E. G., Shamsunov, S. K., Zemlin, A. I. Environmental Safety Conditions in the Transport Sector by Improving the Culture of Lawmaking. *Ekoloji*, 2019, Vol. 28, No. 107, pp. 4071–4076.
- Bagreeva, E. G., Zemlin, A. I., Shamsunov, S. K. Does Environmental Safety Depend Upon the Legal Culture of Transport Specialists? *Ekoloji*, 2019, T. 28, No. 107, pp. 4961–4965.
- Kholikov, I. V. Legal Knowledge for Future Transport Employees. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 1 (86), pp. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.
- Kholikov, I. V. Law and Transport: Continuing the Topic. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 4 (89), pp. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253.
- Kholikov, I. V., Vovkodav, V. S. Human factor of flight safety: military legal aspects [Chelovecheskiy faktor bezopasnosti poletov: voenno-pravovye aspekty]. *Voennoe pravo*, 2017, Iss. 6 (46), pp. 177–179. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30585308>. Last accessed 11.07.2022.
- Zemlin, A. I., Timonina, I. V., Khimich, T. M. [et al]. Legal support of professional activity for transport specialties: Textbook [Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatelnosti dlya transportnykh spetsialnostei: Uchebnik]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Yurait publ., 2019. Ser. 68 Professional education (3rd ed., rev. and enl.), 478 p. ISBN 978-5-534-07281-5.
- Zemlin, A. I., Zemlina, O. M., Shvydchenko, O. N. Topical issues of technical regulation of metro safety [Aktualnye voprosy tekhnicheskogo regulirovaniya bezopasnosti metropolitenov]. *Vestnik Yuridicheskogo instituta MIIT*, 2018, Iss. 1 (21), pp. 87–101.
- Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the 13th International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, Singapore, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
- Artamonova, S. N., Rasulov, A. V., Pishchelko, A. V. [et al]. Legal support of professional activity (for students of transport universities): Textbook [Pravovoe obespechenie professionalnoi deyatelnosti (dlya studentov transportnykh vuzov: Uchebnik)]. Ser. 76 Professional education (1st ed.). Moscow, Yurait publ., 2020, 398 p. ISBN 9785534136555.
- Dukhno, N. A. [et al]. Transport law: Textbook for bachelor's and specialist's studies [Transportnoe pravo: Uchebnik dlya bakalavriata i spetsialiteta]. Ed. by N. A. Dukhno, A. I. Zemlin. 2nd ed., rev. and enl., Moscow, Yurait publ., 2019, 380 p. ISBN 978-5-534-09760-3.
- Chernogor, N., Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 203 (107), art. 05019. DOI: 10.1051/e3sconf/202020305019.
- Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, Vol. 666, pp. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
- Petrov, Yu. I., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M. The Genesis of the System of Administration of the Transport Routes and of the Transport Law in Russia (9th to 18th centuries). *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 260–277. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-260-277.
- Zemlin, A. I., Petrov, Yu. I. Experience of Legal Regulation and Organization of Transport Specialists Training at the Imperial Moscow Engineering School: 1896–1913. *Herald of an archivist*, 2021, Iss. 1, pp. 248–258. DOI: 10.28995/2073-0101-2021-1-248-258.
- Artamonova, S. N., Gots, E. V., Zemlin, A. I. [et al]. Legal culture: Textbook [Pravovaya kultura: Uchebnik]. Ed. by A. I. Zemlin. Moscow, Yurait publ., 2022, 522 p. ISBN 978-5-534-15223-4.
- Zemlin, A. I., Kholikov, I. V. Axiological approaches to formation of the legal culture of a transport specialist in modern conditions [Aksiologicheskie podkhody k formirovaniyu pravovoi kultury spetsialista-transportnika v sovremennykh usloiyakh]. Collection of scientific works of IZISP «Legal values in the light of new paradigms of development of modern civilization». Moscow, Infra-M publ., 2020, pp. 403–411.
- Zemlin, A. I. Formation of the legal culture of a specialist in transport as a condition for implementation of the Transport Strategy and achievement of national goals of socio-economic development of Russia [Formirovanie pravovoi kultury spetsialista na transporte kak uslovie realizatsii Transportnoi strategii i dostizheniya natsionalnykh tselei sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossii]. In: Transport security and countering terrorism in transport: legal and organizational aspects. 2nd International Scientific Forum. Russian University of Transport, Law Institute. Moscow, RUT publ., 2021, pp. 21–28. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47471414>. Last accessed 11.07.2022. ●

Information about the author:

Kholikov, Ivan V., D.Sc. (Law), Professor, Main Researcher at the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, iv_kholik@mail.ru.

Article received 23.06.2022, accepted 13.07.2022.





65 Years of Publishing Activity of OSJD Bulletin



Miroslaw ANTONOWICZ,
Sergey KABENKOV

Keywords: OSJD, OSJD Bulletin, railways.

The double issue 1–2 (2022) of OSJD Bulletin contains material dedicated to the 65th anniversary of its publishing activities.

The welcome message by the OSJD Committee Chairman Miroslaw Antonowicz and Editor-in-Chief Sergey Kabenkov highlights that more than 380 issues have been published since the inauguration of the Bulletin.

Throughout its long history, the multilingual technical and economic information specialised journal has been fulfilling its most important function as an OSJD press organ with dignity and to the full extent, having become a kind of «spotlight» for popularising the OSJD activities in the field of development and improvement of international railway transport, highlighting on its pages all the most important events both in the activities of the Organisation and in the life of the railways of the OSJD member countries, observers and affiliated enterprises, as well as

The OSJD Bulletin – the edition of the Organization for Co-Operation between Railways – celebrates its 65th anniversary. Being of the same age as the organisation itself, Bulletin has been diligently informing about its activities, acquainted the readers with all their aspects, and with the achievements of its members, revealed the most important projects, popularised scientific and engineering ideas.

With the kind consent of our colleagues from editorial board of OSJD Bulletin, we present the main content of the article by the OSJD Committee Chairman Miroslaw Antonowicz and Editor-in-Chief Sergey Kabenkov published in the anniversary issue.

other international organisations being partners for cooperation.

Foundation, Background and Development of the OSJD Bulletin

The journal was founded in accordance with the decision of session II of the OSJD Ministerial Conference held in Beijing in 1957, where the Minister of Railways of the USSR Boris Beshchev proposed to start publishing the OSJD Bulletin journal in Chinese, German and Russian languages to popularise the decisions and recommendations adopted by the OSJD governing bodies, as well as for the exchange of information on the experience and achievements of the railways of the OSJD member countries. The journal began to be published in 1958 6 times a year in Chinese, German and Russian, and since January 2015 the German version has been replaced by the English one.

For citation: Antonowicz, M., Kabenkov, S. Yu. 65 Years of Publishing Activity of OSJD Bulletin. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 222–229. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-13>.

*The text of the article in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

For 60 years, the journal, like the entire Organisation as a whole, has managed to undergo the important stages of formation and development. The journal has played and continues to play an important role in popularising the activities and decisions of the Organisation for Co-Operation between Railways, bringing together the personnel of railways in all OSJD member countries.

The very first publication in the first issue of the journal in 1958 (the first editor-in-chief at that time was Heinz Heiss – a representative from Germany) was an article by the Chairman of the OSJD Committee – representative of the Polish State Railways Henryk Drażkiewicz dedicated to the OSJD foundation, its structure and main fields of activities.

Subsequently, the journal published on its pages the articles by the ministers in charge of railway transport in the OSJD member countries, heads of OSJD railways, OSJD observers and affiliated enterprises, governing officials and members of the OSJD Committee, specialists and experts in the field of railway transport from all OSJD member states.

At the initial stage of its functioning, the journal was printed in black and white option using a letterpress (or typographical) printing technology. The simplicity of the printing process using this technology, the ease of making a printing plate, clear lettering, even strokes and contours of letterpress prints have made letterpress printing method dominant for a long time.

With the development of digital technologies and computerisation in all areas of human activity the new tendencies in the journal printing and publication appeared in the late 90s – early 2000s



Pic. 1. Henryk Drażkiewicz.

(the chief editors at that period were A. Glonti, L. Slobodinyuk and A. Filimonov): there was a transition to electronic typing of articles using personal computers, which greatly improved, accelerated and simplified the preparation of materials for their subsequent printing.

The technology of printing itself has also changed, with modern digital types of offset printing being introduced: computer-to-plate or CtP. Greater attention has also been paid to the journal's exterior design, where digital photo technologies have become more widely used, thus leading to the creation of its existing design: colourful, variegated, using photographic pictures illustrating the main topics of the articles in each issue. The use of the latest computer technologies has made it possible to improve the quality of editorial and publishing preparation, illustrative material, design, technical and printing performance, as well as the efficiency and relevance of the information provided.

It is worth mentioning that the Editorial Board of the Journal, represented by the highest-

OSJD: 65 Years in Service of the World's Railways 1956-2021



2021 is a significant year for the Organisation for Co-Operation between Railways (OSJD): it turns 65. All those years of OSJD's continuous development were filled with significant events and changes both in the Organisation's activities and in the economic and geopolitical situation in the Eurasian space.

Mirosław ANTONOWICZ, Chairman of the OSJD Committee, dwells in his article on the stages the OSJD has passed through in its development in the course of 65 years of its activities, as well as on the challenges and tasks it is facing at present.



Pic. 2. In 2021, OSJD celebrated its 65th anniversary, to celebrate this event the OSJD Bulletin published in its issue 1-2 (2021) an article by Mirosław Antonowicz, Chairman of the OSJD Committee, dedicated to the history in the Organisation's development and its activities at the present stage.



Pic. 3. Front covers of the issues of OSJD Bulletin of previous years.

level specialists of various OSJD commissions and PWGs from various countries, makes an invaluable contribution to the preparation, publication and further distribution of materials during various events in all corners of the Eurasian space. Of great importance and value is the contribution of the OSJD Committee members, representatives of the ministries and railways of the OSJD member countries, observers and affiliated enterprises, cooperation partners from other international organisations – UNECE, UNESCAP, EU (DG MOVE), OTIF, CIT, EAEU, CSZT, UIC, ERA, CCTT, WCO, UPU, FIATA, FTE, FERRMED, ECO, etc., from other publishing houses of the Eurasian space – Bahnfachverlag (Germany), Gudok, RZD-Partner, Eurasia-Vesti, Railways of the World, World of Transport and Transportation, Innovations of Transport, Educational and Methodological Centre for Railway Transport (UMC ZDT) (Russia), Zheleznopoten Transport (Bulgaria) and others.

In connection with the ever-increasing role of the English language in international relations, starting from January 2015, the journal has begun to be published in English, replacing the German version. All this, together with the improved quality of the content of the articles, contributed to an increased demand among readers in various

countries and to an increased competitiveness among railway periodicals.

Today's OSJD Bulletin

In recent years, following the requirements of the time and progress in the field of digital technologies, the editorial staff of the journal was also entrusted with the task of providing the operation of the OSJD Website, which made it possible not only to more quickly inform readers about the most important events in the activities of OSJD and its member railways, but also ensure the exchange of relevant documents for the fulfilment of the tasks set by the working bodies as part of the implementation of their work plans and programmes. The information relating to the structure, membership, tasks and activities of OSJD is published on the Website, all documents are posted up to date: SMPS and SMGS Agreements and their Service Instructions, Rules for the use of passenger coaches (PPW) and freight wagons (PGW) in international traffic, tariffs (MPT, MTT and ETT), Harmonised Commodity Code (GNG), contracts, agreements, memoranda, leaflets and all other documents adopted and valid within the OSJD framework.

Currently, the journal is issued in three languages (Russian, Chinese and English)



Fig. 4. Home page of the OSJD Website, supported in Russian, Chinese and English.

6 times a year with the following information related to:

- decisions and recommendations adopted by the sessions of the Ministerial Conference, meetings of the Conference of General Directors and the OSJD Committee;
- the meetings of the OSJD working bodies and their main outcomes;
- cooperation between railways in the field of international railway traffic between the countries of Europe and Asia, including combined transport;
- the progress of the International Conference on the adoption of the text of the Convention on Direct International Railway Traffic;
- issues connected with the transport policy, economic, legal and environmental aspects of railway transport;
- aspects arising from conventions and agreements on international passenger and freight traffic by rail and other legal documents and tools related to the international transportation, including the rules and tariffs;
- the interaction of railways in the field of the rules for the use of rolling stock and rules for the technical operation of lines on which international transportation is carried out;
- the topical issues of improvement and development of railway transport, on the activities of the railways of the OSJD member countries, as well as OSJD observers and affiliated enterprises and other railways;
- cooperation and joint work of OSJD with other international organisations dealing with railway transport issues;

- the exchange of experience between the ministries of transport and railways in the field of operational activities, introduction of new equipment and advanced technologies, including the digitalisation of the transportation process, improving economic performance, as well as other issues;

- reference information for practical use by the OSJD specialists and experts.

In recent years, due to the structural and economic changes taking place all over the world, including on the railways of the OSJD member countries, with the transition of railway transport to market relations, more and more articles began to appear related to financial and economic activities and structural reforms of the railways.

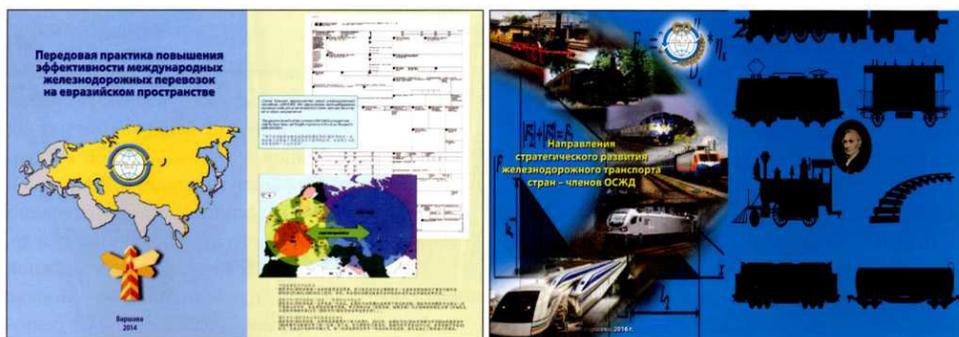
Meanwhile, recently such new subjects of current interest are covered as «Work on the adoption of the text of the Convention on Direct International Railway Traffic», «Improving the competitiveness of railway transport», «Facilitation of border crossing procedures in international railway passenger and freight traffic», «Work on the improvement of transport law and on the creation of a unified transport law», «Expanding the use of the unified CIM/SMGS consignment note for international freight railway traffic», «International experience», «Logistics», «High-speed traffic», «Environmental protection and traffic safety», «Digital technologies and digitalisation processes in transport».

The Bulletin is distributed in the OSJD member countries, dispatched to the OSJD





Pic. 5. Editions published by OSJD Bulletin.



Pic. 6. In 2014 and 2016, the OSJD Committee published two collected works with articles and materials under the titles «Best Practices for Improving the Efficiency of International Railway Transport in the Eurasian Space» and «Directions for the Strategic Development of Railway Transport in the OSJD Member Countries».

observers and affiliated enterprises, subscribers, as well as forwarded within the framework of information exchange to other international organisations and publishing houses dealing with the railway transport industry – in total it is distributed in more than 50 countries of the world.

Of course, the functioning of the OSJD Bulletin journal would not have been possible without active support from the ministries of transport and all railways of the OSJD member countries, observers and affiliated enterprises, without interaction with the international organisations in the field of transport and other publishing houses dealing with the railway transport industry. Therefore, it is worth expressing gratitude to everyone for the assistance and cooperation provided.

Events to Commemorate the 50th Anniversary of the OSJD Bulletin

On 8–9 December 2008, the OSJD Committee in Warsaw hosted 2 events dedicated to the 50th anniversary of the journal and the release of its 300th issue: an anniversary meeting of the Editorial Board and the International Seminar on the subject «The role of specialised railway periodicals in the development of railways». The events were attended by the heads and members of the OSJD Committee, members of the Editorial Board of the OSJD Bulletin, chief editors and representatives of specialised railway publishing houses, press services, railways and international organisations in the field of transport. In total, more than 50 delegates from 27 countries attended the first-in-the-history-of-railways forum of



Fig. 7. Participants in the jubilee meeting of the Editorial Board of the OSJD Bulletin journal and in the international workshop on the subject «Role of Specialised Railway Periodicals in the Development of Railways», dedicated to the 50th anniversary of the journal foundation and publication of its 300th issue (08-09.12.2008, OSJD Committee).

the railway publishing houses of the OSJD member and observer countries.

The representatives of the railway media made presentations and reports on the work of their publishing houses. As part of the discussions and exchange of opinions, close business relations were established between the representatives of the railway media branch from various countries, which further contributed to a more efficient and high-quality exchange of information in the field of operation and development of railways in the OSJD area.

All delegates expressed their great gratitude to the OSJD Committee and the editorial staff of the Bulletin for the great work being done to popularise the activities of the OSJD and its member railways, as well as for bringing together the specialised media in the field of railway transport. They were unanimous in their opinion that the exchange of experience between industry publishers was of vital importance, as the market conditions they had to live in required a strong competition for attracting more customers, readership, modern technologies, distribution and dispatch. Only by strengthening cooperation and interaction, by combining efforts aimed at popularising the activities of the railways of the OSJD member countries, it is possible to reach an increased level of competitiveness of railway transport, attract clientele for passenger and freight traffic onto the railways, and develop railway transportation both in international traffic between Europe and Asia as well as within the countries.

International Recognition of the OSJD Bulletin

The «OSJD Bulletin» journal has repeatedly become a winner of various international prizes and rewards in the field of publishing multilingual specialised railway periodicals, including of the International Transport Award «Golden Chariot», as well as in the International Competition of Publications «University Book – 2019», etc.

Within the framework of the XXVIII International Book Fair, which was held in Moscow from 2 till 6 September 2015, on 3 September a solemn ceremony of awarding the winners of the III International Competition «University Book – 2015» was held, where the OSJD Committee was awarded diplomas of the 1st degree and a medal in the branch of «Equipment and technology of land transport» in the nominations: «The best printing publication» – for the publication of the technical and economic information journal «OSJD Bulletin» and «The best foreign periodical on railway transport» – for highlighting topical problems of the railway transport evolution and development.

On 6 September 2019, as part of the business programme of the XXXII Moscow International Book Fair at VDNH in Moscow, a solemn meeting and award ceremony for the winners of the International Competition of Publications «University Book – 2019» in the branch of «Material and technology of land transport» were held,





Fig. 8. Diplomas of the 1st degree and a medal awarded to the OSJD Committee as a winner in the III International Competition «University Book – 2015».



Fig. 9. Awards for OSJD for the best printed periodicals in foreign languages in the field of «Material and technology of land transport».



Fig. 10. Diploma of the 1st degree in the nomination «Best in Printing Quality» following the outcomes of the VI International Competition of periodicals «University Book – 2021 / Transport».

where the Organisation for Co-Operation between Railways (OSJD) was awarded highranking awards and won the title of laureate in the field of publishing specialised railway periodicals in foreign languages (Russian, Chinese and English), including: «Report on the Activities of the Organisation for Co-Operation between Railways», the journal «OSJD Bulletin» and a collection of articles and works «Directions of Strategic Development of Railway Transport in the OSJD Member Countries».

On 16 November 2021, within the framework of the exhibition «Transport of Russia» (16–18 November, Moscow), the award ceremony for the winners of the VI International Competition «University Book – 2021» of publications in the field of «Transport» was held, in which the «OSJD Bulletin» journal was awarded a Diploma of the 1st degree in the nomination «Best Printing Quality».



Pic. 11. Participants in the joint meeting of the UIC-OSJD Terminology Group (Paris, October 2015).

Cooperation in the Field of Multilingual Terminology Unification

For many years, the editorial staff of the journal has been cooperating with the UIC Terminology Group in the field of producing thematic thesauri on railway subjects, including electronic ones, in order to generalise and standardise the terminology used in translations into working languages in international cooperation activities in various areas of railway transport. Since the OSJD Bulletin is published in three languages (Russian, Chinese and English), this work is of great importance for the unification and standardisation of terminology when translating articles and information in these languages in terms of solving technical issues of functioning and improving electronic dictionaries, developing terminology management software, practical use of electronic dictionaries in work, etc.

2022, like the previous two years, began in the difficult conditions of the pandemic and related restrictions. Despite this, the activities of

the Organisation and the railways of its member countries continue to be carried out in accordance with the approved plans and programmes of work, including thanks to the use of modern technologies and means of communications. During this difficult period, OSJD demonstrates its stability and ability to adapt flexibly to the new operating conditions. The OSJD Bulletin continues its work to popularise the activities of the Organisation in these difficult conditions, and we hope that our readers will continue to be able to satisfy their information needs in the field of railway transport on the journal's pages.

Of course, the publication of the OSJD Bulletin would not have been possible without the active support and participation of the management, specialists and experts of the ministries and railways of the OSJD member countries, members and working staff of the OSJD Committee members of the editorial board of the journal, as well as representatives of OSJD observers and affiliated enterprises and organisations – partners for cooperation. ●



**SELECTED ABSTRACTS OF D.SC.
AND PH.D. THESES SUBMITTED
AT RUSSIAN UNIVERSITIES**

The texts of the abstracts originally written in Russian are published in the first part of the issue.

Тексты авторефератов на русском языке публикуются в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-14>
World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 230–240

Berestok, N. O. Improving safety of production processes at railway transport enterprises based on reducing the influence of the human factor. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie bezopasnosti proizvodstvennykh protsessov predpriyatii zheleznodorozhnogo transporta na osnove snizheniya vliyaniya chelovecheskogo faktora. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 24 p.

The train traffic is the technical and technological basis for production processes of a transport enterprise. The continuous repetition of accidents, derailments, train collisions and the prerequisites for them, for almost the same reasons, is associated with the human factor. According to statistics, 90 % of all incidents occur due to violation of the rules and regulations governing the actions of employees. This indicates that the existing system for prevention of violations of train traffic safety in organisation of the transportation process is not sufficiently effective.

Increasing the level of safety of industrial transport processes by traditional methods due to significant amounts of capital investments in the short term is an unlikely option. Therefore, the study of the issue of improving safety by reducing the negative impact of the human factor seems to be relevant.

The objective of the thesis is to develop a methodology for assessing the level of safety of production processes of railway transport enterprises, taking into account the influence of the human factor.

To achieve this goal in this study, it is necessary to solve the following tasks:

- To analyse existing approaches to safety management of industrial transport processes.
- To structure safety violations of production transport processes.
- To substantiate the tools for obtaining expert data on the relationship between types of violations and signs of safety culture.
- To propose an approach to assessing the impact of the human factor on safety of production transport processes.
- To substantiate the technology of cluster analysis of violations of train traffic safety rules, considering the influence of the human factor.
- To develop a methodology for assessing the level of safety of production processes of railway transport enterprises, considering the influence of the human factor.
- To test the developed methodological solutions and offer recommendations for minimising the negative impact of the human factor on ensuring safety of production transport processes.

As a result of the research carried out in the thesis, the scientific problem of developing a methodology for assessing the level of safety of production processes of railway transport enterprises was solved, considering the influence of the human factor. The main scientific and practical results obtained are as follows.

The analysis of the state of safety of production transport processes was carried out, which showed that the human factor has a significant impact on the level of safety and development of methodological tools for assessing this impact is required.

A hypothesis has been put forward about the connection between violations actually committed by employees and signs of safety culture which is a new tool for the activity of railway enterprises in ensuring safety of train traffic. The hypothesis is confirmed by expert assessments obtained during the thesis research.

A specific structuring of safety violations of production transport processes was carried out, which made it possible to reduce the variety of single violations to a specific number of their types, which have a stable character, which makes it possible to streamline

their processing and analysis in specific production situations.

A methodology has been developed for assessing the level of safety of production transport processes, taking into account the influence of the human factor. The technique includes:

- Comprehensive average assessment of the overall level of safety for the established types of violations.

- Average expert assessment of the degree of connection between violations and signs of safety culture.

- A method for quantifying the level of safety of production transport processes, considering the influence of the human factor.

- Cluster analysis used to obtain structured information that complements the generalised average estimates.

Approval of the methodology on the example of 2018 data made it possible to establish the following values of average estimates:

- Average assessment of the relationship of violations with signs of safety culture: 0,27.

- The level of safety of production transport processes without considering the influence of the human factor: 0,35.

- The level of safety of production transport processes considering the influence of the human factor: 0,31.

The Harrington scale, modified by the author, is proposed for the qualitative characteristics of quantitative assessments of the level of safety of production transport processes. Its modified version differs from the original one in more stringent requirements for the interpretation of quantitative estimates. The value of 0,31 on the Harrington scale and on the scale proposed in the thesis for assessing the safety violation of production transport processes, considering the influence of the human factor, corresponds to a low level of safety.

A cluster analysis toolkit is proposed that allows obtaining information that supplements the average estimates necessary for making managerial decisions to improve the safety level of production transport processes and reduce the negative impact of the human factor. The toolkit includes a method of expert assessments

for establishing a connection between types of violations and signs of safety culture, nine clusters of violations with their author's grouping according to aspects of safety culture, the author's interpretation of the content of each cluster.

The fact of a close connection between safety violations committed by employees of the enterprises of traffic organisation of JSC Russian Railways, with the mistakes of students of a transport university when they work with the author's test content has been established. An explanation for the existence of such a relationship is given.

Recommendations are proposed to improve the safety level of production transport processes and reduce the negative impact of the human factor, including at the university stage of staffing transport production.

The obtained results, conclusions and proposals have found application in the work of the department of traffic safety of JSC Russian Railways, LLC Project Technologies and the department of railway stations and transport hubs of RUT (MIIT).

Based on the results of the analysis, technological maps were developed for each cluster of violations, aimed at increasing the level of safety of production processes by minimising the influence of the human factor.

The prospect of further development of the topic is the improvement of indicators characterising a systematic approach to the culture of production at the enterprise.

05.02.22 – Organisation of production (transport).

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Chekalova, E. A. Scientific and technological bases for formation on the surface of a cutting tool and parts of discrete diffusive oxide layers to improve their durability. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Nauchnie i tekhnologicheskie osnovy formirovaniya na poverkhnosti rezhushchego instrumenta i detalei diskretnykh diffuzionnykh oksidnykh sloev dlya povysheniya ikh dolgovechnosti. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, MAI publ., 2021, 45 p.



The strategy of increasing reliability and durability of machines requires a fundamental improvement of quality of parts and assemblies of manufactured products. Successful solution to this problem is practically impossible without development and introduction of new, more advanced materials and efficient technological processes. A special place in achieving the required number of machine parts is occupied by the surface hardening of tool and structural materials.

Classically, hardening of tool and structural materials is achieved by introduction of alloying elements and heat treatment through rational control of the chemical composition and structure of materials.

At the same time for a number of the most massive and critical parts, such as compressor blades of gas turbine engines operating under the influence of high alternating loads, corrosion and erosion effects of the gas environment, which as a rule, play a decisive role in the life of engines as a whole, the problem of developing new, more efficient methods of surface hardening is very relevant.

The problem of strengthening tool and structural materials became especially acute in development of new highly loaded energy-intensive machines, in solving the problems of reducing labour intensity and cost, and significantly increasing their competitiveness in the world market.

Creation of promising gas turbine engines is inevitably accompanied by a sharp tightening of their operating conditions, an increase in the level of thermomechanical cyclic loads, the need to use more advanced tool materials, and improvement of quality of surface treatment. In this regard a very promising direction in solving the problem of increasing reliability and durability of tools and products is creation of new highly effective wear-resistant coatings.

The main cause of premature loss of efficiency of compressor blades and tools is destruction of hardening coatings. Establishing the mechanisms of wear and destruction of coatings on tool and structural materials is of paramount importance in solving the problem of durability.

Another important task is development of new, more reliable and economical industrial

technologies of formation of hardening surfaces, which ensure high stability of quality and reproducibility of physical and mechanical properties. The establishment of functional relationships between the parameters and the technological process of formation of coatings and their operational characteristics is becoming highly relevant.

An integrated approach to solving the set tasks involves, first, a deep study of the mechanisms of destruction of coatings under the influence of non-stationary thermo-mechanical loads, then a scientific substantiation of purposeful alloying of the surface layer of parts and tools to obtain specified operational properties.

The paper proposes a fundamentally new solution to the problem of durability of machine parts and tools, which consists in development of a new type of diffusion coatings with a discrete cellular structure of non-stoichiometric composition, which have increased wear resistance.

The objective of the work – to improve technological and operational properties of tools and parts by creating a surface diffusion discrete oxide layer during treatment with a corona discharge current.

The study allowed achieving the following results.

A theoretical model of durability of a sample with a diffusion discrete oxide layer has been developed for a comparative assessment of the effect of a discrete oxide layer and a continuous coating on the physical and mechanical properties of the surface layer of the material.

A new method has been developed for obtaining discrete oxide layers by the corona discharge current at low temperatures (up to room temperature) on the surface of a cutting tool and parts made of tool and structural materials, and recommended process parameters have been determined that increase durability of the cutting tool and parts under operating conditions.

The influence of the chemical composition of the gas environment and parameters of the technological process on the structure of the formed oxide layer of materials of the tool and parts being processed, and the influence of structural features of discrete oxide layers on

physical-mechanical and cutting properties the tool material and physical-mechanical properties of the structural material have been established.

The mechanism of wear deceleration of the cutting tool with a discrete oxide layer during turning and milling has been revealed.

A technique and criterion for assessing durability of materials with a discrete oxide layer by the value of the molar activation energy U_{ef} has been developed.

A method has been developed to increase durability of compressor blades for the second resource by restoring a wear-resistant coating on anti-vibration shrouds.

Equipment and technology for obtaining discrete diffusion oxide layers on instrumental and structural materials have been developed.

2.6.5 – Powder metallurgy and composite materials.

The work was performed at Moscow Polytechnic University (Moscow Poly) and scientific-research department-9 of Moscow Aviation Institute (National Research University), defended at Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI).

Grachev, N. V. Energy-saving control of power installations of gas turbine locomotives. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Energoberegayushchee upravlenie silovymi ustanovkami gazoturbinnnykh lokomotivov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2022, 16 p.

At present, one of the target tasks is to increase the efficiency of operation of gas turbine locomotives using natural gas as a motor fuel.

The object of the study was the power plant of a gas turbine locomotive. The subject of the study was the main physical processes of converting gas energy into electrical energy in the gas turbine-generator system and its control to increase the efficiency of gas turbine locomotives.

The objective of the thesis research was to increase the energy efficiency of gas turbine locomotives by improving the methods and algorithms for controlling their power plants.

The following tasks were solved in the work:

- A review and analysis of existing systems for transferring energy from a gas turbine to wheel sets of an autonomous locomotive has been carried out.

- Main physical processes of conversion of gas energy into electromagnetic energy in the gas turbine-generator system and its control have been studied.

- Mathematical models of the power plant of a gas turbine locomotive and the output power controller of the turbine-generator system of a gas turbine locomotive of the GT1h series have been developed.

- Electromagnetic processes in the traction electric drive of gas turbine locomotives of the GT1h series were studied in various modes of its operation.

- Operation of control algorithms for power plants of gas turbine locomotives was studied.

- A method for implementing the control of a gas turbine loaded on a traction generator has been substantiated to improve the efficiency of its operation at partial loads.

- In accordance with the proposed approaches to controlling a gas turbine and regulating the output power of the gas turbine-generator system, an algorithm for controlling the power of the turbine-generator system has proposed, which ensures formation of rational gas turbine loading trajectories according to the free power of the turbine in the entire range of its use, which makes it possible to reduce the specific consumption fuel consumed by a gas turbine locomotive for train traction.

- Processing of experimental data obtained during operation of gas turbine locomotives of the GT1h series Nos. 001, 002 on the public tracks of the infrastructure of Sverdlovsk Railway – a branch of JSC Russian Railways was executed using the proposed algorithm for controlling power plants of gas turbine locomotives, providing an increase in their economic efficiency.

In the thesis work, an urgent scientific and technical problem was solved, which consists in increasing the efficiency of gas turbine locomotives by improving the algorithm for controlling power plants. In the course of the



work, the following main results and conclusions were obtained.

An analysis of existing gas turbine traction systems showed that one of the priority tasks for improving the efficiency of gas turbine locomotives is to reduce fuel consumption of gas turbine engines at idle and under partial loads by improving the algorithms for controlling power plants of gas turbine locomotives.

A mathematical model of the power plant of a gas turbine locomotive has been developed, which includes models of a gas turbine engine, a traction electric drive, and an automatic control system for a gas turbine locomotive, which make it possible to study electromagnetic processes in a traction electric drive.

Based on the results of the study of electromagnetic processes in the traction electric drive of a gas turbine locomotive, using the developed mathematical model, the stability region of the PI-controller of the automatic control system was obtained and the rate of gaining a given power of the traction generator was determined.

A method for implementing the control of a gas turbine loaded on a traction generator is substantiated, which improves the efficiency of its operation at partial loads.

Limitations were determined during operation of the combined power and speed controller of the gas turbine engine and the power controller of the turbine-generator system. The limitations considered the changing speed of the power turbine shaft and the available power of the gas turbine engine in various control ranges, the speed of the power turbine shaft.

A mathematical model of the observer of the state of a gas turbine engine has been developed, designed to calculate free power of a gas turbine engine during its operation in an energy-saving mode.

According to the proposed method, an algorithm for controlling the power of the turbine-generator system has been developed, which makes it possible to form rational trajectories for loading a gas turbine in the entire range of its use.

It is shown that considering the restrictions on free power of the gas turbine engine during

operation of the output power controllers of the turbine-generator system allows one to form rational trajectories of loading the gas turbine engine.

The specific fuel consumption of a gas turbine locomotive during driving was reduced: for light trains weighing 1500 tons by 35,5 %, for trains weighing 6000 tons by 16,2 %, and for heavy trains weighing 9000 tons by 9,57 %.

The expected integral economic effect from operation of a gas turbine locomotive on Surgut–Voynovka section with heavy trains weighing 9,000 tons will be 17 478,18 thousand rubles per year with a payback period of 0,003 years due to the low cost of software changes.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Hoang Ngoc Anh. Mathematical and algorithmic support for calculating the performance indicators of maintenance and repair of complex equipment. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Matematicheskoe i algoritmicheskoe obespechenie vychisleniya pokazatelei effektivnosti obsluzhivaniya i remonta slozhnogo oborudovaniya. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Irkutsk, IrGUPS publ., 2021, 18 p.

The development of engineering and technology has led to creation and improvement of methods and means of ensuring reliable operation of equipment for various purposes. These tools include reliability methods, as well as monitoring and diagnostic tools for complex equipment.

The reliable functioning of the equipment is largely determined by the system used for its maintenance and repair. In this regard, in our country and abroad, various technologies for its maintenance and repair are being developed and improved. Maintenance and repair of equipment takes place in conditions of limited financial resources, therefore, various methods of system analysis, mathematical and simulation modelling are widely introduced into organisation of repair works.

The thesis research is devoted to the study of maintenance and repair of complex equipment in conditions of uncertainty and limited financial resources. The thesis recommends a maintenance and repair procedure for complex equipment using an insurance fund that performs two functions:

1) Accumulates payments with a given frequency to perform various types of repair work.

2) Pays for these works as necessary. A mathematical description of the state of the insurance fund at time t is proposed to be carried out based on a special type of risk process used in the mathematical theory of risk.

To model this risk process, it is proposed to use a simulation approach that involves creation of a simulation program based on the event method, which creates sample values of time points when there are no financial resources to perform equipment repairs. These values are then processed according to the proposed algorithms to obtain the values of equipment maintenance efficiency indicators. The search for models for evaluating the effectiveness of the repair work of complex equipment during its operation is an urgent task that needs to be solved. All the above justifies the relevance of the chosen topic of the thesis work and allows us to formulate its objective and tasks.

The objective of the thesis work is to increase the efficiency of managerial decision-making through development and application of mathematical, algorithmic and software for calculating indicators that evaluate the maintenance and repair of complex equipment during its operation.

To achieve this objective, it was necessary to solve the following tasks:

- To create mathematical software, using the risk process, to simulate the maintenance and repair of equipment using an insurance fund that performs the functions of accumulating payments at different intervals and paying for these works as needed.

- To select probabilistic models used in describing the components of the risk process and necessary for modelling time intervals between repairs and the costs of their implementation.

- To develop an algorithmic support for calculating the efficiency indicators of maintenance and repair of equipment based on simulation data.

- To create a software package for modelling and comprehensive research of maintenance and repair of complex equipment according to the proposed performance indicators.

- To test the created algorithmic and software for influencing factors based on computational experiments with a simulation program for the selected initial data.

The object of research in the thesis work is maintenance and repair of complex equipment during its operation. The subject of the thesis research is mathematical and algorithmic support in relation to the calculation of the proposed indicators of risk and reliability in maintenance of equipment based on the results of simulation modelling.

As a result of the thesis research, the following main results were achieved.

The formalisation and formulation of the problem of a systematic approach to maintenance and repair of complex equipment with the use of an insurance fund that performs the functions of accumulating payments at various intervals and paying for these works has been completed. For a mathematical description of the state of this fund, it is proposed to use a special type of risk process.

The probabilistic models used to evaluate the components of the risk process are selected. These models describe time intervals between repairs and the costs of their implementation. As these models, the following are chosen: the Pareto distribution with a zero point, the gamma distribution, the Birnbaum–Saunders distribution, etc.

A special algorithmic software for information processing has been created, containing probabilistic models and algorithms for obtaining simulation results using an event-based approach and a calendar of events of a special type according to three main influencing factors:

- a) The method of ensuring the excess of revenue over expenditure.

- b) Share of payments by types of repair work.

- c) Frequency of payments.



Algorithms have been developed for calculating performance indicators based on the results of simulation modelling in the form of point and interval estimates of resource-costly and financial risks and reliability indicators «Denial of service» for financial reasons.

A software package has been developed based on a simulation program that uses an event approach, which makes it possible to conduct computational experiments and implement the developed methods and algorithms for evaluating performance indicators that characterize the maintenance and repair of complex equipment. The software package is implemented in MatLab programming language. There are two certificates of state registration of the created programs.

Using one of the programs, testing of the module required for the modeling program was carried out. Testing has shown that mathematical and software for evaluating reliability indicators has the necessary accuracy and can be recommended for the main simulation program.

Four tasks of a comprehensive study of the effectiveness of repair work of complex equipment are formulated. The first three tasks use assessments of resource-intensive and financial risks as indicators for comparing options, the fourth task uses assessments of the «Denial of Service» reliability indicators. This made it possible for the first time to conduct a comprehensive study based on 30 computational experiments with a modeling program and 120 options for evaluating performance indicators and obtain practically important results: the excess of revenue over expenditure must be done at the expense of the initial annual value of the insurance fund; the frequency of payments should depend on the type of repair work and the initial data; the share of payments must be different.

2.3.1 – System analysis, management and information processing.

The work was performed out at Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky, defended at Irkutsk State Transport University (IrGUPS).

Osipova, V. E. A model for managing the energy complex of a railway enterprise for intellectual support of decision-making

processes. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Model upravleniya energeticheskim kompleksom zheleznodorozhngo predpriyatiya dlya intellektualnoi podderzhki protsessov prinyatiya reshenii. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Irkutsk, IrGUPS publ., 2021, 17 p.

A feature of operation of railway transport facilities is the uneven load of the system over time, which makes it difficult to form a complete initial database characterizing the system under consideration.

The variety and uncertainty of factors describing the state of its individual elements does not allow full use of the data of one of the existing accounting systems of the railway industry (ACSTP), as a result, makes it difficult to make a decision to control the technological process. The operating modes of the specialised equipment of such objects are usually distinguished by the presence of strict time limits and the complexity of describing changes that characterise the state of the system at a certain point in time.

All this contributes to development of complex mathematical models for the purpose of making managerial decisions. The most promising of which is the application of fuzzy set theory. Thus, the relevance of the thesis research is due to the need to improve the methodology for formation of the fuel and energy balance of the energy supply system based on the theory of fuzzy sets.

The objective of the thesis work is to improve the management system of the energy complex of a railway enterprise by effectively forming the fuel and energy balance based on system analysis, developing a mathematical model and methodology for managing fuel and energy resources.

To achieve this objective in the course of the thesis research, it was necessary to solve the following tasks:

- To conduct a systematic analysis of the initial data uncertainty and study the principles and features of operation of the fuel and energy resources consumption management system of the energy complex of a railway enterprise (TER EKZhP).

- To determine the selection criteria, the main systemic links and patterns of functioning

of EKZhP, to create a base of rules for managing consumption of fuel and energy resources.

- To develop a mathematical model for managing the consumption of TER EKZhP.

- To evaluate and to analyse the adequacy of the results of the developed management models, to determine the economic effect of implementation of the proposed model.

- To propose a method for managing consumption of TER EKZhP based on the theory of fuzzy sets using the rule base of fuzzy inferences and fuzzy controllers.

The object of the study is the system for managing the consumption of fuel and energy resources of the energy complex of a railway enterprise. The subject of the study is mathematical methods for managing the consumption of fuel and energy resources of a railway enterprise, methods of fuzzy control and fuzzy conclusions, and the methodology for forming a balance of fuel and energy resources created on their basis.

As a result of the thesis research, new scientific results were obtained aimed at improving the efficiency of the fuel and energy resources consumption management system of the energy complex of a railway enterprise. The practical application of the results of the study will improve the efficiency of technical systems management, as well as reduce the cost of energy supply.

A systematic analysis of uncertainty of the initial data and the features of operation of existing fuzzy control models in relation to EKZhP has been performed, the sampling criteria and the main interdependencies between the parameters of the system under consideration have been determined.

Equations are proposed for determining the «centre of gravity» in the process of defuzzification based on the Mamdani–Sugeno algorithm, which formed the basis of a mathematical model for controlling the consumption of TER EKZhP.

A new algorithm for formation of the fuel and energy balance of EKZhP has been developed, which provides an increase in the efficiency of decision-making under conditions of uncertainty, through the use of the mathematical apparatus of fuzzy logic.

The software implementation of the developed model for managing the consumption

of fuel and energy resources EKZhP has been implemented. The economic effect from introduction of the proposed methodology is a reduction in operating costs for the purchase of fuel and energy resources by 2–4 %.

A methodology for formation of the fuel and energy balance is proposed, focused on improving the efficiency of decision-making using modern methods of information processing, in conditions of uncertainty of the initial data.

2.3.1 – System analysis, management and information processing.

The work was performed and defended at Irkutsk State Transport University (IrGUPS).

Semenov, A. P. A model for managing the life cycle of locomotives using modern methods of technical diagnostics. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Model upravleniya zhiznennym tsiklom lokomotivov s ispolzovaniem sovremennykh metodov tekhnicheskogo diagnostirovaniya. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 39 p.

In the world and domestic practice of technical maintenance and repair (TMR) of traction rolling stock, there is a tendency to move from a planned preventive system to repair, considering the actual technical condition. At the same time, there is a transition to integrated maintenance and repair management throughout the entire life cycle of the locomotive, for which a life cycle contract for service TMR is concluded with the manufacturer. These trends are due to development of automated control systems (ACS) for production, microprocessor control systems for locomotives (MCS), automated technical diagnostic systems (ASTD) – built into equipment, on-board based on MCS, depot portable and stationary ASTD.

The mass introduction of cyber-physical production systems allows us to talk about the «fourth industrial revolution», the methods of which should be comprehended and applied, including in the locomotive repair complex. Scientific and practical study of the new technology of ACS TMR is required. The



development of a model for managing the life cycle of locomotives using modern methods of technical diagnostics and the principles of building ACS is relevant.

The thesis develops scientific foundations of locomotive reliability management through the development of a locomotive life cycle management model using modern methods of technical diagnostics.

The object of the study is traction rolling stock of railways, the locomotive life cycle management system, the locomotive maintenance and repair system using automated systems for technical diagnostics of locomotive equipment.

The objective of the thesis work is to increase reliability and efficiency of TRS operation through improvement of the TMR system by switching to a locomotive life cycle management model with the integrated use of modern diagnostic systems (hereinafter referred to as the Model).

The thesis substantiates technical and technological proven solutions in the field of locomotive life cycle management (LCL), the implementation of which makes a significant contribution to the development of the locomotive repair complex of Russian railway transport.

A technological model of an automated locomotive life cycle management system (ACS LCL) has been developed, which is a cyber-physical production system that combines, according to the principle of internal interoperability, automated systems for technical diagnostics of locomotive equipment (ASTD), including on-board and built-in, technological equipment with microprocessor control and automated control systems for technical maintenance and repair (TMR) of locomotives (using the methods of Industry 4.0, quality management systems, lean manufacturing, service maintenance, etc.), as well as combining, according to the principle of external interoperability, all automated control systems involved in the life cycle of a locomotive: automatic design of equipment for locomotives (CAD), automated control systems for locomotive construction and locomotive repair plants, automated control systems for operating organisations (including automated

control systems for JSC Russian Railways), automated control systems for maintenance and repair of service companies with decision support functions. At the heart of the Model, it is proposed to create a database management system (DBMS) «Locomotive Life Cycle» (LCL), for which the procedure for its formation and updating is described.

The analysis of the world and domestic experience in managing the life cycle of locomotives was carried out using literary sources and own experience. The analysis showed that, along with the planned preventive system of service TMR, which remains the basis, there is a tendency to use data from on-board ASTD based on microprocessor control systems for locomotives (MCS), which enter ACS TMR via a radio channel in real time (online) for additional individual planning the volume of TMR. Both foreign leaders in locomotive building and domestic companies have experience in using the data of on-board and built-in ASTD when organizing service TMR of locomotives. At the same time, it is important to combine the technological processes of monitoring and diagnosing with the technological processes of planning in ACS TMR. World and domestic experience are used in the developed Model.

A method has been developed for evaluating the efficiency of using traction rolling stock (TRS) through the efficiency factor K_{AP} : the ratio of the time the locomotive is in the state of «traction in the head of the train» according to the classifier ASOUP JSC Russian Railways to the total operating time (in fractions of a unit or percentage). Appropriate software was developed in the Visual BASIC for Applications (VBA) algorithmic language in the MS Excel environment, with the help of which an analysis was made of operation of the domestic locomotive fleet: 8 series of electric locomotives and 4 series of diesel locomotives) for 400–500 days of their operation (taking into account TMR, this is the year of operation). The size of a representative sample guarantees reliability of the results obtained. It has been proven that, on average, locomotives have $K_{AP} = 48\%$ with simultaneous non-compliance with the requirements of service contracts for reliability. At the same time, there are individual

locomotives, which, according to the results of work for the year, have $K_{AP} \geq 75\%$. Losses in operation $\Delta K_{AP} = 25\%$, in anticipation of TMR $\Delta K_{AP} = 14,4\%$, during TMR $\Delta K_{AP} = 5\%$. At the same time, TMR takes about 10 % for electric locomotives and 20 % for diesel locomotives of the total time budget. Thus, the optimal model of the life cycle of locomotives is an important reserve for increasing the efficiency of their operation, both by increasing the efficiency of using locomotives and by increasing the efficiency of service TMR, incl. by reducing the downtime at TMR to the level of the standard and above.

The analysis of reliability indicators taken in the locomotive life cycle contracts (LCC) between JSC Russian Railways and locomotive suppliers by failure categories according to the classifier of KAS ANT failure accounting system of JSC Russian Railways showed that the categories of failures are more dependent on the operating conditions of locomotives and not on hardware manufacturers. A probabilistic-statistical method has been developed to establish the relationship between reliability indicators provided for by the standard and the indicators taken in the LCC.

A method for evaluating the information efficiency of technical diagnostic systems from the standpoint of the theory of knowledge (epistemology), information theories, automatic control and digitalization has been developed. The Shannon formula taken as a basis is supplemented by the statistical probability of a failure and the cost of eliminating a failure in specific units. The coefficient of information efficiency of ASTD is introduced as the ratio of its information content according to the proposed formula to the total information entropy of the object of diagnosis. The proposed method was used to analyse the information efficiency of the most common automated technical diagnostic systems (ASTD). It has been proved that on-board ASTD have limited information content even with the expansion of their functionality, therefore it is impossible to exclude depot stationary and portable ASTD from TMR system.

A method has been developed for technical and economic evaluation of effectiveness of implementation of ASTD by simulation

modelling in the MS Excel environment using a program specially developed on VBA for monthly calculation of the net present value of the project (NPV). It is proved that the use of all types of existing ASTD equipment for locomotives is not economically feasible. The effectiveness of the use of on-board ASTD, automated systems for rheostatic tests of diesel generator sets, vibration tests of wheel-motor units and a number of other ASTD has been proven.

A method has been developed for an operational expert assessment of the duration of TMR during its organization with individual planning for the scope of repairs for each section, taking into account the diagnostic data of the totality of all ASTD. The method is based on probabilistic-statistical modeling of duration of individual repair operations in order to probabilistically estimate the expected maintenance and repair time for each specific section of the locomotive. To test the method, the corresponding software was developed in the MS Excel environment in VBA.

The practical implementation of TMR system according to the proposed locomotive life cycle model (LCL) was carried out in Bratskoye service locomotive depot at Vikhorevka station (East Siberian Railway) of the LocoTech group of companies in relation to AC electric locomotives with rectifier-inverter converters manufactured by NEVZ. The implementation of the model made it possible to significantly increase the efficiency of the depot (downtime at maintenance and repair was reduced by three times, the availability factor was brought back to normal, logistic losses were reduced by 30 %, etc.), thereby proving the effectiveness of the proposed technical and technological solutions based on the results of theoretical studies. It is planned to replicate the technology in all service locomotive depots of the Eastern range of JSC Russian Railways, serving similar electric locomotives.

The prospect for further development of the topic is:

- Adaptation of the developed model and TMR technology for other series of locomotives.
- Encapsulation in ACS TMR of all proposed mathematical control methods to





increase the efficiency of TMR system according to the proposed Life Cycle Management Model.

- Expanding the functionality of onboard ASTD by installing additional sensors, developing ASTD built into the equipment itself, developing additional methods for predicting the residual life of the equipment and the locomotive as a whole.

- Further integration of all types of ASTD into ACS TMR, into the information systems «Digital Depot» and «Digital Railway» (ISUZhT).

05.22.07 – *Railway rolling stock, train traction and electrification.*

The work was performed and defended at Russian University of Transport. ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles in Russian is published in the first part of the issue.

Список на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-15>

Artemiev, B. V., Artemiev, I. B., Vlasov, A. I. [et al]. Pipeline systems: engineering workshop: Study guide [*Truboprovodnye sistemy: inzhenernyy praktikum: Ucheb. posobie*]. Moscow, Bauman MSTU, 2022, 104 p. ISBN 978-5-7038-5807-3.

Busurin, V. I., Makarenkova, N. A., Shleenkin, L. A. Fundamentals of obtaining information in measuring and control systems: Study guide [*Osnovy polucheniya informatsii v izmeritelnykh i upravlyayushchikh sistemakh: Ucheb. posobie*]. Moscow, MAI publ., 2022, 102 p. ISBN 978-5-4316-0890-2.

Davdiev, K. A., Omarov, A. Z. Car and engine repair: Study guide [*Remont avtomobilei i dvigatelei: Ucheb. posobie*]. Moscow, Infra-M publ., 2022, 356 p. ISBN 978-5-16-014999-8.

Kobzev, V. A., Alaev, M. M. Innovative technical means for ensuring safety of securing trains on station tracks: Monograph [*Innovatsionnye tekhnicheskie sredstva obespecheniya bezopasnosti zakrepleniya sostavov na stantsionnykh putyakh: Monografiya*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2022, 100 p. ISBN 978-5-907555-68-6.

Kravchenko, V. A., Panichkin, A. V., Bozhanov, A. A., Lomakin, D. O. Ground transport and technological machines: cars and tractors: Textbook [*Nazemnie transportno-tekhnologicheskie mashiny: avtomobili i traktory: Uchebnik*]. Oryol, Turgenev OSU, 2022, 310 p. ISBN 978-5-9929-1197-8.

Kuznetsov, S. M. Computer-aided design of electric transport devices: Study guide [*Avtomatizirovannoe proektirovanie ustroystv elektricheskogo transporta: Ucheb. posobie*]. Novosibirsk, NSTU publ., 2022, 102 p. ISBN 978-5-7782-4672-0.

Lubentsova, E. V., Lubentsov, V. F. Theory of automatic control. Theoretical foundations for synthesis and analysis of linear systems: Study guide [*Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Teoreticheskie osnovy sinteza i analiza lineinykh sistem: Ucheb. posobie*]. Krasnodar, KubSTU publ., 2022, 227 p. ISBN 978-5-8333-1104-2.

Modestova, S. A., Voronov, V. A., Shalygin, A. V. Transport and storage of liquefied gases: Study guide [*Transport i khraneniye szhizhennykh gazov: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Lema publ., 2022, 83 p. ISBN 978-5-00105-719-2.

Naigert, K. V., Rozhdstvensky, Yu. V. Workflows and the basics of calculating the hydraulic drives of a car: Study guide [*Rabochie protsessy i osnovy rascheta gidroprivodov avtomobilya: Ucheb. posobie*]. Chelyabinsk, SUSU publ., 2022, 76 p.

Peschansky, A. I. Semi-Markov models for prevention of an unreliable single-channel queuing system with losses: Monograph [*Polumarkovskie modeli profilaktiki nenadezhnoi odnokanalnoi sistemy obsluzhivaniya s poteryami: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2022, 266 p. ISBN 978-5-16-017734-2 (print).

Pimenov, A. T., Barakhtenova, L. A., Dyakova, K. S. Ways to improve stability of the foundations of highways [*Sposoby povysheniya ustoychivosti osnovanii avtomobilnykh dorog*]. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2022. ISBN 978-5-7795-0936-7.

Rozhitsky, D. B. Non-traction power engineering of railway transport. Rationing the consumption of fuel, energy and water resources: Monograph [*Netyagovaya energetika zheleznodorozhnogo transporta. Normirovaniye toplivno-energeticheskikh i vodnykh resursov: Monografiya*]. Moscow, RAS publ., 2022, 322 p. ISBN 978-5-6047616-3-2.

Stepanov, S. N., Chernykh, L. G., Khrustaleva, I. N. [et al]. Design and assembly of a car. Calculation of traction characteristics: Study guide [*Proektirovaniye i sborka avtomobilya. Raschet tyagovykh kharakteristik: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Politekh-Press, 2022, 94 p. ISBN 978-5-7422-7679-1.

Tyulkin, V. A. Theory of similarity in estimating the parameters of the temperature regime of a car engine [*Teoriya podobiya v otsenke parametrov temperaturnogo rezhima dvigatelya avtomobilya*]. Tyumen, Tyumen Industrial University, 2022, 58 p. ISBN 978-5-9961-2821-1.

Vlasova, E. P., Kostolomov, E. M., Losev, F. A. [et al]. Operation of power equipment of oil pumping stations: Study guide [*Ekspluatatsiya energeticheskogo oborudovaniya nefteperekachivayushchikh stantsii: Ucheb. posobie*]. Tyumen, TIU publ., 2022, 130 p. ISBN 978-5-9961-2808-2.

Zub, I. V., Ezhov, Yu. E., Stenin, N. N. The use of handling equipment and vehicles for handling large-capacity containers: Monograph [*Ispolzovaniye podemno-transportnogo oborudovaniya i transportnykh sredstv dlya obrabotki krupnotonnazhnykh konteynerov: Monografiya*]. St. Petersburg, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2022, 250 p. ISBN 978-5-9509-0468-4.

Compiled by N. OLEYNIK ●

NEW PUBLIC TRANSPORT FOR THE REGIONS



In 2022–2024, 1161 new vehicles for mass transit systems will arrive in 21 urban agglomerations thanks to the national Safe High-Quality Roads project. For these purposes, about 10 billion rubles will be allocated from the federal budget.

Within the framework of the national project, much attention is paid not only to compliance of the country's road network with standards, but also to updating of urban public transport. It is very important that the rolling stock is comfortable and modern because of its impact on the safety of passengers. In the next three years, the regions will receive 934 buses, 200 trolleybuses and 27 trams.

The new vehicles will be delivered to Novosibirsk, Tula, Omsk, Volgograd, Chelyabinsk, Cheboksary, Nizhny Novgorod, Perm, Sochi, Kursk, Orenburg, Petrozavodsk, Ufa, Bryansk, Astrakhan, Ulan-Ude, Saratov, Tomsk, Izhevsk, Vladivostok and Ryazan urban agglomerations.

The list of regions to which the vehicles will be supplied was approved by the Ministry of Transport of Russia following the results of the competitive selection. In total, applications were received from 44 regions. When considering them, the commission assessed the level of development of public transport in cities. The selection criteria comprised the availability of contactless fare collection systems, the organisation of dedicated lanes for public transport, the availability of approved transport planning documents, compliance with the schedule, and several other indicators.

The public transport vehicles' supply program within the framework of the national project is operated by JSC «State Transport Leasing Company». Rolling stock will be purchased at a significant discount using the mechanism of preferential leasing.

All vehicles purchased under the national project are equipped in accordance with modern requirements and provide comfortable and safe

transportation of passengers, considering the needs of citizens with disabilities and low-mobility groups of the population, vehicles have a low floor and folding ramps. Besides, all the vehicles intended for the regions under the national project are environmentally friendly.

Thanks to the national Safe High-Quality Roads project in 2020–2021, 1131 new buses, trolleybuses and trams have already been delivered to the regions.

In 2022, thanks to the implementation of the federal project «Development of Public Transport» within the national Safe High-Quality Roads project, 333 vehicles will be delivered to 9 urban agglomerations. 310 new buses will be delivered to the Chelyabinsk, Astrakhan, Nizhny Novgorod, Perm, Sochi, Kursk and Ulan-Ude agglomerations, 23 trolleybuses to the Novosibirsk and Bryansk agglomerations. For these purposes, more than 2,5 billion rubles are provided from the federal budget.

«In the nearest future, we will renew bus and trolleybus fleets in 9 urban agglomerations under the national Safe High-Quality Roads project. We will send 333 vehicles to the regions. These are new buses and trolleybuses. We are steadily developing the road system in the regions. Traveling by car across the country is becoming safer and more convenient. But without the development of public transport, our cities, especially large ones, in a few years can simply stand in traffic jams. Therefore, it is important to create the conditions that trips by public transport are not inferior to personal cars in terms of comfort», said Deputy Prime Minister Marat Khusnullin.

Compiled based on the news of the press centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation:

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10293>,

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10300> ●



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 20, Iss. 3, 2022

Editor-in-Chief Boris Lyovin

For your letters:
Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel. +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:
127994, Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Российский университет
транспорта,
Издательство «Транспорт РУТ»
Тел.: (495)6842877
e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >