

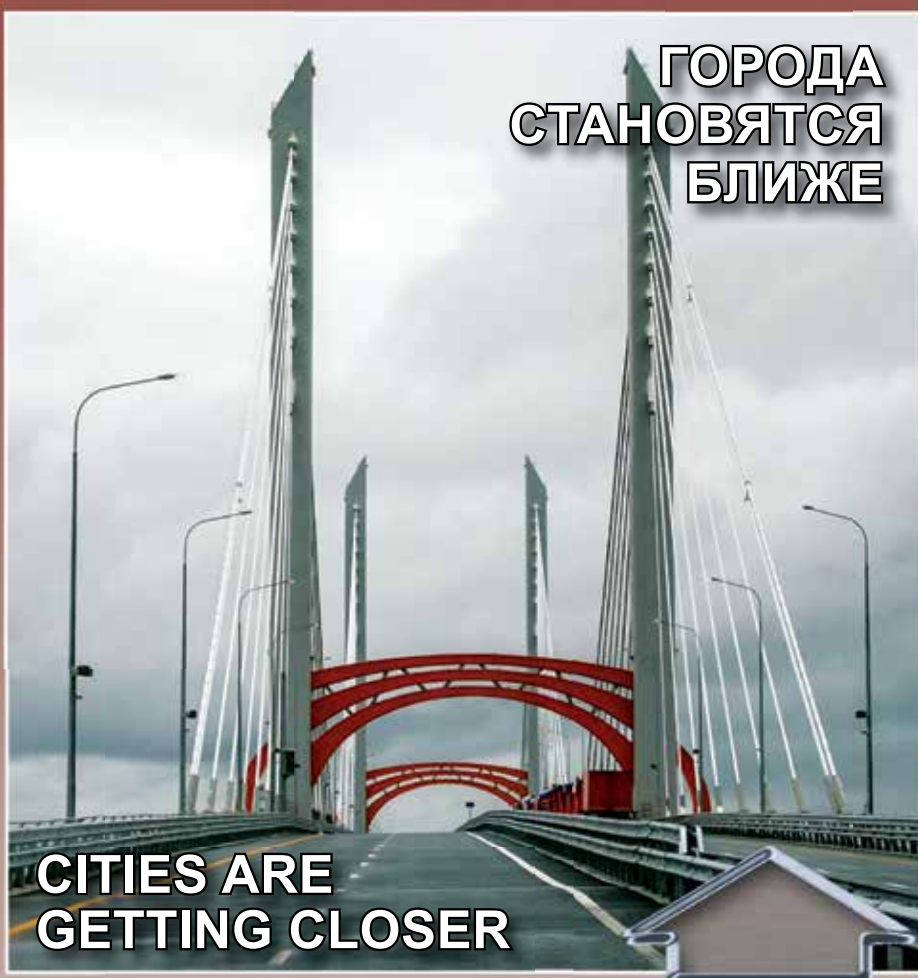
Т

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

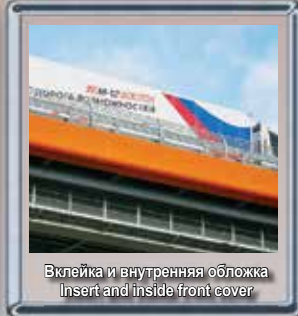
**WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION**

4 2023
Том / Vol. 21



**ГОРОДА
СТАНОВЯТСЯ
БЛИЖЕ**

**CITIES ARE
GETTING CLOSER**



Вклейка и внутренняя обложка
Insert and inside front cover



АВТОДОРОГА М-12 ОТКРЫТА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ОТ МОСКВЫ ДО АРЗАМАСА

8 сентября 2023 года Президент Российской Федерации В. В. Путин дал старт движению по федеральной автодороге М-12 «Восток» от Москвы до Арзамаса.

Глава государства в своём выступлении поблагодарил всех, кто принимал участие в реализации этих масштабных проектов. «Благодаря вашему профессионализму в состав трассы вошли, без преувеличения, уникальные сооружения – имею в виду мост через Оку около Муром. Его длина почти одна тысяча четыреста метров, и это первый мост с вантовой системой, разработанной и сертифицированной целиком в России», – отметил Президент страны.

Также Владимир Путин подчеркнул, что сегодня сделан ещё один значимый шаг в модернизации и расширении сети федеральных дорог, в повышении связанности наших территорий. «От таких качественных, современных автомагистралей, от эффективных маршрутных, транспортных узлов во многом зависит укрепление национальной экономики и промышленности, а в конечном итоге качество жизни наших граждан, рост деловой и туристической активности. Потому наши планы в сфере дорожного строительства будут обязательно расширены и, уверен, реализованы в полном объёме. В том числе это касается дальнейшего развития магистрали «Восток», о которой я уже сказал. Её предстоит продлить до Казани, а затем до Екатеринбурга и Тюмени, а в перспективе – и до других регионов России, регионов Сибири и Дальнего Востока, – заявил Президент. – И конечно, важно, чтобы поездки на уже открывающихся участках были комфортными и безопасными. Для этого их нужно обеспечить устойчивой мобильной связью и интернетом, причём сделать это надо в максимально корот-

кие сроки, а также построить заправки, точки питания и площадки для отдыха».

Протяжённость маршрута составляет 415 километров, в том числе 308 км введённых в этот день участков. Строящаяся магистраль от Москвы до Казани является частью международного транспортного маршрута «Россия» – одного из главных проектов по развитию дорожной инфраструктуры от Санкт-Петербурга до Владивостока. С учётом уже открытых в 2022 году отрезков трассы М-12 время в пути от Москвы до Арзамаса сократится с семи до трёх с половиной часов. В свою очередь, открытие северного направления Московского скоростного диаметра, проходящего через столицу, соединило трассы М-12 и М-11.

В декабре 2023 года автомобилисты поедут по М-12 до Казани, потом до Екатеринбурга. Эта дорога станет частью транспортного маршрута «Россия» длиной 12 000 км от Санкт-Петербурга до Владивостока.

М-12 соединяется с другими дорогами. С открытием нового участка также ввели в эксплуатацию Южный обход Арзамаса – 9,4 км. Он выведет поток транзитного транспорта из города, поможет развитию паломническо-туристического кластера «Арзамас – Дивеево – Саров» в Нижегородской области.

Всего уже в первые выходные после открытия новой трассой от Москвы до Арзамаса воспользовались более 88 тыс. автомобилей.

**По материалам пресс-центра
Министерства транспорта
Российской Федерации:
[https://mintrans.gov.ru/
press-center/news/10855](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10855),
[https://mintrans.gov.ru/
presscenter/news/10865](https://mintrans.gov.ru/presscenter/news/10865) ●**

ТРАНСПОРТ

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

4 2023
(107)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ТЕХНИКА

Аскар ЗАКИРОВ, Фаррух НАЗАРОВ

Численный метод расчета плоских течений вязкого газа в цилиндре . . . 6

*Александр АДАДУРОВ, Виктор ФЕДОРИНИН,
Сергей БЕХЕР, Михаил ГУЛЯЕВ*

Возможности мониторинга динамического воздействия
подвижного состава на верхнее строение пути
с использованием тензометрии и виброметрии 12

Вячеслав ДЯТЛОВ, Сергей ОРЛОВ, Валерий ПОПОВ

Совместное влияние циклических нагрузок
и коррозии на техническое состояние
металлоконструкций эскалаторов метрополитена 21

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

*Ефим РОЗЕНБЕРГ, Алексей ОЗЕРОВ,
Валерий КУЗНЕЦОВ, Сергей ТИХОНОВ*

Сравнительная оценка параметров движения поездов
для различных вариантов виртуальной сцепки 30

Евгений РУБЦОВ, Сергей КУДРЯКОВ, Яков ДАЛИНГЕР

Методика оценки сокращённых критических зон радиомаяков
системы посадки ILS на примере аэродрома Горно-Алтайск 40

Андрей ШИНКАРУК

Техническая подготовка к планово-предупредительному
ремонту двухэтажного подвижного состава 53

*Надежда ФИЛИППОВА, Абакар АБАКАРОВ,
Аликади АМИРОВ, Шамиль ИГИТОВ*

Применение цифровой инфраструктуры и телематических
систем с целью повышения безопасности перевозок
и дорожного движения при эксплуатации транспорта
в горных условиях 62

Иван ХОЛИКОВ

Правовое регулирование военно-транспортной обязанности
в Российской Федерации 72

Издаётся

Российским университетом
транспорта.

Учреждён МИИТ в 2003 году

Редакционный совет:

И. Н. Розенберг – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, научный руководитель РУТ (МИИТ), председатель совета

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

А. Д. Гвишиани – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН

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

Б. В. Гусев – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН

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

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

Н. С. Касимов – доктор географических наук, профессор, академик РАН

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

Г. Г. Матишов – доктор географических наук, профессор, академик РАН

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)

К. А. Пашков – доктор медицинских наук, профессор РАН, профессор Московского государственного медицинского стоматологического университета им. А. И. Евдокимова

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

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

А. А. Соловьев – доктор физико-математических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН

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

В. Я. Цветков – доктор технических наук, доктор экономических наук

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. Н. РОЗЕНБЕРГ –
главный редактор
Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
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
М. М. ЖЕЛЕЗНОВ –
д.т.н., профессор, доцент МГСУ
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
Н. А. ФИЛИППОВА –
д. т. н., профессор, доцент МАДИ
В. М. ФРИДКИН –
д.т.н., старший научный сотрудник РУТ
С. С. ЧИБУХЧЯН –
к.т.н., доцент Национального политехнического университета Армении, заместитель Председателя республиканского союза работодателей Армении
В. А. ШАРОВ –
д.т.н., профессор РУТ
А. К. ШЕЛИХОВА –
руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

Н. К. ОЛЕЙНИК –
технический редактор
М. В. МАСЛОВА –
английский перевод

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2023

БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

*Николай МАХУТОВ, Михаил ГАДЕНИН,
Валерий КОССОВ, Дмитрий КНЯЗЕВ, Николай КРАСЮКОВ*

Развитие риск-ориентированных подходов к определению повреждаемости и ресурса объектов железнодорожного транспорта 80

Дмитрий ГОРДЕЕВ, Александр ТОМАЕВ

Сценарный анализ перспектив применения альтернативных видов топлива в автомобильном транспорте в России 88

Александр ЛИМАРЕВ, Михаил ВОРОТНИКОВ

Сравнительная оценка перспективности применения электромобилей на водородном топливном элементе. 99

Яриан РЕЙЕС СУАРЕС, Валентин БАЛАБИН, Яной Морехон МЕСА

Выбросы загрязняющих газов (CO и CO₂) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания. 106

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Роль транспорта в формировании «эффекта выдвигения» в древних и средневековых обществах 112

Николай СЕМЕНОВ

Как сохраняли раритеты транспорта 122

Пресс-архив

Двадцатипятилетие инженерной и учёной деятельности

Н. А. Белелюбского (доклад А. Н. Горчакова в Императорском Русском техническом обществе в 1892 году) 133

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Лариса КАРГИНА

Управление дорогами с математической точностью 142

Авторефераты диссертаций 146

Новые книги о транспорте 150

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. Номер подписан в печать 27.11.2023.

Тираж 150 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.

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 21 2023
Iss. 4

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

Igor N. Rozenberg, D.Sc.(Eng),

Professor, Corresponding Member of
the Russian Academy of Sciences,
Academic Supervisor of the Russian

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, D.Sc. (Eng),
Professor, Corresponding Member of
the Russian Academy of Sciences

Alexey D. Gvishiani, D.Sc.
(Phys-Math), Professor, 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

Nikolai S. Kasimov, D.Sc. (Geo),
Professor, Member of the Russian
Academy of Sciences

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

Gennady G. Matishov, D.Sc. (Geo),
Professor, Member of the Russian
Academy of Sciences

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

Konstantin A. Pashkov, D.Sc. (Med),
Professor of the Russian Academy
of Sciences, Professor of A.I.
Yevdokimov Moscow State University
of Medicine and Dentistry

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

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

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

Anatoly A. Soloviev, D.Sc. (Phys-
Math), Corresponding Member of the
Russian Academy of Sciences,
Professor of the Russian Academy
of Sciences

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

Victor Ya. Tsvetkov, D.Sc.
(Economics), D.Sc. (Eng)

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

SCIENCE AND ENGINEERING

Asqar Kh. ZAKIROV, Asqar Kh. NAZAROV

Numerical Method for Calculating Plane Flows
of Viscous Gas in a Cylinder 152

Aleksandr S. ADADUROV, Victor N. FEDORININ,

Sergey A. BEKHER, Mikhail A. GULYAEV

Possibility of Monitoring the Dynamic Impact of the Rolling
Stock on the Track Superstructure Using Strain
Gauges and Vibrometry 158

Vyacheslav N. DYATLOV, Sergey V. ORLOV, Valery A. POPOV

Combined Influence of Cyclic Loads and Corrosion
on the Technical Condition of Metal Structures of Metro Escalators . . . 167

MANAGEMENT CONTROL AND ECONOMICS

Efim N. ROZENBERG, Alexey V. OZEROV,

Valery I. KUZNETSOV, Sergey S. TIKHONOV

Comparison of Train Traffic Parameters for Various
Virtual Coupling Use Cases 176

Evgeny A. RUBTSOV, Sergey A. KUDRYAKOV, Iakov M. DALINGER

Methodology for Assessing Shortened ILS LOC
and GP Critical Areas: an Example of Gorno-Altai Aerodrome 186

Andrey S. SHINKARUK

Preparation for Scheduled Preventive Maintenance
of Double-Decker Rolling Stock 199

Nadezhda A. FILIPPOVA, Abakar A. ABAKAROV,

Alikadi T. AMIROV, Shamil M. IGITOV

Improving Transportation and Traffic Safety
with Digital Infrastructure and Telematic Systems
for Mountain Vehicle Operations 207

Ivan V. KHOLIKOV

Regulation of Military Transport Obligation in the Russian Federation . .217

SAFETY AND SUSTAINABILITY

Nikolai A. MAKHUTOV, Mikhail M. GADENIN, Valey S. KOSSOV,

Dmitry A. KNYAZEY, Nikolai F. KRASYUKOV

Development of Risk-Based Approaches to Determining
the Damageability and Useful Life of Railway Transportation Assets . . .224

EDITORIAL BOARD

Igor N. ROZENBERG,
editor-in-chief
Evgeny Yu. ZARECHKIN,
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
Suren S. CHIBUKHCHYAN,
Ph.D. (Eng), associate professor
of the National Polytechnic
University of Armenia, vice-chairman
of national employer's union
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
Nadezhda A. FILIPPOVA,
D.Sc. (Eng), professor, associate
professor of MADI university
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
Maxim M. ZHELEZNOV,
D.Sc. (Eng), professor, associate
professor of MGSU university
Vladimir B. ZYLYOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport

EDITORIAL STAFF

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary
Maria V. MASLOVA,
translator
© Mir Transporta
© World of Transport
and Transportation
© English translation
© 2023. All rights reserved

Dmitry S. GORDEEV, Alexander O. TOMAEV

Scenario Analysis of the Prospects for the Use of Alternative
Fuels for Road Transport in Russia 232

Alexander S. LIMAREV, Mikhail Yu. VOROTNIKOV

Comparative Assessment of the Prospects for Hydrogen Fuel
Cell Electric Vehicles 242

Yarian REYES SUAREZ, Valentin N. BALABIN,

Yanoy MOREJÓN MESA

Emissions of Pollutant Gases (CO and CO₂) when Using Fuel
Mixtures (Ethanol-Petrol) in Internal Combustion Engines 248

HISTORY WHEEL

Dmitry A. MACHERET

The Role of Transport in Formation of the «Advancement Effect»
in Ancient and Medieval Societies 254

Nikolai M. SEMENOV

How Transport Rarities Were Preserved 264

Archival Publications

Twenty-Five Years of Engineering and Scientific Activity
of Nikolai A. Belelyubsky (report by A. N. Gorchakov
in the Imperial Russian Technical Society in 1892) 274

BIBLIO-DIRECTIONS

Larisa A. KARGINA

Road Management with Mathematical Accuracy 282

Selected Abstracts of Ph. D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 285

New Books on Transport and Transportation 288

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

107 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 150 hard copies available on subscription.

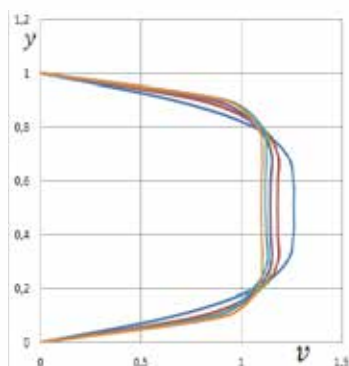
All articles in the journal are published in Russian and English, both versions
being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked with ✉.

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.

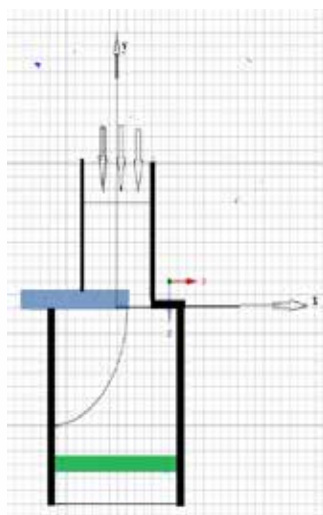
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation
of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior
written consent of World of Transport and Transportation.



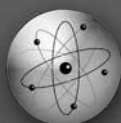
ДВС

6

Моделирование гидродинамических процессов



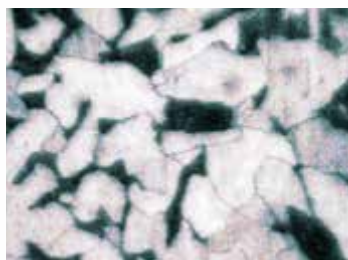
НАУКА И ТЕХНИКА



**ВЕРХНЕЕ
СТРОЕНИЕ ПУТИ**

12

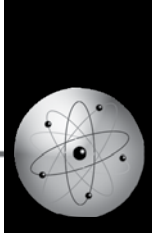
Датчики деформаций и акселерометры для мониторинга динамики вертикального прогиба и продольных механических напряжений рельсов.



МЕТРО

21

Влияние коррозии на техническое состояние эскалаторов.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 532.542

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-1>

Численный метод расчета плоских течений вязкого газа в цилиндре



Аскар ЗАКИРОВ



Фаррух НАЗАРОВ

Аскар Халилович Закиров ¹,
Фаррух Холиёрович Назаров ²

^{1, 2} Национальный университет Узбекистана
имени Мирзо Улугбека (НУУЗ), Ташкент,
Республика Узбекистан.

✉ 1asqar_z@mail.ru.

¹ ORCID ID 0000-0003-1354-1546.

² ORCID ID 0000-0002-5305-629X.

АННОТАЦИЯ

Для решения научных, технологических и экологических проблем в сфере автомобильного транспорта необходимо разработать новые математические модели. На данном этапе развития двигателей внутреннего сгорания и их частей необходимо моделирование сложных гидродинамических технологий. Это требует выявления различных форм течений жидкости и газа с произвольными начальными и граничными условиями для рассматриваемой области.

Данная работа посвящена моделированию турбулентного потока, обтекающего пластину, расположенную в цилиндре. В качестве математической модели течения ис-

пользовались осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Турбулентная вязкость рассчитывалась с помощью однопараметрической турбулентной модели Спаларта-Альмараса. Для решения системы уравнений гидродинамики применялся метод конечных разностей. Представлен численный метод расчёта плоских течений вязкого газа в цилиндре с использованием моделей турбулентности. Подходящие варианты выбирались на основе физических предположений, использованных при разработке моделей.

Разработаны рекомендации о возможности использования рассмотренных моделей турбулентности.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, моделирование турбулентного течения, газораспределительный механизм, несжимаемый газ, турбулентная вязкость, однопараметрическая модель, метод конечных разностей, метод Мак-Кормака.

Для цитирования: Закиров А. Х., Назаров Ф. Х. Численный метод расчета плоских течений вязкого газа в цилиндре // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-1>.

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

В современных условиях развития автомобильного транспорта, гидротехнических сооружений и ряда других отраслей промышленности возникла необходимость проведения исследований по более широкому классу различных вопросов, связанных с двигателями и отличающихся друг от друга по своим особенностям. Проектирование двигателя является длительным и дорогостоящим процессом из-за большого количества переменных, которые влияют на его конструкцию. Моделирование помогает анализировать различные конфигурации двигателя без его реального создания и, таким образом, снизить стоимость и время при разработке. В моделировании двигателя есть две части: моделирование потока жидкости и моделирование горения и опорожнения.

Развитие современного двигателестроения связано с совершенствованием конструкции и принципа действия двигателя. Основной энергетической установкой транспортных средств пока является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). С целью улучшения экономических и экологических показателей ДВС нужно совершенствовать существующие двигатели и процессы их работы [1–3].

В работе [4] представлено моделирование для исследования характеристик движения газа в цилиндре и теплопередачи в свободнопоршневом двигателе-генераторе с воспламенением от сжатия. Был проведён эксперимент для получения точного движения поршня для моделирования теплопередачи и потока газа, а также представлены результаты моделирования, которые показали хорошее сходство с экспериментальными данными. В [5] рассматриваются проблемы современного поршневого двигателестроения, теория рабочих процессов и методы моделирования процессов в двигателях внутреннего сгорания.

В статье [6] обобщён метод искусственной сжимаемости для расчета стационарных течений вязкого газа, который подходит для произвольных значений числа Маха. В работе [7] описывается современное состояние и представлены области применимости различных подходов к моделированию турбулентности. Приводится анализ и содержание наиболее распространенных полуэмпирических моделей турбулентности. Рассматрива-

ются примеры применения этих моделей для расчета установившегося течения в плоском канале.

Известно, что принцип работы классических двигателей внутреннего сгорания основан на преобразовании тепловой энергии сгорания топлива в механическую энергию. Все автомобильные двигатели работают на одном принципе: топливовоздушная смесь поступает в цилиндры, поршни сжимают смесь, и она взрывается. Образуется давление газа, которое толкает поршни, а за наполнение цилиндров рабочей смесью и выпуск отработанных газов отвечает газораспределительный механизм (ГРМ). ГРМ открывает и закрывает впускные и выпускные клапаны в соответствии с тактами работы двигателя. За счёт увеличения среднего эффективного давления и быстроходности поршней современное двигателестроение развивается быстрыми темпами. Высокая надёжность, ресурс, топливная экономичность и экологические показатели являются основными критериями, определяющими качество работы ДВС [8].

Основными недостатками всех существующих двигателей внутреннего сгорания с механизмами газораспределения клапанного типа является повышенное аэродинамическое сопротивление входного и выходного кольцеобразных сечений, образующее вертикальные осевые перемешивания тарелок головки клапанов относительно газообменных окон. Кроме того, как правило, конструкции ГРМ достаточно сложны, имеют низкий коэффициент полезного действия теплообмена, пониженные коэффициенты наполнения цилиндров свежим зарядом и очищения их от продуктов сгорания.

Двигатель внутреннего сгорания содержит цилиндр с верхними впускным и выпускным окнами, газораспределительный вал с эксцентриками, кинематически связанный с коленчатым валом, отличается тем, что каждое окно снабжено планчатой заслонкой. Создание высокоэффективного двигателя с ГРМ заслончатого типа связано с решением ряда вопросов, прежде всего с обеспечением соответствия современным экологическим требованиям.

Процесс газообмена в газораспределительных механизмах двигателя, обладающих наименьшим гидравлическим сопротивлением, приводится к задаче теории струй сжимаемого газа [9–11].



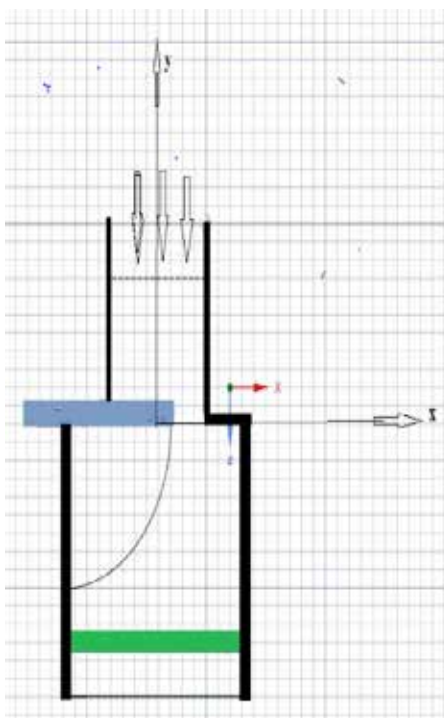


Рис. 1. Течение в цилиндрической трубе
[выполнено авторами].

Таким образом, оптимизация параметров впускной и выпускной систем в двигателях внутреннего сгорания считается основной задачей изучения газодинамических явлений и определяется следующими критериями: показателем процесса газообмена (расход воздуха, свежей смеси) и показателем процесса сгорания [3].

Для теоретического исследования газодинамических процессов в двигателях внутреннего сгорания используются различные модели течения газа. Учитывая возможности вычислительной технологии, выбор соответствующей математической модели определяется в зависимости от поставленных задач исследования.

Интерес к явлению турбулентности обусловлен его практической значимостью. Это привело к появлению множества теорий, гипотез и исследований, направленных на решение проблем, связанных с турбулентными потоками. Поскольку общих подходов к описанию такого движения жидкости и газа до сих пор не существует, в течение длительного времени разрабатывались различные подходы к описанию явления турбулентности.

В [12] приводится краткий обзор гипотез А. Н. Колмогорова по теории турбулентности

и их следствий. Для получения полной системы уравнений Рейнольдса используются современные полуэмпирические модели турбулентности. Для нестационарного течения замкнутая система уравнений вязкой несжимаемой жидкости в переменных скорость-давление решалась численным методом конечных разностей [13]. Для выполнения практических расчётов были разработаны разные модели турбулентности на основе различных предположений и подходов.

Актуальным является развитие численных методов решения систем уравнений нестационарного турбулентного течения на основе конечно-разностных схем с высокой точностью.

Целью данной работы является исследование применимости и точности результатов, полученных с использованием полуэмпирических моделей RANS-метода, на основе осреднённого по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Постановка задачи

Рассматривается турбулентное струйное обтекание пластины, установленной в цилиндр с турбулентным потоком несжимаемого газа с дозвуковой скоростью (рис. 1). Течение – изотермическое, внешние и поверхностные силы не учитываются. На бесконечности скорость газа параллельна оси Oy . Предполагается, что источник расположен в точке A . В такой же постановке получено аналитическое решение течения идеального газа в цилиндре [14].

С использованием метода сеток для рассматриваемой задачи могут быть получены аппроксимации для функции тока и вычислены компоненты вектора скорости [15].

Основные уравнения движения газа

В качестве математической модели течения используются нестационарные уравнения Навье-Стокса, осреднённые по Рейнольдсу, в декартовых координатах. Для вычисления турбулентной вязкости использована однопараметрическая модель турбулентности Spalart-Allmaras (SA) [16]. Система гидродинамических уравнений для несжимаемой среды в декартовых координатах имеет вид¹:

¹ Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Учебник. 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с. ISBN 5-7107-6327-6.

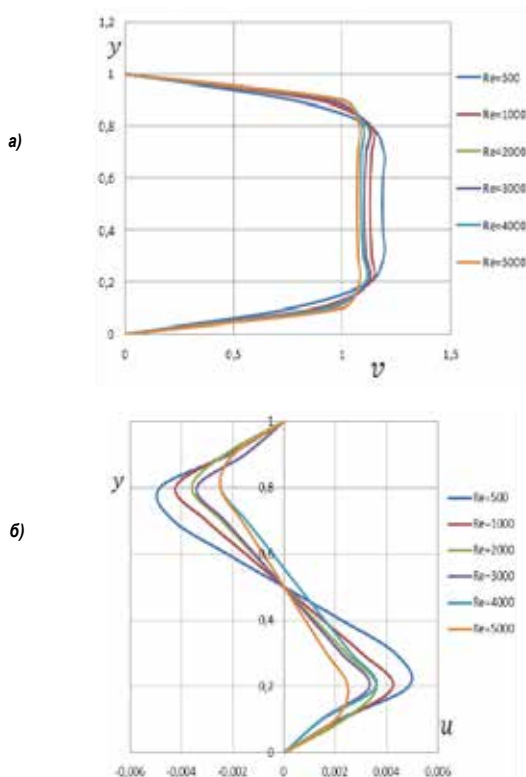


Рис. 2. Распределение профилей скорости для значений $x = 5$:
а) v – продольная составляющая; б) u – поперечная составляющая.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial u}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right), \\ \frac{d\tilde{v}}{dt} = P\tilde{v} - Dv + \frac{1}{\sigma} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right) \right] + \frac{C_{b2}}{\sigma} \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right)^2, \\ Pv = C_{b1} (1 - f_{r2}) \tilde{S}\tilde{v}, Dv = \left[C_{w1} f_w - \frac{C_{b1}}{k^2} f_{r2} \right] \left(\frac{\tilde{v}}{d} \right)^2. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь u , ϑ – соответственно продольная и вертикальная составляющие вектора скорости потока, p – гидростатическое давление, Re – число Рейнольдса, $\tilde{v}$ – линейная вихревая вязкость.

Турбулентная вихревая вязкость рассчитывается по формуле: $\nu_t = \tilde{v} f_{v1}$. Остальные величины остаются такими же, как для «стандартной» модели, представленной в [16].

На всех неподвижных твердых границах для продольной и поперечной составляющих скорости имеем

$$u|_r = 0 \text{ и } \vartheta|_r = 0, \quad (2)$$

где Γ – твёрдые границы.

Для удобства систему уравнений (1) перепишем в следующем виде:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + U \frac{\partial \Phi}{\partial x} + V \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(q \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + w.$$

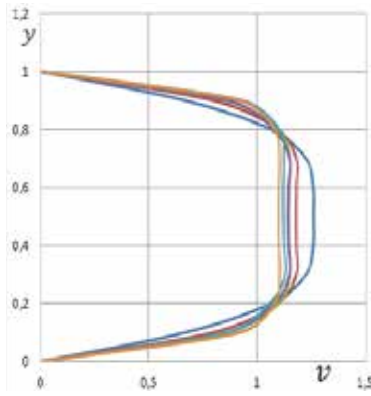
$$\Phi = \begin{bmatrix} U \\ V \\ \tilde{v} \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} (v + \tilde{v}) \\ (v + \tilde{v}) \end{bmatrix},$$

$$w = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \\ Pv - Dv + \frac{C_{b2}}{\sigma} \left(\left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right)^2 \right) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Для решения системы нестационарных уравнений гидродинамики (1) применим метод конечных разностей. Согласование полей скорости и давления является сложным процессом и представляет собой ряд проблем. По этой причине была использована сетка с разнесённой структурой расположения. Это означает, что компоненты скорости и давления определены в разных узловых точках. Такой подход дает определённые преимущества при расчёте поля давления. Схема расположения ячеек и узлов аналогична схеме метода SIMPLE [17].



а)



б)

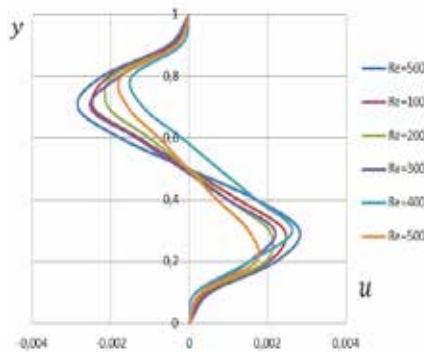


Рис. 3. Распределение профилей скорости для значений $x = 9,5$: а) v – продольная составляющая; б) u – поперечная составляющая.

Для численного решения задачи воспользуемся следующими граничными условиями:

- нормальный градиент давления равен нулю;

- на вертикальной плоскости относительно оси y использовались условия симметрии;
- на свободной границе давление постоянно.

Для численного решения данной схемы расчёта мы используем двухэтапный (предиктор-корректор) метод Мак-Кормака. Эта схема имеет второй порядок точности по времени и длине $O((\Delta t)^2, (\Delta x)^2, (\Delta y)^2)$. Условием

устойчивости является $\frac{\Delta t}{\min(\Delta x, \Delta y)} \leq 1^2$. Этот

метод является одним из вариантов двухэтапной схемы Лакса-Вендрофа, не требующих численного расчёта значений искомой функции в точках $j + 1/2$ и $j - 1/2$ [18, 19]. Для решения вышеприведённых нелинейных уравнений в частных производных также удобно использовать метод Мак-Кормака.

² Самарский А. А. Теория разностных схем: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

Для поставленной задачи уравнения гидродинамики в дискретной форме можно представить в виде:

предиктор –

$$\begin{aligned} \Phi_{i,j}^{n+1} &= \Phi_{i,j}^n - U^n \frac{\Phi_{i+1,j}^n - \Phi_{i,j}^n}{\Delta x} \Delta t - \\ &- V^n \frac{\Phi_{i,j+1}^n - \Phi_{i,j}^n}{\Delta y} \Delta t + \frac{0,5 \Delta t}{\Delta y^2} \cdot \\ &\cdot \left[(q_{j+1}^n + q_j^n)(\Phi_{i,j+1}^n - \Phi_{i,j}^n) - \right. \\ &\left. - (q_j^n + q_{j-1}^n)(\Phi_{i,j}^n - \Phi_{i,j-1}^n) \right] - w^n. \end{aligned}$$

$$\left[(q_{j+1}^n + q_j^n)(\Phi_{i,j+1}^n - \Phi_{i,j}^n) - (q_j^n + q_{j-1}^n)(\Phi_{i,j}^n - \Phi_{i,j-1}^n) \right] - w^n.$$

корректор –

$$\begin{aligned} \Phi_{i,j}^{n+1} &= \frac{1}{2} \left[\Phi_{i,j}^n + \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1} - U^{n+1} \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} \Delta t - \right. \\ &- V^{n+1} \frac{\overline{\Phi}_{i,j+1}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} \Delta t \\ &\left. + \frac{0,5 \Delta t}{\Delta y^2} \left[(\overline{q}_{j+1}^{n+1} + \overline{q}_j^{n+1})(\overline{\Phi}_{i,j+1}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}) - \right. \right. \\ &\left. \left. - (\overline{q}_j^{n+1} + \overline{q}_{j-1}^{n+1})(\overline{\Phi}_{i,j}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j-1}^{n+1}) \right] - \overline{w}_{i,j}^{n+1} \right]. \end{aligned}$$

Результаты расчётов

Расчёты проводились при следующих значениях основных параметров течения: кинематическая вязкость воздуха $\nu = 0,133 \text{ см}^2/\text{с}$, плотность $\rho_0 = 1,209 \text{ кг/м}^3$, давление $p_0 = 0,1 \text{ Мпа}$. На рис. 2, 3 приведены результаты расчёта (профили скорости) задачи

о течении газа в цилиндре, полученные по неявной схеме, для различных значений числа Рейнольдса.

ВЫВОДЫ

В этой статье представлены способы получения движения турбулентного потока в цилиндре. Определение профиля турбулентного движения в цилиндре требует длительного расчёта. Профиль турбулентного движения удобно получать с помощью метода, предложенного П. Спалартом и С. Аллмарасом.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что с увеличением числа Рейнольдса профиль скорости v меняется с ламинарного на турбулентный. При этом для ламинарного течения $v_{max} = 2v_{cp}$, а для турбулентного течения $v_{max} = 1,23v_{cp}$. Как видно из графиков на рис. 2 и 3, скорость увеличивается при ламинарном течении и уменьшается при переходе к турбулентному.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петриченко Р. М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 244 с.
2. Машкур Махмуд А. Математическая модель процессов газодинамики и теплообмена во впускной и выпускной системах ДВС // Дисс. канд. техн. наук. – СПб., СПбГПУ, 2005. – 189 с.
3. Хмельев Р. Н. Исследование влияния газодинамических процессов на функционирование ДВС // Дисс. канд. техн. наук. – Тула: ТГУ, 2002. – 144 с.
4. Yuan, C., Xu, J., Feng, H. In-cylinder heat transfer and gas motion of a free-piston diesel engine generator. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2017, Vol. 231, Iss. 8, pp. 739–752. DOI:10.1177/0957650917717627 [ограниченный доступ].
5. Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 403 с. [Электронный ресурс]: https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000305263&dtype=F&etype=.pdf. Доступ 17.05.2023.
6. Стрелец М. Х., Шур М. Л. Метод масштабирования сжимаемости для расчёта стационарных течений вязкого газа при произвольных числах Маха // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1988. – Т. 28. – № 2. – С. 254–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(88\)90237-6](https://doi.org/10.1016/0041-5553(88)90237-6).

7. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений. – СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2012. – 88 с. ISBN: 978-5-7422-3349-7.

8. Кавтарадзе Р. З., Онищенко Д. О., Зеленцов А. А., Кадыров С. М., Арипджанов М. М. Расчётно-экспериментальное исследование влияния теплоизоляции поршня и гильзы на образование оксидов азота в продуктах сгорания быстроходного дизеля // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2011. – № 4 (85). – С. 83–102. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17228197&ysclid=ln47dt9l8p367078437>. Доступ 17.05.2023.

9. Седов Л. И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. – М.: Наука, 1980. – 448 с.

10. Гуревич М. И. Теория струй идеальной жидкости. – М.: Наука, 1979. – 536 с.

11. Хамидов А. А. Плоские и осесимметричные задачи о струйном течении идеальной сжимаемой жидкости. – Ташкент: «Фан», 1978. – 140 с.

12. Мазо А. Б. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. – Казань, КГУ, 2007. – 106 с. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/320466159_MODELIROVANIE_TURBULENTNYH_TECENIJ_NESZIMAEMOJ_ZIDKOSTI. Доступ 17.05.2023.

13. Бруязцкий Е. В., Костин А. Г., Никифорович Е. И., Розумнюк Н. В. Метод численного решения уравнений Навье-Стокса в переменных скорость–давление // Прикладна гідромеханіка. – 2008. – Том 10. – № 2. – С. 13–23.

14. Закиров А. Х. Изучение течения сжимаемого газа со свободной струей в цилиндре // Труды Международной конференции «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика». – Новосибирск, 2011. [Электронный ресурс]: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/niknik-90/fulltext/40557/49562/Zakirov%20A.pdf>. Доступ 17.05.2023.

15. Закиров А. Х. Численное моделирование отрывного течения жидкости в цилиндре // XXVI Всероссийский семинар с международным участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям: Материалы докладов. Санкт-Петербург, 27 июня–1 июля 2022 года. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2022. – С. 89–90. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49818567&pf=1>. Доступ 17.05.2023.

16. Spalart, P. R., Allmaras, S. R. A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows. AIAA 1992–439. 30th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. January 1992. Published online 17.08.2012. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.1992-439>.

17. Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Taylor and Francis, 1980, 214 p. ISBN: 9780070487406.

18. MacCormack, R. W. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering. Journal of Spacecraft and Rockets, 2003, Vol. 40, Iss. 5, pp. 757–763. [Reprinted from AIAA paper 69–354, 1969]. Published online 23.05.2012. DOI: <https://doi.org/10.2514/2.6901>.

19. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т. – Т. 1: Пер с англ. – М.: Мир, 1990. – 382 с. ISBN: 5-03-001927-8. ●

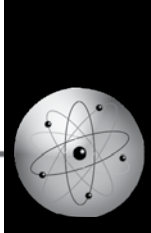
Информация об авторах:

Закиров Аскар Халилович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры механики и математического моделирования Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека (НУУз), Ташкент, Узбекистан, asqar_z@mail.ru.

Назаров Фарух Холиёрович – кандидат физико-математических наук (PhD), старший научный сотрудник института механики и сейсмостойкости сооружений, старший преподаватель кафедры механики и математического моделирования Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека (НУУз), Ташкент, Узбекистан, farruxnazar@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022, актуализирована 12.08.2023, одобрена после рецензирования 17.10.2023, принята к публикации 09.11.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1+ 625.03+539.3

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-2>

Возможности мониторинга динамического воздействия подвижного состава на верхнее строение пути с использованием тензометрии и виброметрии



Александр АДАДУРОВ



Виктор ФЕДОРИНИН



Сергей БЕХЕР



Михаил ГУЛЯЕВ

Александр Сергеевич Ададуров¹, Виктор Николаевич Федоринин², Сергей Алексеевич Бехер³, Михаил Александрович Гуляев⁴

¹ ООО «ВНИИЖТ-Инжиниринг» Санкт-Петербург, Россия.

² Филiaal Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН (КТИПМ), Новосибирск, Россия.

^{3,4} Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия.

✉ ³ behers@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Одной из приоритетных задач развития железнодорожного транспорта является повышение его эффективности за счет увеличения межремонтных сроков как верхнего строения пути, так и подвижного состава. Решение этой задачи невозможно без своевременной, полной и достоверной информации о динамике взаимодействия подвижного состава с инфраструктурой. Для организации мониторинга динамических процессов используются абсолютно разные типы первичных преобразователей: тензорезисторы, оптоволоконные датчики, динамометры (силоизмерительные подкладки), акселерометры, акустико-эмиссионные датчики. Актуальной при этом становится научно-техническая проблема сравнительных испытаний датчиков разных типов для оценки информативности их сигналов, обоснования критериев выбора первичных преобразователей при решении конкретных задач мониторинга.

Целью исследования являются сравнительные испытания съёмных тензорезистивных датчиков, оптико-поляризационных датчиков деформаций и акселерометров под

проходящим поездом и оценка их информативности для контроля прогиба рельса и обнаружения дефектов поверхности катания колес вагонов.

В исследовании с использованием конечно-элементного моделирования и физической модели рельса, представляющего собой балку на упругом основании, обоснована связь продольных деформаций с вертикальными ускорениями подшвы рельса. На опытном участке пути под проходящим поездом проведены сравнительные испытания съёмных тензорезистивных и оптико-поляризационных датчиков деформаций и акселерометров. Разработан алгоритм обработки сигналов и доказана эквивалентность средств тензометрии и виброметрии для определения прогиба рельса под проходящим поездом. Выполнено сравнение импульсных составляющих сигналов деформаций и виброускорения при движении колеса с дефектом поверхности катания, обоснованы требования к частотным характеристикам датчиков и их креплению на поверхность рельса.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, динамика колеса и рельса, деформации рельса, тензометрия, виброметрия, съёмный тензодатчик, оптико-поляризационный датчик, акселерометр.

Финансирование: работа частично поддержана средствами государственного бюджета по государственному заданию № 3.2023-ГЗ, регистрационный номер ЕГИСУ НИОТКР 123063000030-0.

Для цитирования: Ададуров А. С., Федоринин В. Н., Бехер С. А., Гуляев М. А. Возможности мониторинга динамического воздействия подвижного состава на верхнее строение пути с использованием тензометрии и виброметрии // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-2>.

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

Динамика взаимодействия колес подвижного состава и рельсов [1–4] определяет надёжность и срок службы ходовых частей вагонов [5, 6], элементов верхнего строения пути [7]. Повышенный уровень динамических сил в системе «колесо–рельс» увеличивает вероятность образования усталостных дефектов и скорость развития механических износов [8–10]. Сверхнормативные силы от подвижного состава, воздействующие на путь, способны привести к разрушению рельса вследствие дефектов, размеры которых не превышают порог фиксации штатных средств ультразвуковой дефектоскопии [11–13]. Например, только в 2022 году на Западно-Сибирской железной дороге допущено 17 изломов по трещинам, у которых все размеры меньше предельных, что не позволяет выявить их ни мобильными средствами дефектоскопии, ни съёмными дефектоскопами. В восьми случаях разрушения произошли по трещинам в перьях подошвы, которые не перешли через вертикальную плоскость симметрии рельса и не были выявлены при ультразвуковом контроле.

Одним из показателей динамического воздействия подвижного состава на путь по ГОСТ 34759-2021 являются продольные напряжения в кромках подошвы рельса, которые при сертификационных испытаниях не должны превышать 240 МПа. Повышенный уровень напряжений в подошве связан с прогибом рельса в вертикальной плоскости под проходящим поездом, от которого напрямую зависит вероятность хрупкого разрушения объекта с поперечной трещиной.

На железных дорогах Российской Федерации и за рубежом для мониторинга технического состояния подвижного состава широко применяются комплексы «Паук», «Нева», «WILD», «WCM», «Lasca», «Atlas-LG» [14]. В этих стационарных средствах диагностики подвижного состава контролируются уровни динамических напряжений, прогиба и вибрации рельсов под проходящим поездом. Преимуществом такого подхода является возможность классификации дефектов подвижного состава не по размерам и типам, а непосредственно по степени их негативно-го воздействия на путь.

Традиционно для контроля механических напряжений и прогиба измеряют относительные деформации рельса под проходящим по-

ездом [15–18]. Сложность организации контроля связана с трудоёмкостью крепления тензорезисторов непосредственно на рельс с помощью клея. При этом результаты измерений деформаций сильно зависят от условий монтажа и человеческого фактора. Использование сварки для крепления тензодатчиков на рельсы возможно только после сертификационных испытаний. Все это существенно ограничивает возможности оперативного изменения места или схемы измерения деформаций.

Актуальными являются работы по созданию съёмных датчиков деформаций, обеспечивающих регистрацию динамических процессов в рельсах на частотах до 10–20 кГц [19–23]. Для повышения достоверности и информативности контроля дополнительно могут быть использованы средства виброметрии – акселерометры. На примере диагностики пролётных строений мостовых конструкций в работе [24] показано, что совместное использование тензометрии и виброметрии позволяет компенсировать ограничения каждого из методов, повысить их область применения и достоверность результатов.

Целью работы являлись оценка возможности и сравнение результатов тензометрии рельсов съёмными тензорезистивными датчиками и оптико-поляризационными датчиками с результатами виброметрии под проходящим поездом для контроля прогиба рельса и обнаружения дефектов поверхности катания железнодорожных колес.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальное оборудование и методика испытаний

Для контроля деформаций использовались три различных типа цифровых съёмных датчиков деформаций: два тензорезистивных и один оптико-поляризационный. В тензодатчиках чувствительными элементами являлись плёночные тензорезисторы 2ФКП-5-200-А-12-С с базой 5 мм, сопротивлением 200 Ом и средним значением тензочувствительности 2,04. Тензорезисторы наклеивались на упругий элемент струнного типа из ABS-пластика (рис. 1 а) и консольного типа (балка) из дюрала Д16А (рис. 1 б) с помощью цианоакрилатного клея. Упругие элементы крепились к рельсу двумя дисковыми (кольцевыми) магнитами с силой притяжения 10 Н. Масса пластикового датчика в сборе составляла 26 г, дюралевого чувствительного элемента – 62 г.



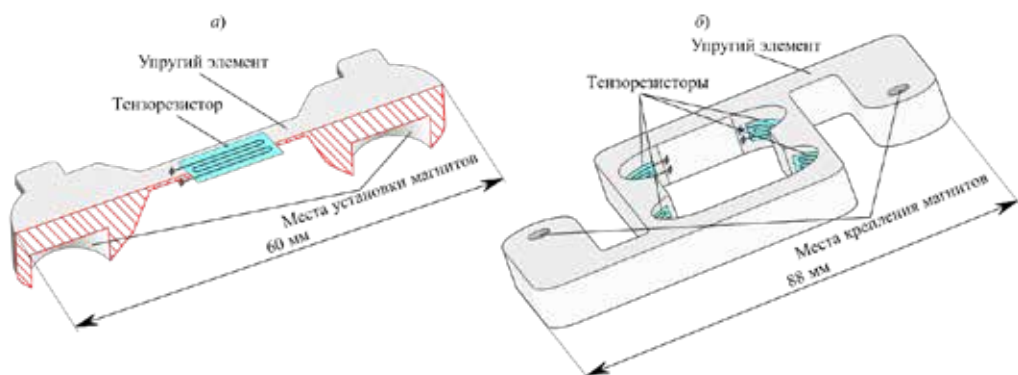


Рис. 1. Конструкции съемных тензодатчиков струнного (а) и балочного (б) типов [выполнено авторами].



Рис. 2. Внешний вид оптико-поляризационного датчика [фото сделано авторами].

Тензодатчик (рис. 1а) струнного типа с одним тензорезистором подключался к тензометрической системе «Динамика-3», зарегистрированной в государственном реестре средств измерений под № 66938–17, по схеме «одиночный тензодатчик» с частотой дискретизации 16 кГц. В тензодатчике консольного типа (рис. 1б) использовались четыре тензорезистора, подключённые по мостовой схеме к оригинальному тензоизмерительному устройству с частотой дискретизации 4 кГц. Цены наименьшего разряда регистрируемых цифровых сигналов составляли $1,85 \cdot 10^{-6}$ и $1,7 \cdot 10^{-6}$ относительных деформаций, соответственно.

В оптико-поляризационном датчике упругий элемент с базой 60 мм из стали 12Х18Н10Т передаёт деформации рельса диску из кварцевого стекла. Принцип действия датчика основан на явлении фотоупругости и подроб-

но описан в [25]. Цена наименьшего разряда аналого-цифрового преобразователя в относительных единицах деформации составила $5 \cdot 10^{-8}$. Масса датчика составляет 94 г.

Тензодатчики устанавливались в межшпальных ящиках на нижнюю поверхность подошвы рельса в плоскости симметрии и ориентировались для измерения продольных деформаций ϵ_z (рис. 3). Виброускорение измерялось трёхосевым акселерометром на базе микросхемы ADXL326 с верхней границей частоты пропускания 1600 Гц. Разработанная и изготовленная измерительная схема обеспечивала преобразование ускорения в цифровой сигнал с частотой дискретизации 12 кГц и ценой наименьшего разряда $3 \cdot 10^{-3}$ м/с², среднеквадратическое отклонение собственных шумов измерительного тракта не превышало $6 \cdot 10^{-2}$ м/с². Акселерометр устанавливался на подошву рельса для регистрации только одной вертикальной компоненты виброускорения a_y (рис. 3).

Моделирование методом конечных элементов

Модель рельса длиной 7 м разбивалась на тетрагональные элементы с длиной ребра от 10 до 245 мм (рис. 3). Шпалы с эпюрой 2000 шт/км воспроизводились упругими граничными условиями с вертикальной жёсткостью, распределённой по подошве рельса в месте контакта со шпалами. В модельных экспериментах жёсткость варьировалась в диапазоне от 10 до 200 МН/м³. На торцах рельса рёбра подошвы жёстко закреплялись. Сила от колеса $Q = 10$ кН прикладывалась к головке рельса по нормали в плоскости симметрии. Полученные методом конечных элементов продольные деформации подошвы ϵ_z и вертикальные перемещения подошвы

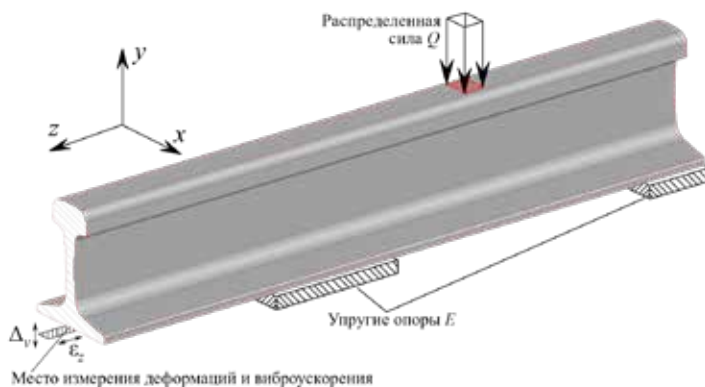


Рис. 3. Модель рельса для расчётов методом конечных элементов [выполнена авторами].

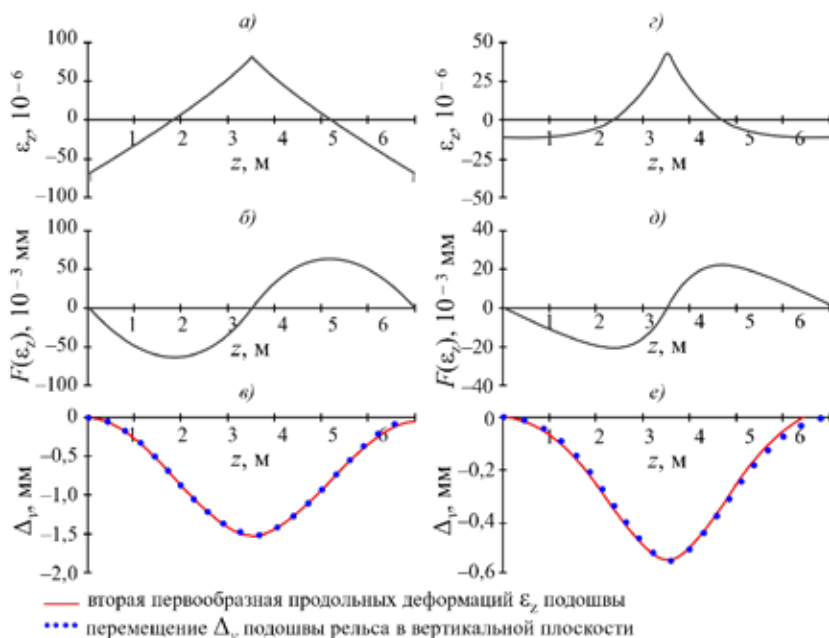


Рис. 4. Результаты моделирования методом конечных элементов рельса с жёсткостью основания 10 МН/м³ (а, б, в) и 100 МН/м³ (г, д, е): деформация ε_z (а, г), первообразная деформаций $F(\varepsilon_z)$ (б, д), вторая первообразная деформаций и перемещения подошвы рельса Δ_v (в, е) [графики построены авторами].

рельса Δ_v для жёсткости 10 МН/м³ представлены на рис. 4 а, в, для жёсткости 100 МН/м³ на рис. 4 г, е.

Аналитическая модель

Согласно теории сопротивления материалов рельс представляет собой балку, лежащую на упругом основании [26]. В этой модели существует связь перемещений рельса в вертикальной плоскости по оси y с продольными деформациями ε_z рельса (рис. 3). Для балки справедливо соотношение между прогибом $\Delta_y(z)$ и изгибающим моментом $M_x(z)$:

$$E \cdot J_x \cdot \frac{d^2 \Delta_y(z)}{dz^2} = M_x(z), \quad (1)$$

где E – модуль упругости, МПа; J_x – момент инерции сечения, м⁴; $\Delta_y(z)$ и $M_x(z)$ – функции прогиба балки и изгибающего момента от координаты z , м и $H \cdot m$, соответственно.

Изгибающий момент создает пропорциональные механические напряжения в продольном направлении:

$$\sigma_z(z) = \frac{M_x(z)}{J_x} \cdot y_{\max}, \quad (2)$$

где $y_{\max}$ – максимальное расстояние до точки измерения деформаций от нейтральной оси рельса, м.

Объединяя (1) и (2), и с учётом связи упругих деформаций с механическими напряжениями $\sigma = \varepsilon \cdot E$:

$$\frac{d^2 \cdot y_z(z)}{dz^2} = \frac{\varepsilon_z}{y_{\max}}. \quad (3)$$

В выражение (3) входят только геометрические величины, устанавливающие связь прогиба и кривизны рельса. Следовательно, описываемая этим выражением закономерность в первом приближении не зависит ни от механических характеристик, ни от способа приложения сил или их значений, ни от граничных условий крепления рельса.

Функция прогиба балки может быть получена двойным интегрированием выражения (3):

$$\Delta_y(z) = k \cdot \int_0^z \int_0^u \varepsilon_z(v) dv du = k \cdot F(F(\varepsilon_z(z))), \quad (4)$$

где F – первообразная, $k = l/y_{\max}$ – коэффициент пропорциональности, м^{-1} .

Для проверки аналитической зависимости (4) деформации ε_z (рис. 4 а, з) численно проинтегрированы дважды. Первообразные $F(\varepsilon_z(z))$ приведены на рис. 4 б, д. Вторые первообразные деформаций $F(F(\varepsilon_z(z)))$ приведены на рис. 4 в, е и совпадают с вертикальными перемещениями подошвы Δ_y с погрешностью не более 1 % вблизи от точки приложения силы в области с координатами от 1,5 до 5,5 м. Рассчитанный коэффициент пропорциональности $k = (12,5 \pm 0,2) \text{ м}^{-1}$ практически не зависит от жёсткости в диапазоне от 10 до 200 МН/м^3 . Полученное значение коэффициента k соответствует расстоянию от подошвы до нейтральной оси рельса $y_{\max} = 0,08 \text{ м}$ (нормативная высота нового рельса 0,18 м).

При движении поезда с постоянной скоростью координата точки измерения деформаций относительно поезда описывается простейшим уравнением:

$$z = V \cdot t, \quad (5)$$

где V – скорость поезда, м/с .

Переход в (4) от интегрирования по координате z к интегрированию по времени t может быть проведен заменой переменной в (5):

$$\Delta_y(t) = \frac{V^2}{y_{\max}} \cdot F(F(\varepsilon_z(t))). \quad (6)$$

Аналогичное выражение может быть получено для сигналов акселерометра, так как перемещение очевидно представляет собой вторую первообразную ускорения:

$$\Delta_y(t) = F(F(a_y(t))), \quad (7)$$

где $a_y(t)$ – виброускорение подошвы рельса в момент времени t , м/с^2 .

Выражения (6) и (7) в интегральной форме устанавливают связь продольных дефор-

маций подошвы рельса ε_z с вертикальным ускорением a_y , что, в определенном смысле, указывает на эквивалентность этих двух видов измерений:

$$\frac{V^2}{y_{\max}} \cdot F(F(\varepsilon_z(t))) = F(F(a_y(t))). \quad (8)$$

Выражение (8) получено в условиях пренебрежения неравномерностью распределения подрельсовой жёсткости и очевидно определено с точностью до некоторого полинома первой степени. На практике выражение (8) устанавливает связь деформаций с ускорениями только в области низких частот, так как двойное интегрирование является фильтром высоких частот. Справедливость уравнения (8) для реальных сигналов позволит в перспективе обосновать возможность уменьшения количества типов датчиков, устанавливаемых на рельсы, и сосредоточиться на методах обработки их сигналов.

Экспериментальные результаты

Экспериментальные исследования проводились на действующем прямолинейном участке бесстыкового пути с рельсами типа Р65 на балластном основании. Деформации подошвы рельса регистрировались при движении грузовых поездов на скоростях от 40 до 60 км/ч перед входом на пункт технического обслуживания вагонов. При движении поезда по измерительному участку регистрировались виброускорения и продольные деформации подошвы рельса (рис. 5).

В сигналах акселерометра преобладают высокочастотные колебания (рис. 5), проход колеса над местом установки датчика вызывает увеличение среднего квадратического отклонения колебаний. Деформации подошвы достигают нулевого уровня в середине вагона, когда все колёса расположены максимально далеко от точки измерения деформаций. Приближение колеса к тензодатчику прогибает рельс вниз, в подошве при этом возникают продольные растягивающие напряжения. Между колёсами и вагонами кривизна рельса изменяет знак, центр вписанной окружности расположен внизу, а в подошве наблюдаются сжимающие напряжения. Максимальное значение напряжений между вагонами в 2–4 раза превышает напряжения между колёсными парами одной тележки, уровень растягивающих напряжений под колесом по абсолютному значению

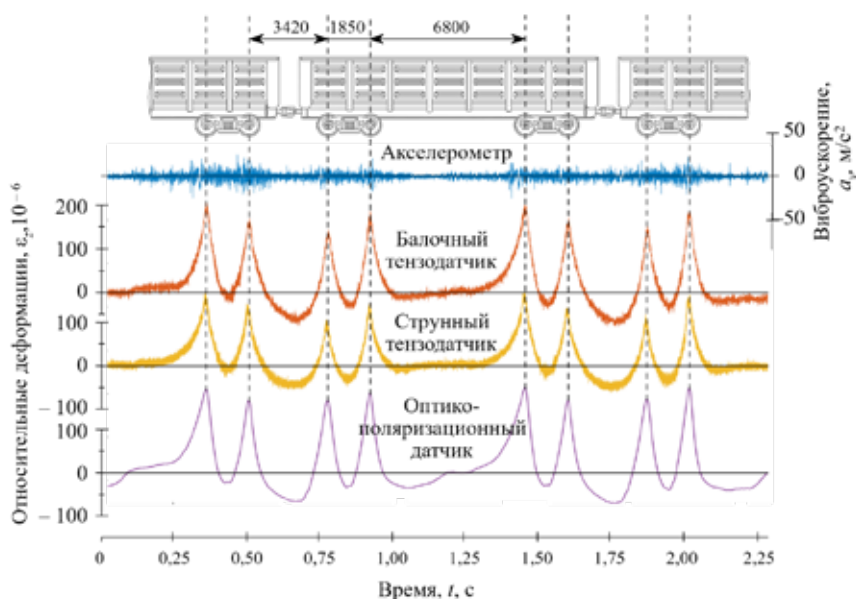


Рис. 5. Схема колёсной формулы трёх вагонов грузового поезда и соответствующие сигналы акселерометра, балочного и струнного тензодатчиков, оптико-поляризационного датчика при проходе восьми колёсных пар [выполнено авторами].

в 3–4 раза выше максимального уровня сжимающих напряжений.

Значительные отличия формы сигналов (рис. 5) оптико-поляризационного датчика от сигналов тензодатчиков связаны с их разным местоположением на пути. В экспериментальных данных на рис. 5 расстояние между точками измерения составляло 2,5 м. Деформации рельса зависят как от динамики подвижного состава, так и от состояния подрельсового основания: жёсткости и неравномерности по длине пути, это же утверждение справедливо и для сигналов акселерометра.

Проверка соотношения (8) выполнена двойным численным интегрированием сигнала акселерометра и сигналов тензодатчиков (рис. 6). Коэффициент корреляции Пирсона, рассчитанный по локальным максимумам и минимумам первообразных деформаций и виброускорения, больше 0,99. Подобие формы вторых первообразных (рис. 6) и сильная корреляционная связь экстремальных значений подтверждают справедливость интегрального уравнения (8), связывающего вертикальное виброускорение с продольными деформациями подошвы. При выполнении численного интегрирования должно быть обеспечено постоянство среднего уровня, что возможно только в условиях симметричности чувствительности тензодатчика к сжимающим и растягивающим деформациям.

Дефекты колёсных пар, такие как ползуны и выщербины, увеличивают динамическую силу, передаваемую от колеса на рельс. Форма сигналов тензодатчиков и акселерометра при этом искажается (рис. 7 а). В сигналах появляются импульсные составляющие 1–9, каждая из которых соответствует воздействию на рельс дефекта поверхности катания – локального отклонения колеса от окружности.

Первые шесть импульсов 1–6 с достаточно высокой вероятностью относятся к одному дефекту поверхности катания, который зарегистрировался несколько раз при последовательных полных поворотах колеса. Среднее время между соседними импульсами 1–6 (табл. 1) составляет 0,18 с, что на скорости 59 км/ч соответствует пути 2,950 м, равной длине окружности колеса диаметром 0,94 м. Для первых шести импульсов отклонение времени между ними от среднего (табл. 1) не превышает 3 мс, что сопоставимо с половиной периода колебаний 6 мс.

Зарегистрированные в испытании импульсы деформаций и виброускорения представляют собой затухающие колебания с частотой 74 Гц (рис. 7 б, в). Импульсы в сигналах акселерометра и струнного тензодатчика эквивалентны по форме и по частотному заполнению, а отношение сигнал/шум виброускорения в 1,5–2 раза выше, чем у струнного тензодатчика.



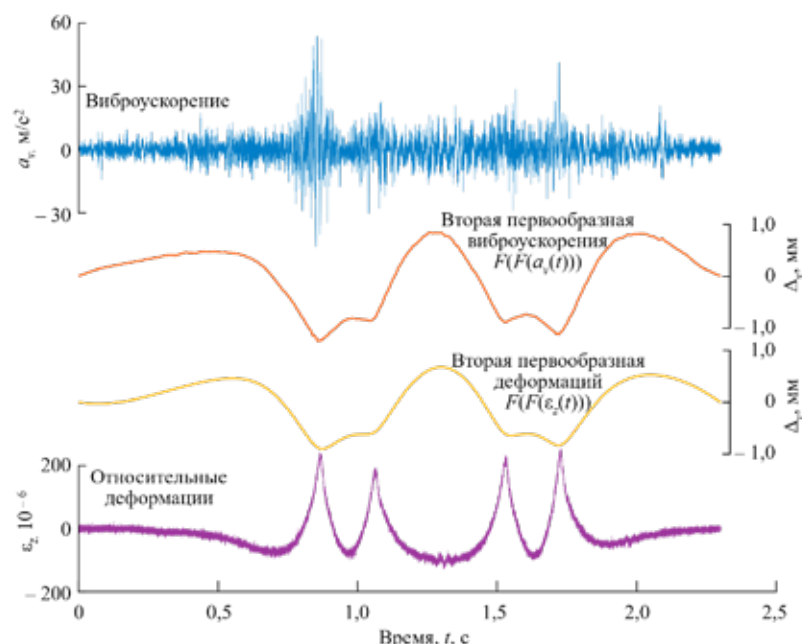


Рис. 6. Сигналы акселерометра $a_y(t)$ и тензодатчика струнного типа $\epsilon_z(t)$ и их вторые первообразные, равные вертикальному смещению подошвы рельса $\Delta_y(t)$ [выполнено авторами].

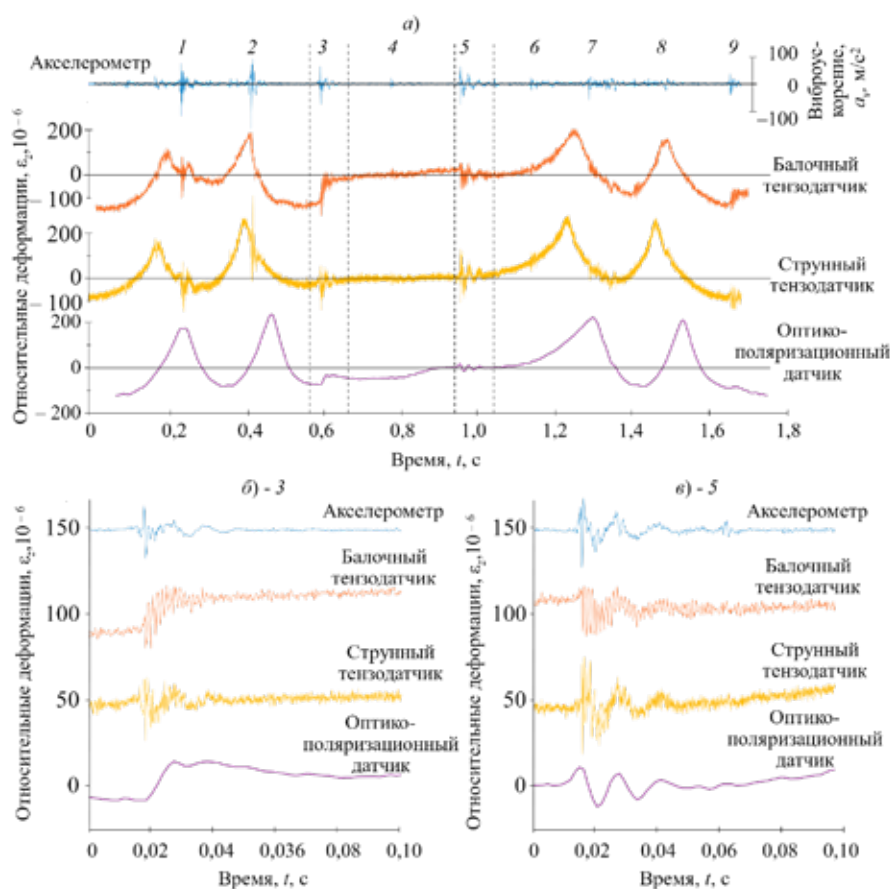


Рис. 7. Сигналы акселерометра $a_y(t)$ и тензодатчиков $\epsilon_z(t)$ в зависимости от времени при проходе четырёх колесных пар с дефектами (а) и увеличенные фрагменты сигналов с импульсами от дефектов 3 (б) и 5 (в): 1–9 – импульсы сигналов от дефектов [выполнено авторами].

Таблица 1

Время между импульсами виброускорения на рис. 7

Номера импульсов	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9
Время между импульсами, мс	180	177	180	178	182	151	194	165
Абсолютное отклонение от среднего, мс	0,3	–2,2	0,4	–1,6	3,0	–29	15	–15
Относительное отклонение от среднего, %	0,2	–1,2	0,2	–0,9	1,7	–15,9	8,4	–8,2

В сигналах балочного и оптико-поляризационного датчиков наблюдаются признаки проскальзывания магнитных креплений по поверхности рельса – смещение среднего значения сигнала (рис. 7 б). Спектральный состав этих сигналов искажён: в импульсе балочного датчика наблюдается собственная частота колебаний 800 Гц, а в оптико-поляризационном датчике отсутствуют частоты выше 200 Гц. Всё это обусловлено конструкциями датчиков и их достаточно большими массами, в 2–3 раза больше массы струнного датчика. При движении колеса с дефектом на массивный тензодатчик воздействуют динамические силы, превышающие силы трения и нарушающие неподвижный контакт магнитных держателей с поверхностью рельса.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Для организации мониторинга динамики вертикального прогиба и продольных механических напряжений подошвы рельса при движении бездефектных колёс могут быть использованы как датчики деформаций, так и акселерометры. Вторые первообразные по времени от вертикального ускорения и от продольных деформации подошвы с постоянными коэффициентами равны вертикальному прогибу рельса. Эта закономерность, сформулированная для модели балки на упругом основании, подтверждена конечно-элементным моделированием и численным интегрированием сигналов акселерометров и тензодатчиков, установленных на действующем пути.

Импульсные сигналы, вызванные проходом колёс с дефектами поверхности катания, зарегистрированные акселерометрами, обладают в 1,5–2 раза большим отношением сигнал-шум по сравнению с тензодатчиками. Этот эффект не накладывает ограничения на использование тензодатчиков, так как может быть компенсирован применением фильтрации на этапе постобработки цифровых сигналов. При движении колёсной пары с дефектом на поверхности катания возникает мно-

гократная, до шести раз, регистрация импульсных сигналов. Амплитуда импульсов зависит от локальной жёсткости подрельсового основания, что требует применения нескольких преобразователей для однозначной идентификации дефектной колёсной пары.

Значительное влияние на форму регистрируемых импульсных составляющих при использовании магнитных креплений оказывают масса, добротность и частота собственных колебаний тензодатчиков. Достоверность преобразования импульсных составляющих съёмными тензодатчиками зависит от их массы, которая определяет уровень динамических сил.

Результаты могут быть использованы для совершенствования конструкции и программного обеспечения стационарных средств диагностики подвижного состава по уровню динамического воздействия на путь, повышения достоверности результатов и расширения их функциональных возможностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Краснов О. Г., Богданов О. К., Акашев М. Г. Динамические силы и процессы в рельсах при ударном взаимодействии колёс с дефектами // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75. – № 6. – С. 354–364. EDN: XCCLWT.

2. Певзнер В. О., Петропавловская И. Б., Третьяков В. В. [и др.]. Сравнительный анализ воздействия на путь вагонов с различными осевыми нагрузками // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2016. – Т. 9. – № 9 (9). – С. 68–75. EDN: WIMBQP.

3. Абдурашитов А. Ю., Юркова Ю. Н. О взаимодействии пути и подвижного состава на участках скоростного движения в зависимости от очертания профилей рельсов и колёс // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 1 (73). – С. 170–177. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.1(73).170-177. EDN: CICMUB.

4. Круглов В. М., Хохлов А. А., Саврухин А. В. Модель динамического взаимодействия ПС и пути // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 5 (38). – С. 8–11. EDN: OKMCQP.

5. Краснов О. Г., Ефименко А. В., Акашев М. Г. Влияние дефектов на поверхности катания колёс на ресурс боковых рам грузовых вагонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2014. – № 2 (38). – С. 45–48. EDN: SEQIZX.

6. Повышение надежности и срока службы колесных пар и рельсов // Железные дороги мира. – 2011. – № 3. – С. 54–61. EDN: NUGVEZ.

7. Коган А. Я. Воздействие на путь поездов, имеющих в своем составе вагоны с ползунами на колесных парах // Вестник Научно-исследовательского института





железнодорожного транспорта. – 2014. – № 3. – С. 3–8. EDN: TOLHCB.

8. Захаров С. М., Погорелов Д. Ю., Симонов В. А. Анализ влияния параметров экипажей и пути на интенсивность износа в системе колесо-рельс (на основе полного факторного эксперимента) // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2010. – № 2. – С. 31–35. EDN: MEGPGL.

9. Бондарев Э. С. Прогнозирование технического состояния рельсов по статистическим данным // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 55–61. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_59_55. EDN: HLDMQB.

10. Махутов Н. А., Коссов В. С., Оганьян Э. С. [и др.]. Прогнозирование контактно-усталостных повреждений рельсов расчетно-экспериментальными методами // Западская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т. 86. – № 4. – С. 46–55. DOI: 10.26896/1028-6861-2020-86-4-46-55. EDN: UXMYMI.

11. Громаков М. С., Тармаев А. А., Беспалько С. В. Энергетический критерий для оценки запаса устойчивости колеса от вкатывания гребня на головку рельса при движении колесной пары по прямому участку пути // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 104–111. DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).104-111. EDN: DIETDK.

12. Марков А. А., Максимова Е. А., Антипов А. Г. Анализ развития дефектов рельсов по результатам многоканального периодического контроля // Дефектоскопия. – 2019. – № 12. – С. 3–15. DOI: 10.1134/S0130308219120017. EDN: CQVYYL.

13. Марков А. А., Максимова Е. А. Анализ эффективности ультразвуковых и магнитных каналов дефектоскопических комплексов при контроле рельсов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 22–32. EDN: HNQVES.

14. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В., Григорьев Р. Ю., Попов В. В. Анализ методов измерений силового воздействия подвижного состава на путь и систем технического контроля колес при движении поезда // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17. – № 3. – С. 324–344. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-324-344. EDN: PDIIKB.

15. Марков А. А., Максимова Е. А., Антипов А. Г. Динамическая коррекция чувствительности дефектоскопических каналов при высокоскоростном контроле рельсов // Дефектоскопия. – 2021. – № 12. – С. 3–14. DOI: 10.31857/S0130308221120010. EDN: VMRTBG.

16. Коржин С. Н., Мироненко О. И., Меланин В. М., Беспалько С. В. Определение напряженного состояния колеса грузового вагона от реакции рельса // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 4. – С. 8–12. DOI: 10.5388/3/20749325_2021_04_08. EDN: FCPDYF.

17. Бороненко Ю. П., Третьяков А. В., Зимакова М. В. Цифровая программно-аппаратная платформа для авто-

матизированного мониторинга технического состояния подвижного состава и железнодорожного пути на ходу поезда «Рубеж» // Сб. материалов научно-практ. конференции АО «ВНИИЖТ» «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» (26–27 августа 2021 г.). – Щербинка: АО «ВНИИЖТ», 2021. – С. 38–44. EDN: OEVRPB.

18. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В., Петров А. А. Кусочно-непрерывное измерение сил между колесом и рельсом по касательным напряжениям в двух сечениях рельса // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 3 (76). – С. 58–64. EDN: XRLKOD.

19. Ромен Ю. С., Сулов О. А., Баляева А. А. Определение сил взаимодействия в системе колесо-рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76. – № 6. – С. 354–361. DOI: 10.21780/2223-9731-2017-76-6-354-361. EDN: YKHKDN.

20. Коссов В. С., Гапанович В. А., Лунин А. А. [и др.] К вопросу определения боковых сил в условиях тяжеловесного движения // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 5. – С. 46–51. EDN: XMGKWD.

21. Manshin, Yu. P., Manshina, E. Yu., Geue, M. About the dynamic error of strain gauge torque measuring devices. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2131, Mathematical modeling and computational methods in problems of electromagnetism, electronics and physics of welding, 052041. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052041.

22. Dobrovolsky, P. P., Kremis, I. I., Fedorinin, V. N., Sidorov, V. I. Comparative Analysis of the Frequency Responses of Vibration of Rotary Type Microcryogenic Machines. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2021, Vol. 57, Iss. 2, pp. 202–207. DOI: 10.3103/S8756699021020060. EDN: ZYTZNZV.

23. Сычев В. П., Шабалин Н. Г., Локтев А. А. [и др.] Расчет вибрационного воздействия на путь пассажирских поездов с повышенными скоростями движения для обеспечения безопасности и комфорта пассажиров и поездных бригад // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 3. – С. 110–115. EDN: IHCSZB.

24. Ma, Z., Chung, J., Liu, P., Sohn, H. Bridge displacement estimation by fusing accelerometer and strain gauge measurements. Structural Control and Health Monitoring, 2021, Vol. 28, Iss. 6, e2733. DOI: https://doi.org/10.1002/stc.2733 [ограниченный доступ].

25. Федоринин В. Н. Патент № 2157513 С1 Российской Федерации, МПК G01J 4/04. Эллипсометрический датчик: № 99104550/28: заявл. 05.03.1999: опубл. 10.10.2000; заявитель Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники СО РАН. EDN: QDFVXB.

26. Кучерявый В. И., Мильков С. Н. Надежность газонепроводящего в линейно упругом грунте при изгибе // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 2. – С. 125–130. EDN: YKVAXB. ●

Информация об авторах:

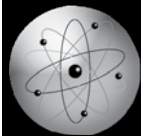
Ададунов Александр Сергеевич – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ВНИИЖТ-Инжиниринг», Санкт-Петербург, Россия, a.adadurov@vniizht-e.ru.

Федоринин Виктор Николаевич – кандидат технических наук, ведущий инженер филиала Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (КТИПМ), Новосибирск, Россия, fedorinin55@mail.ru.

Бехер Сергей Алексеевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физики, электротехники, диагностики и управления в технических системах Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия, behers@mail.ru.

Гуляев Михаил Александрович – аспирант Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия, lokigulyaev@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 03.07.2023, одобрена после рецензирования 30.09.2023, принята к публикации 04.10.2023.



Совместное влияние циклических нагрузок и коррозии на техническое состояние металлоконструкций эскалаторов метрополитена



Вячеслав ДЯТЛОВ



Сергей ОРЛОВ



Валерий ПОПОВ

Вячеслав Николаевич Дятлов¹, Сергей Васильевич Орлов², Валерий Анатольевич Попов³

^{1, 2, 3} Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹ w.dyatlov@gmail.com.

¹ SPIN-код: 2978-6706, ORCID 0000-0002-4864-7554.

² SPIN-код: 2776-2605, ORCID 0009-0003-4651-3987.

³ SPIN-код: 2418-7152, ORCID 0000-0003-2635-5427.

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается влияние нагрузок, условно разделяемых на статические и циклические, и коррозии, действующих совместно на конструктивные элементы металлоконструкций эскалаторов метрополитена. Динамика коррозионных процессов определяется средой, степень воздействия которой в зависимости от географического положения и исходя из сезонности может варьироваться от неагрессивной до сильноагрессивной. Это при одновременном возникновении деформаций (создаётся напряжённое состояние в конструкции) может привести к усталостным отказам. Состояние металлоконструкций эскалатора в данном случае является важнейшим звеном, так как выход из строя практически любого её конструктивного элемента означает полную остановку эскалатора.

Ключевые слова: метрополитен, эскалатор, металлоконструкция, коррозия, усталость, статические и циклические нагрузки, математическое моделирование.

Рассмотрены также предпосылки, обозначающие коррозионную усталость для низкоуглеродистых сталей как основного материала при изготовлении металлоконструкций эскалаторов метрополитена.

Основной целью данной работы является поиск критериев для создания экспериментально-расчётного метода по определению остаточного ресурса металлоконструкций эскалаторов метрополитена с высокой степенью достоверности. Выделение и анализ критериев оценки состояния металлоконструкций осуществлялся авторами с использованием методов экспериментальных исследований и обследований, в результате чего сделан вывод, что уровень деградации основных характеристик и свойств элементов металлоконструкции определяется не только количеством циклов нагружения, но и продолжительностью воздействия на них агрессивной среды.

Для цитирования: Дятлов В. Н., Орлов С. В., Попов В. А. Совместное влияние циклических нагрузок и коррозии на техническое состояние металлоконструкций эскалаторов метрополитена // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 21–28. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-3>.

**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

Подъёмно-транспортные машины, в том числе эскалаторы метрополитена, проектируются исходя из предположения, что их металлоконструкции будут эксплуатироваться в пределах упругих деформаций, то есть в области таких нагрузок, где связь между возникающими напряжениями и возникающими деформациями однозначна. Однако на практике достаточно часто на элементах металлоконструкций обнаруживаются зоны локальных перегрузок, где возникают усталостные отказы, которые могут сопровождаться нелинейным упругопластическим и пластическим деформированием.

Современные технологии, основанные на реализации конечно-элементного моделирования на базе различных пакетных программных комплексов, позволяют с достаточной точностью определять напряженно-деформированное состояние узлов и элементов металлоконструкций эскалаторов [1].

Неразрушающий метод магнитного контроля, основанный на взаимосвязанности магнитных и физико-механических свойств ферромагнитных материалов, позволяет фактически уточнять расположение наиболее нагруженных зон элементов несущих металлоконструкций эскалаторов метрополитена, функционирующих в условиях длительного циклического нагружения, оценивать напряженно-деформированное состояние металла, а также определять уровень пластической деформации и усталостных повреждений [2].

Своеобразным уникальным датчиком пикового значения силы в данном случае выступает структура ферромагнитного материала, а ряд иных контролируемых магнитных параметров, связанных с целостностью структуры металла, наглядно отображает силовые характеристики режимов работы несущей металлоконструкции.

Состояние металлоконструкции в данном случае является важнейшим звеном, так как выход её из строя означает полную остановку эскалатора. Исходя из этого, основной целью данного исследования является установление взаимосвязи между коррозионным состоянием металлоконструкций эскалаторов метрополитена, отработавших нормативный срок эксплуатации, и их техническими характеристиками, что определяет возможность вычисления величины остаточного ресурса и продления срока для сверхнорма-

тивной эксплуатации [3]. Объект исследования – металлоконструкция эскалаторов метрополитенов – выступает в данном случае как плохо организованная система с недостаточно изученной причинностью связей и отсутствием детерминированности в протекании многих явлений и процессов. Основные методы исследования: практические методики определения и оценки технического состояния металлических конструкций эскалаторов метрополитенов, регрессионный анализ и статистическое моделирование, основы механики разрушения твёрдых тел.

В данной работе не рассматривается возможное нагружение опорных металлоконструкций эскалаторов, которое может возникнуть при нарушении целостности строительных конструкций по разного рода геологическим и техногенным причинам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение особенностей влияния циклических нагрузок и коррозии

Эксплуатация металлоконструкций эскалаторов метрополитена осуществляется в среде, степень воздействия которой в зависимости от географического положения и исходя из сезонности может варьироваться от неагрессивной до сильноагрессивной, с одновременным формированием деформаций (создаётся напряженное состояние в конструкции). Нагрузки, возникающие при этом, в сочетании с процессами коррозионного растрескивания и коррозионной усталости можно условно разделить на две группы: статические и циклические [4, 5].

Механизм коррозионно-усталостного разрушения уникален и одновременно опасен тем, что он запускается практически в любых коррозионных средах, от слабоагрессивных до сильноагрессивных, и может привести к резкому, иногда катастрофическому снижению предела выносливости металла.

Наличие коррозионной среды вносит значительные коррективы в процесс усталостного разрушения элементов металлоконструкций, изготовленных из низкоуглеродистых сталей, в сравнении с сухим воздухом или химически малоактивными средами. Коррозионная усталость в таких случаях может проявляться в виде следующих особенностей:

- *Отсутствие истинного предела выносливости.* На рис. 1 в координатных осях «напряжение – число циклов нагружения»

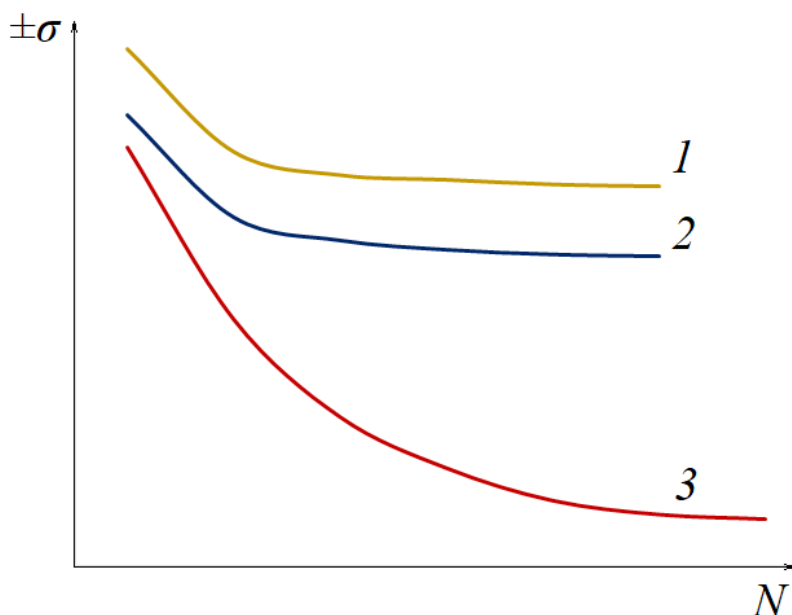


Рис. 1. Типовые кривые выносливости сталей [выполнено авторами].

изображены кривые выносливости сталей: линии 1 соответствует чистая усталость, линии 2 – адсорбционная усталость и линии 3 – коррозионная усталость.

На всех линиях отсутствуют ярко выраженные горизонтальные участки. Значение разрушающего переменного напряжения определяется в зависимости от числа циклов нагружения, однако в то же время очевидна связь между интенсивностью снижения значения разрушающего напряжения и относительной коррозионной активностью среды. Поэтому для характеристики коррозионной усталости используется такое понятие, как условный предел выносливости.

• *Отсутствие возможности установления взаимосвязи между условным пределом коррозионной выносливости и механическими свойствами металла, полученными при приложении статических и циклических нагрузок, при нахождении его в воздушной среде.*

• *Многоступенчатый характер разрушения, чётко выраженный у низкоуглеродистых сталей в нейтральных коррозионных средах.*

Условия проведения и результаты практических испытаний

Практические испытания образцов из СтЗсп проводились с использованием сервогидравлической испытательной установки BISS Nano UT-01–0025 и металлографического цифрового микроскопа Альтами МЕТ 3Т. Многоцикловые испытания на усталость осуществлялись с изменением деформации 0,4–0,6 % с амплитудами напряжений цикла 250–280 МПа. Образцы перед началом испытаний проходили предварительное металлографическое исследование, для чего их поверхность была механически отшлифована и протравлена 5 %-м раствором азотной кислоты с целью выявления межзёрненных границ. Далее делались

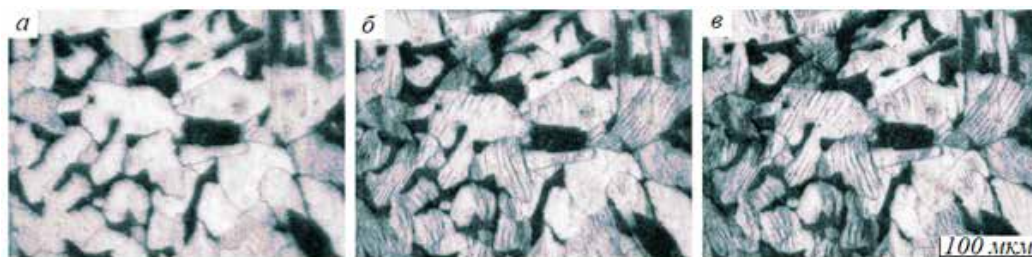


Рис. 2. Металлическая поверхность образца: а – до испытаний, б – после 10^3 циклов нагружения, в – после 2×10^3 циклов нагружения [выполнено авторами].

снимки одной и той же области после каждого этапа нагружений.

Как видно из рис. 2, для стали СтЗсп типична однородная микроструктура, состоящая из зёрен феррита и перлита. Уже на первых этапах усталостных испытаний в зёрнах феррита появляются устойчивые полосы скольжения, которые при последующем нагружении сливаются, возникают также и новые полосы скольжения, причём их количество сообразно увеличивается. Ориентированы устойчивые полосы скольжения преимущественно поперёк оси нагружения.

Межзёрненное разрушение является наиболее предпочтительным местом для возникновения коррозионных процессов, в результате чего окружающая коррозионная среда, воздействуя и изменяя микрорельеф поверхности разрушения, может значительно увеличить количество элементов хрупкого разрушения, скола и других структурных дефектов:

- увеличение сечения у испытуемых образцов приводит к снижению предела выносливости при усталости низкоуглеродистых сталей. Это явление называют масштабным эффектом. Однако в коррозионной среде у гладких образцов может наблюдаться инверсия масштабного эффекта;

- снижение чувствительности изделий из низкоуглеродистой стали, находящихся в коррозионной среде, к микрогеометрии поверхности и концентрации механических напряжений вследствие их анодного растворения.

Эксплуатация большинства металлоконструкций эскалаторов метрополитена осуществляется в условиях коррозионной усталости при воздействии различных по степени агрессивности коррозионных сред, однако случаи, характерные именно для коррозионно-механического разрушения в конкретных условиях, на практике встречаются достаточно редко или не наблюдаются вовсе, исходя из чего вышеизложенные теоретические положения нуждаются в уточнении.

Учёт временного фактора при оценке состояния металлоконструкций эскалаторов метрополитена

Степень влияния временного фактора на состояние реальной металлоконструкции эскалатора метрополитена не может быть доподлинно определена при помощи диаграмм с типовыми усталостными кривыми, так как их получение осуществляется в лабо-

раторных условиях во время испытания стандартных образцов при высокой интенсивности циклических нагрузок при $N > \tau_3$, где τ_3 – время эксплуатации. Очевидно, что эксплуатация металлоконструкций в реальных условиях осуществляется при $\tau_3 \gg N$, например, нормативный срок эксплуатации эскалаторов метрополитена варьируется от 30 до 50 лет. Также очевидно, что в реальности эскалатор работает не все 24 часа в сутки, а лишь определённое количество смен с перенаправлением движения и перерывами в работе. Выработка же 100 %-го ресурса у испытуемых образцов осуществляется в рамках нескольких часов-дней, чего явно недостаточно для проявления действительного характера коррозионно-механического разрушения. То есть результаты, полученные лабораторным путём, для случаев, когда $\tau_3 \gg N$, не могут полноценно отображать исследуемый физико-химический процесс.

В рамках ранее проведённых исследований [6, 7] на базе ГУП «Петербургский метрополитен» с использованием различных методик определения технического состояния металлических конструкций эскалаторов были определены первичные факторы, определяющие агрессивное воздействие среды: влияние износа отдельных конструктивных элементов на динамику изменения несущей способности металлоконструкции в целом; возникновение и развитие локальных видов коррозионных повреждений, в том числе питтинговой коррозии; явление адсорбционного понижения механических характеристик материала.

Под коррозией в данном случае, прежде всего, понимался не процесс разрушения материала, а энтропийность, направленная на восстановление баланса в природе. В состав любых сталей входит железо, что делает их термодинамически неустойчивыми соединениями, которые в ходе окислительно-восстановительных реакций преобразуются в термодинамически выгодную ржавчину – аналог рудного железа.

Одновременное воздействие постоянных и переменных нагрузок приводит к коррозионной усталости материала. Оценка фактического коррозионного состояния металлоконструкции, а также наличие возможности прогнозировать динамику этого состояния (то есть определить остаточный технический ресурс), способствует своевременному принятию мер по предотвращению отказов в ра-

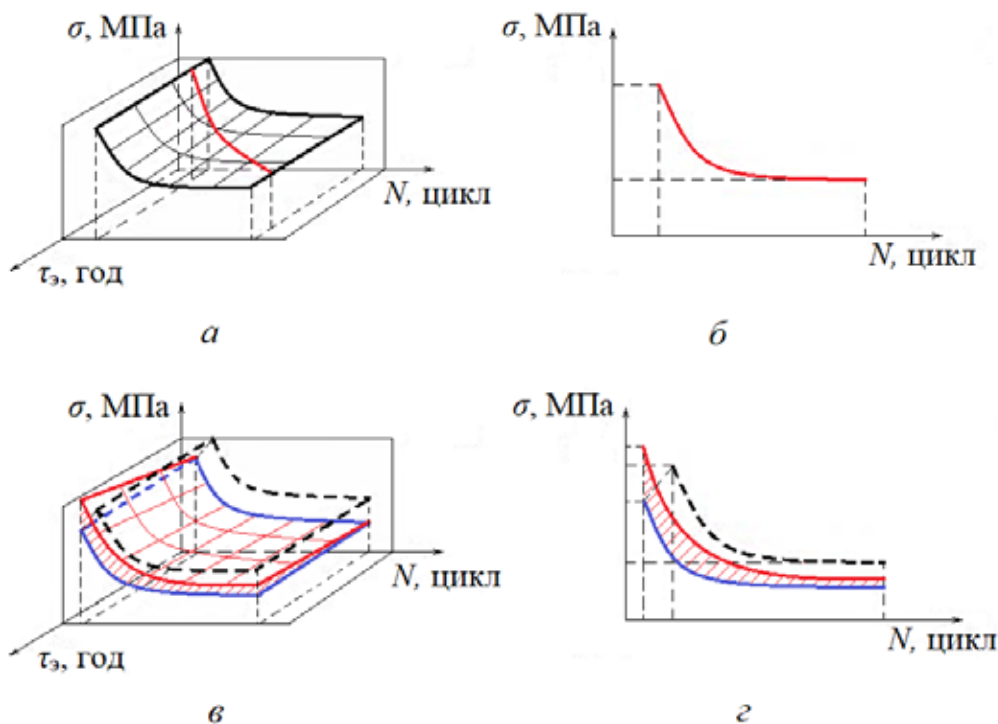


Рис. 3. Типовые усталостные кривые: а, б – чистая усталость, полученная в нейтральных средах; в, г – усталость с учётом влияния первичных факторов коррозионного воздействия среды (--- чистая усталость (в цветном изображении – чёрный пунктир); – с учётом влияния коррозионного износа (красная линия); -- с учётом влияния адсорбционной усталости (синяя линия)) [выполнено авторами].

боте при эксплуатации эскалаторов метрополитенов.

Для реализации этой цели был выбран метод математического моделирования. К основным критериям, на которые необходимо было обратить внимание при создании модели – выделение свойств или показателей в исследуемом процессе, определение явлений и иных составляющих, характеризующих выделенные свойства или показатели, их описание.

С целью повышения адекватности моделирования проведено численное моделирование, которое заключается в объединении программных пакетов MathCad и SigmaPlot (MathCad – программный комплекс компьютерной алгебры, относящийся к классу систем автоматического проектирования; SigmaPlot – программный пакет, предназначенный для анализа и визуализации научных и статистических данных с возможностью 2D и 3D визуализации результатов).

В результате были получены математические выражения, описывающие развитие и воздействие данных факторов с учётом влияния временного фактора.

Для обеспечения наглядности представления взаимосвязанности влияния основных факторов коррозии и степени накопления коррозионной усталости в металлоконструкциях эскалаторов метрополитена возникает необходимость изображать все коррозионно-усталостные кривые в трёхмерных координатах «напряжение (нагрузка) – число циклов нагружения – время».

На рис. 3 видно, что схемы коренным образом отличаются друг от друга, и можно заметить, что при одинаковом числе циклов нагружения N главное отличие состоит именно во временном факторе.

На протяжении всего своего жизненного цикла конструктивные элементы металлоконструкций эскалаторов метрополитена, как и любых других подъёмно-транспортных машин, подвергаются коррозионному износу, степень накопления которого с течением времени определяет динамику снижения несущей способности металлоконструкции и увеличения напряжений при постоянной во времени нагрузке (рис. 3). В результате возникает необходимость в фактическом определении величины остаточного ресурса



и организации постоянного контроля уровня приложенных нагрузок с целью сохранения работоспособности конструкции в течение определённого количества циклов нагружения [8, 9].

Адсорбирующиеся поверхностно-активные компоненты среды также являются причиной изменения усталостной прочности материала, что объясняется эффектом Ребиндера, особенно при действии циклических напряжений. Кривые адсорбционной усталости и чистой усталости, полученной в нейтральных средах, подобны (рис. 1). Здесь, как было сказано выше, также наблюдается отсутствие ярко выраженного горизонтального участка, однако в отличие от коррозионной усталости предел адсорбционной усталости не является условной величиной и может быть достаточно точно определён. Подобность же кривых позволяет сделать вывод, что адсорбционная усталость просто приводит к снижению предела выносливости материала.

Для определения значения предела адсорбционной усталости σ_{-1k} можно воспользоваться формулой [6, 7]:

$$\sigma_{-1k} = \sigma_{-1o} \left(\frac{T_o}{T} \right)^\beta \cdot \gamma_d \cdot k_t, \quad (1)$$

где σ_{-1o} – предел выносливости материала при температуре $T_o = 293\text{K}$ (20°C);

T – температура окружающей среды;

β – характеристика устойчивости сечения против коррозии;

γ_d – коэффициент адсорбционного понижения прочности;

k_t – временная составляющая, характеризующая динамику изменения коэффициента адсорбционного понижения прочности с течением времени.

Необходимо отметить тот факт, что адсорбционное воздействие среды нивелируется и свойства материала могут быть восстановлены до уровня чистой усталости, если обеспечить отсутствие контакта материала с агрессивной средой, например, используя лакокрасочные материалы [10, с. 173–174].

Питтингообразование в материале проявляется в виде возникновения концентраторов напряжений, представляющих собой локальные дефекты, из которых могут развиваться усталостные трещины [11].

Рассмотрим модель, описывающую этап зарождения усталостных трещин в низкоуг-

леродистых и низколегированных сталях на стадии рассеянной повреждаемости [12]:

$$N_T = -\frac{1}{C_N} \int_{\omega_o}^1 \frac{(1-\omega_{nT})^{m_c}}{\Delta\sigma_n^{m_c}} d(1-\omega_{nT}), \quad (2)$$

где N_T – число циклов на стадии рассеянной повреждаемости;

C_N и m_c – коэффициенты, определяемые физико-механическими свойствами материала;

ω_o – количественная доля структурных повреждений до нагружения;

ω_{nT} – количественная доля накапливаемых при нагружении усталостных повреждений;

$\Delta\sigma_n$ – значение повреждающих напряжений.

Значение повреждающих напряжений можно определить, воспользовавшись формулой [13, 14]

$$\Delta\sigma_n = \sigma_{\max n} - \sigma_{RK}, \quad (3)$$

где σ_{RK} – предел выносливости.

Анализ формулы (3) позволяет ещё на предварительном этапе сделать следующие предположения и выводы: на рост уровня повреждающих напряжений влияет, во-первых, наличие агрессивной среды, являющейся причиной усиления коррозионного износа, что приводит к увеличению $\sigma_{\max n}$; во-вторых, адсорбционное воздействие среды, которое обуславливает снижение σ_{RK} . Не исключается вариант, когда может происходить одновременное изменение соответствующих величин, что приводит к общему росту уровня повреждающих напряжений.

Так как в процессе исследования возникает сложность в определении отдельных реальных характеристик, сделаем допущение, что при наличии микротрещины длиной 0,1 мм критический объём повреждений V_{ny} будет равен 0,001 мм³.

Очевидно, что увеличение скорости образования усталостных трещин является следствием воздействия первичных факторов, определяющих агрессивное воздействие среды, тогда, исходя из предположений и выводов, полученных при анализе формулы (3), и принятого значения объёма V_{ny} , можно оценить их влияние на динамику развития усталостной трещины.

Значения максимально допустимых напряжений, определяемые приложенной внешней нагрузкой, согласно модели (2), могут достигать уровня предела текучести σ_T . В то же время на механических характеристиках

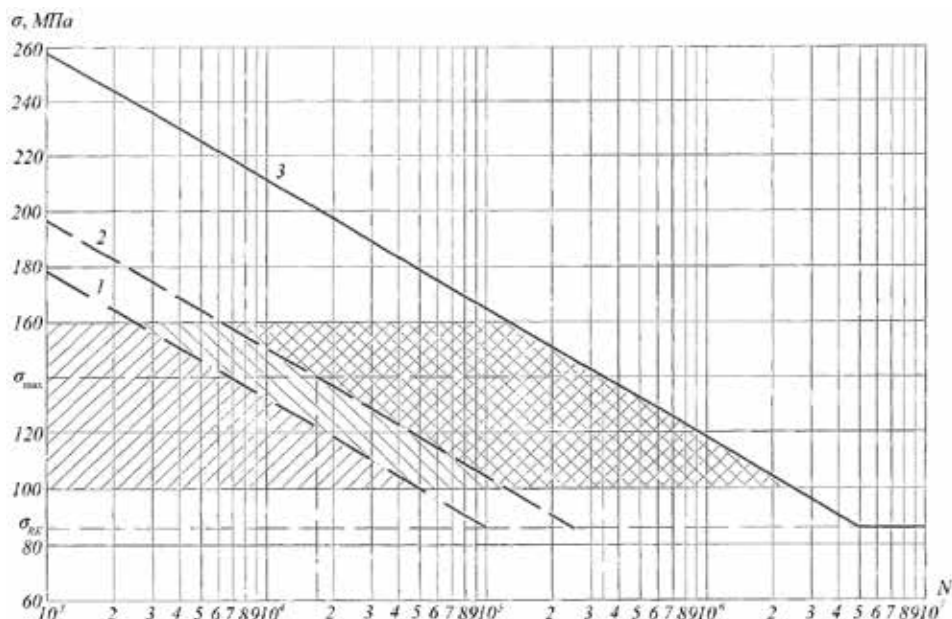


Рис. 4. Диаграмма усталостных повреждений 1 – линия окончания инкубационного периода усталости; 2 – линия окончания периода зарождения и развития субмикроскопических трещин до микроскопических размеров (линия Френча); 3 – кривая окончания периода развития микротрещин до макротрещин критического размера [15].

металла сказывается адсорбционное воздействие среды, что проявляется в виде снижения σ_{RK} и σ_T на максимальные 15 % (в условиях сильноагрессивной среды).

Для определения скорости накопления усталостной повреждаемости воспользуемся формулой

$$v_{pn} = \frac{V_{nq}}{N \cdot \Delta \sigma_n} \quad (5)$$

На рис. 4 представлена диаграмма усталостных повреждений исследуемых образцов из стали СтЗсп в условиях циклического растяжения с асимметричностью цикла $R = 0,3$.

Использование диаграммы и формулы (4) позволяет определить динамику изменение скорости накопления усталостной повреждаемости в рассматриваемом случае чистой усталости (см. таблицу 1). При этом значение максимальных напряжений σ_{max} выбирается согласно линии Френча.

Для случая, учитывающего адсорбционное воздействие среды на процесс усталости (в условиях сильноагрессивной среды), все показатели уменьшаются на 15 % (см. таблицу 2).

Анализируя полученные данные в таблицах 1 и 2, можно сделать следующие выводы: общий уровень повреждающих напряжений

Таблица 1
Скорость накопления усталостной повреждаемости при чистой усталости
($\sigma_{RK} = 85$ МПа) [выполнено авторами]

σ_{max} , МПа	197	165	150	118	104
N , 10^3 цикл	1	5	10	50	100
$\Delta \sigma_n$, МПа	112	80	65	33	19
v_{pn} , 10^{-6} мм ³ /(МПа·цикл)	0,00893	0,00250	0,00154	0,00061	0,00053

Таблица 2
Скорость накопления усталостной повреждаемости с учётом адсорбционного
воздействия среды ($\sigma_{RK} = 72,3$ МПа) [выполнено авторами]

σ_{max} , МПа	167,5	140,3	127,5	100,3	88,4
N , 10^3 цикл	1	5	10	50	100
$\Delta \sigma_n$, МПа	95,2	68	55,2	28	16,1
v_{pn} , 10^{-6} мм ³ /(МПа·цикл)	0,01050	0,00294	0,00181	0,00071	0,00062





для СтЗсп в условиях сильноагрессивной среды (при равенстве ресурсов конструкций для двух рассматриваемых случаев) уменьшается; скорость накопления усталостной повреждаемости различна и при эксплуатации в условиях сильноагрессивной среды увеличивается в среднем на 17,2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение значения скорости образования усталостных трещин определяется наличием первичных факторов коррозионного воздействия на элементы металлоконструкции, причём это увеличение постепенное и определяется сроком эксплуатации, что позволяет квалифицировать фактор времени как определяющий фактор.

Уровень деградации основных характеристик и свойств элементов металлоконструкции наряду с количеством циклов нагружения определяется также и продолжительностью воздействия на них агрессивной среды, однозначно определяющей скорость накопления усталостной повреждаемости.

Включение в модель [5, 6] представленной модели (5) для определения скорости накопления усталостной повреждаемости с учётом модели (1) для определения предела адсорбционной усталости с учётом временной составляющей, позволит более полно отражать процесс совместного воздействия коррозии и циклических нагрузок на металлоконструкции эскалаторов метрополитена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ватулин Я. С., Попов В. А., Дятлов В. Н. Техническое диагностирование складных элементов крановых путей грузоподъёмного оборудования в машинных залах тоннельных эскалаторов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2022. – Т. 16. – № 3. – С. 241–250. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-106323>.
2. Попов Б. Е., Котельников В. С., Зарудный В. В. [и др.]. Магнитная диагностика и остаточный ресурс подъёмных сооружений // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 2 – С. 44–49. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11691124&ysclid=ln4bswtztc251027582>. Доступ 07.07.2023.

3. Харлов М. В., Попов В. А. Методика оценки технического состояния эскалатора // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9 – № 4. [Электронный ресурс]: <http://naukovedenie.ru/PDF/05TVN417.pdf>. Доступ 15.05.2023.

4. Tawancy, H. M., Ul-Hamid, A., Abbas, N. M. Practical engineering failure analysis. New York: Marcel Dekker, 2004, 616 p. ISBN 978-0203026298.

5. Стеклов О. И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с. ISBN 978-5217005009.

6. Дятлов В. Н. Моделирование процесса коррозии несущих металлоконструкций эскалатора метрополитена // Вестник МАДИ. – 2022. – № 1 (68). – С. 29–35. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48283752&ysclid=ln4dgtk2rj605841534>. Доступ 16.07.2023.

7. Дятлов В. Н. Уточнение модели развития коррозионных дефектов несущих металлоконструкций эскалатора метрополитена // Вестник МАДИ. – 2022. – № 3 (70). – С. 46–50. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/vgxvvc?ysclid=ln4djsx281v972174148>. Доступ 16.07.2023.

8. Kazarinov, N., Smirnov, A., Petrov, Y., Gruzdkov, A. Dynamic fracture effects observed in a one-dimensional discrete mechanical system. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 157, Key Trends in Transportation Innovation (KTTI-2019), art. 01020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015701020>.

9. Бардышев О. А., Попов В. А., Филин А. Н., Харлов М. В. Обеспечение безопасности тоннельных эскалаторов. – СПб.: Безопасность, 2020. – 128 с. ISBN 978-5898090715.

10. Герасименко А. А., Александров Я. И., Андреев И. Н. [и др.]. Защита от коррозии, старения и биоповреждения машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2 т. Т. 1. / под общ. ред. А. А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с.

11. Schweitzer, P. A. Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals. Boca Raton, CRC Press, 2006, 752 p. ISBN 978-0429127137.

12. Селиверстов Г. В., Данилов А. С. Исследование коррозионной усталости металлоконструкций грузоподъёмных машин // Известия ТулГУ. Серия Технические науки. – 2009. – № 2–1. – С. 248–253. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14615398&ysclid=ln4ftgq29u157526384>. Доступ 16.07.2023.

13. Махутов Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчёт элементов конструкций на прочность. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.

14. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов. – М.: Металлургия, 1969. – 448 с.

15. Мыльников В. В., Кондрашкин О. Б., Шетулов Д. И. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов: Монография. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 177 с. ISBN 978-5528002897 [Электронный ресурс]: <http://www.bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/physics/870594.pdf>. Доступ 16.07.2023.

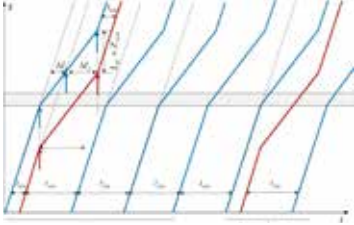
Информация об авторах:

Дятлов Вячеслав Николаевич – аспирант кафедры наземных транспортно-технологических комплексов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербурге, Россия, w.dyatlov@gmail.com.

Орлов Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербурге, Россия, orlov@spbmutseum.ru.

Попов Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, urorov_58@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.07.2023, дополнена 12.08.2023, одобрена после рецензирования 29.09.2023, принята к публикации 02.10.2023.



ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ 30

Виртуальная сцепка как перспективное решение для повышения пропускной способности.



ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ 40

Сокращение критических зон радиомаяков и повышение эффективности аэродромов.



ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ 53

Организация планово-предупредительного ремонта двухэтажных вагонов.



ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ 62

Цифровая инфраструктура и телематика для горных дорог.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ 72

Законодательство о военно-транспортной обязанности.

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>

Сравнительная оценка параметров движения поездов для различных вариантов виртуальной сцепки



Ефим РОЗЕНБЕРГ



Алексей ОЗЕРОВ



Валерий КУЗНЕЦОВ



Сергей ТИХОНОВ

Ефим Наумович Розенберг ¹, Алексей Валерьевич Озеров ²,
Валерий Иванович Кузнецов ³, Сергей Сергеевич Тихонов ⁴

^{1, 2, 3, 4} АО «Научно-исследовательский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Москва, Россия.

✉ ² a.ozerov@vniias.ru.

¹ SPIN-код 5648-5186.

² SPIN-код 4102-5984, Scopus ID 57210556089, ORCID 0000-0001-5057-9821.

АННОТАЦИЯ

В условиях инфраструктурных ограничений, в том числе с учётом растущего грузооборота на Восточном полигоне, крайне востребованы новые принципы интервального регулирования движения поездов, которые позволяют увеличить пропускную и провозную способность.

Наиболее предпочтительным вариантом на данный момент является интервальное регулирование на основе технологии виртуальной сцепки, который позволяет по расчётам обеспечить увеличение пропускной и провозной способности до 20 % относительно классической технологии использования жёсткой сцепки. При этом пока отсутствуют методики определения вариантов применения технологии виртуальной

сцепки для конкретных участков железной дороги, подкреплённые математическими расчётами.

В статье рассмотрены пять вариантов применения виртуальной сцепки поездов для участков с ограничением скорости движения и представлены графические оценки пропускной способности для различных скоростей движения и длин участков ограничения скорости. Сделан вывод о целесообразности применения виртуальной сцепки поездов для повышения пропускной способности на участках с инфраструктурными ограничениями, а также о необходимости проведения дальнейшего исследования для обоснования практических методик её применения.

Ключевые слова: железная дорога, интервальное регулирование движения поездов (ИРДП), радиоканал, виртуальная сцепка (ВСЦ), пропускная способность.

Для цитирования: Розенберг Е. Н., Озеров А. В., Кузнецов В. И., Тихонов С. С. Сравнительная оценка параметров движения поездов для различных вариантов виртуальной сцепки // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>.

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

Повышение пропускной и провозной способности железнодорожных магистралей при безусловном обеспечении безопасности перевозок является неизменной стратегической задачей железнодорожного транспорта, которая решается с помощью внедрения современных технологий интервального регулирования движения поездов (ИРДП) [1]. К перспективным вариантам ИРДП относится технология виртуальной сцепки (ВСЦ). Она представляет собой соединение локомотивов последовательно следующих поездов по радиоканалу, при котором ведение второго («ведомого») поезда осуществляется с учетом информации о скорости и показаниях локомотивного светофора первого («ведущего») поезда [2].

В ОАО «РЖД» проделана большая работа в вопросах практического тестирования технологии ВСЦ и накоплен значительный опыт. Впервые технология виртуальной сцепки была апробирована и испытана в 2019 году на участке Дальневосточной железной дороги Хабаровск – Ружино протяженностью 400 км [3]. К настоящему моменту выполнено около 30 тыс. поездок в режиме «виртуальная сцепка», при этом полигон внедрения технологии до конца 2023 года должен составить около 6 тыс. км. Технология ВСЦ крайне востребована на всем Восточном полигоне. Расчетами выявлено, что при введении технологии интервального регулирования по технологии ВСЦ пропускная способность железнодорожной линии может увеличиваться практически на 20 % относительно существующего графика движения с использованием сдвоенных поездов [4].

При этом, как и любая новая технология, она нуждается в углубленном изучении, в том числе с учетом возможных инфраструктурных ограничений и различных вариантов её применения. В АО «НИИАС» такая работа ведется в рамках отработки комплексного подхода к решению задач повышения пропускной способности, в том числе с использованием средств компьютерного моделирования [5].

Следует отметить, что на железных дорогах других стран данная технология пока не до конца отработана технически и не применяется на магистральном железнодорожном транспорте, но изучается в научно-исследовательских проектах и работах как перспективный вариант развития системы ИРДП на

основе радиосвязи типа системы ERTMS уровень 3 [6–10]. В ряде европейских исследований приведены результаты анализа влияния на пропускную способность возможного применения ВСЦ на базе аппаратуры ERTMS в сравнении с применением типовой системы ERTMS уровень 2, а также в сравнении с возможным применением в будущем системы ERTMS уровень 3 с подвижными блок-участками. Выводы, основанные на результатах моделирования, свидетельствуют о значительном потенциале данной технологии [11–13].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Существуют два варианта реализации ВСЦ – организация радиоканального обмена данными по принципу «поезд-поезд» или обмен данными через центр радиоблокировки RBC. В ОАО «РЖД» на текущий момент используется первый вариант, поскольку в этом случае не требуется масштабное строительство центров радиоблокировки [14].

В настоящей статье представлены некоторые оценки пропускной способности для различных вариантов виртуальной сцепки при движении поездов на участках с ограничением скорости движения (см. рис. 1).

На рисунке обозначены:

t_0 – начало движения первого поезда;

t_1 – начало движения второго поезда;

t_2 – момент достижения первым поездом границы участка с ограничением скорости движения – момент начала движения первого поезда с ограниченной скоростью;

t_3 – момент начала движения второго поезда с ограниченной скоростью;

t_4 – момент достижения вторым поездом границы участка с ограничением скорости движения;

t_5 – момент выхода первого поезда за границу участка с ограничением скорости движения – момент начала задержки движения первого поезда с установленной скоростью;

t_6 – момент начала движения первого поезда с установленной скоростью после выхода за границу участка с ограничением скорости движения;

t_7 – момент выхода второго поезда за границу участка с ограничением скорости движения;

S_1 – начальная граница участка с ограничением скорости движения;

S_2 – конечная граница участка с ограничением скорости движения;



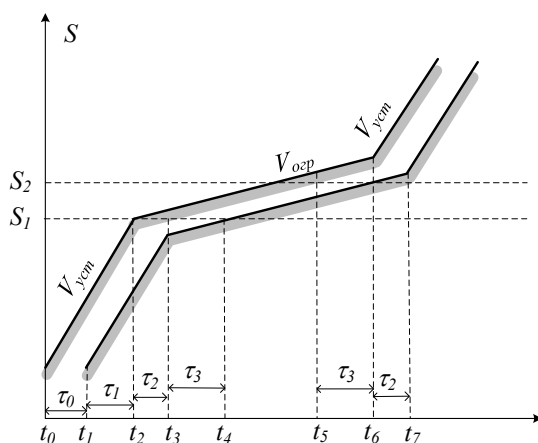


Рис. 1. Схематическое изображение расстояния между поездами при прохождении участка пути с ограничением скорости движения [выполнено авторами].

$V_{огр}$ – ограниченная скорость движения;
 $V_{уст}$ – установленная скорость движения,
а также соответствующие временные отрезки $\tau_0, \dots, \tau_3$.

В виде теневой закрашки условно показана длина поезда $L_{п}$.

На рис. 1 обозначен временной отрезок $\tau_3 = [t_5, t_6]$, на котором должна выполняться задержка начала движения первого поезда с установленной скоростью после его выхода с участка ограничения скорости движения.

Исходим из того, что рассматриваемый характер движения обладает симметрией: взаимное положение поездов перед участком с ограничением скорости движения соответствует взаимному положению поездов после участка с ограничением скорости движения. Это означает, что искомая величина определяется равенствами:

$$\tau_3 = t_6 - t_5 = t_4 - t_3,$$

что упрощает проведение последующего анализа, который сводится к следующему:

– первоначально необходимо определить временной отрезок $\tau_2 = t_3 - t_2$, на котором второй поезд сокращает межпоездной интервал от $Z_{уст}$ до $Z_{мин}$, что может быть описано следующим образом:

$$L + Z_{уст} + V_{огр} \cdot \tau_2 = L + Z_{мин} + V_{уст} \cdot \tau_2;$$

– определить оценку интересующей величины:

$$\tau_2 = \frac{Z_{уст} - Z_{мин}}{V_{уст} - V_{огр}}.$$

Необходимо обратить внимание, что при различных соотношениях временных показателей, скоростей, установленных межпоездных интервалов и длины участка ограничения скорости движения $S_{огр} = S_2 - S_1$ возможны

ситуации, когда второй поезд не успевает достигнуть граничного значения $Z_{мин}$ (см. рис. 2). В этом случае (в силу симметрии рассматриваемого движения) не возникает необходимости в задержке начала движения первого поезда с установленной скоростью после его выхода с участка ограничения скорости движения.

Формально такой исход описывается следующей зависимостью

$$Z_{уст} - (V_{уст} - V_{огр}) \cdot \tau_0 + V_{уст} \cdot \tau' > Z_{мин}, \quad (1)$$

где τ' – время движения первого поезда с установленной скоростью $V_{уст}$ до момента достижения вторым поездом участка ограничения скорости движения.

В последнем соотношении (1) учтено, что $\tau_0 = \tau_2$, поскольку интервал выхода поездов соответствует интервалу их прихода к границе участка ограничения скорости движения.

Другими словами, если выполнено неравенство (1), временная задержка τ_3 принимает нулевое значение.

Для последующего сравнения получаемых оценок первоначально определяется пропускная способность при отсутствии участков ограничения скорости и виртуальной сцепки (вариант эталонный), а также в случаях, когда имеются участки ограничения скорости движения и различные варианты виртуальной сцепки – варианты 1–5.

Эталонный вариант. Для эталонного варианта приняты следующие исходные данные:

- нет участков ограничений скорости,
- отправление поездов производится с интервалом $t_{уст}$ мин.;
- виртуальная сцепка отсутствует.

Количество поездов в сутки (22 часа) определяется по известному соотношению¹ следующим образом:

$$n = T / I, \quad (2)$$

где T – время, час; I – интервал следования поездов, час.

Вариант 1. Для первого варианта приняты следующие исходные данные:

- имеется $N_{\text{уч. огр}}$ участков ограничения скорости движения;
- отправление поездов производится с интервалом $t_{\text{уст}}$ мин.;
- поезда движутся с сохранением временного интервала между ними.

Для этого варианта является характерным то, что на каждом участке ограничения скорости возникает временная задержка, определяемая следующим выражением:

$$\Delta I = \frac{L_{\Pi} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}}} - \frac{L_{\Pi} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{уст}}} = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}}). \quad (3)$$

Такая временная задержка (3) влияет на время прохождения участка дороги, но не оказывает влияния на временной интервал между поездами на выходе с участка.

В связи с этим общее количество поездов в сутки будет определяться соотношением, учитывающим временные потери, возникающие при движении первого поезда:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta I}{T} \cdot n = \\ &= \frac{T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta I}{T} \cdot \frac{T}{I} = \\ &= \frac{T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta I}{I}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $N_{\text{уч. огр}}$ – количество участков ограничения скорости движения.

Вариант 2. Этот вариант предполагает увеличение количества отправляемых поездов за счёт того, что между одной парой поездов вводится виртуальная сцепка и сокращённый интервал между поездами. Исходными данными для этого варианта являются следующие:

- имеется $N_{\text{уч. огр}}$ участков ограничения скорости движения;
- отправление поездов производится с интервалом $t_{\text{уст}}$ мин.;

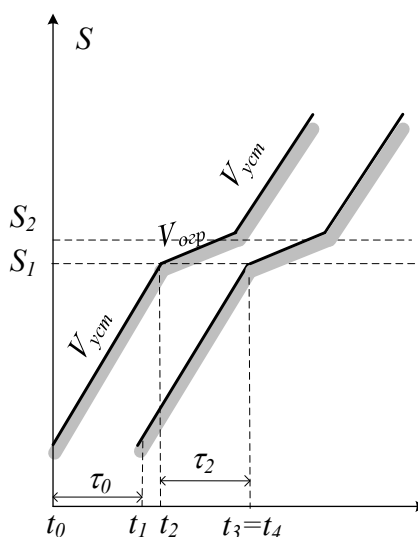


Рис. 2. Схематическое изображение расстояния между поездами при прохождении участка пути с ограничением скорости движения в случае, когда не требуется введение временной задержки [выполнено авторами].

– один раз в час выходит поезд с сокращённым интервалом $t_{\text{всц}} < t_{\text{уст}}$ мин. и поезд движется в режиме виртуальной сцепки;

– временной интервал и расстояние между поездами остаются неизменными.

При движении первого поезда на участке ограничения скорости второй поезд также замедляет скорость с $V_{\text{уст}}$ до $V_{\text{огр}}$, что приводит к увеличению временного интервала движения поездов (первого и второго) после прохождения участка ограничения скорости.

Для первого поезда временная задержка складывается из двух составляющих:

– временная задержка при прохождении участка ограничения скорости:

$$\Delta I_1 = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}}); \quad (5)$$

– дополнительная временная задержка после выхода с участка ограничения скорости:

$$\Delta I_2 = \frac{L_{\Pi} + Z_{\text{уст}}}{V_{\text{огр}}}. \quad (6)$$

Суммарная задержка движения первого и второго поезда при прохождении одного участка ограничения скорости определяется следующим равенством:

$$\Delta I_{1,2} = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}}) + \frac{L_{\Pi} + Z_{\text{уст}}}{V_{\text{огр}}}. \quad (7)$$

С учётом этой временной задержки (7) количество поездов в сутки (за 22 часа) будет определяться следующим соотношением:

¹ Инструкция ОАО «РЖД» от 10.11.2010 № 128. «Инструкция по расчёту наличной пропускной способности железных дорог». ОАО «Российские железные дороги». 2010. – 305 с. [Электронный ресурс]: <https://jd-docs.ru/2010/noyabr-2010/5907-instruktsiya-oao-rzhd-ot-10-11-2010-n-128>. Доступ 26.07.2023.



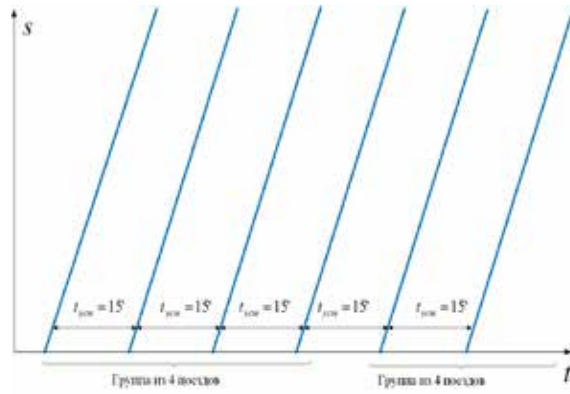


Рис. 3. Схематичное изображение движения поездов при эталонном варианте [выполнено авторами].

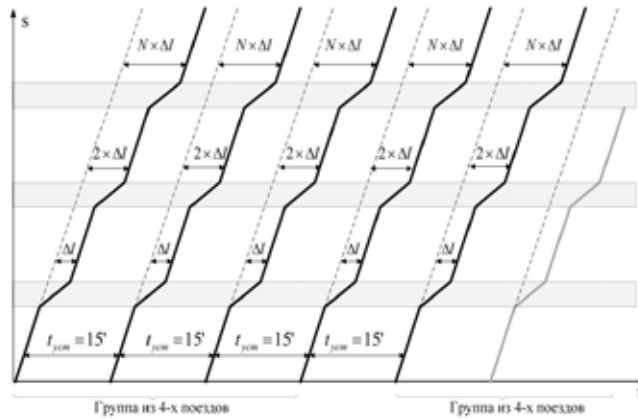


Рис. 4. Схематичное изображение движения поездов при варианте 1 [выполнено авторами].

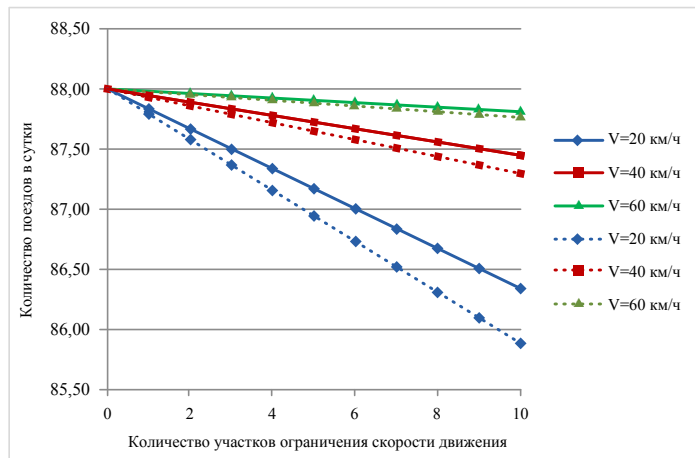


Рис. 5. Графики изменения пропускной способности для различных значений $V_{огр}$ и длин участков ограничения скорости движения [выполнено авторами].

$$n_2 = \frac{4t_{уст}}{3t_{уст} + t_{ВСЦ}} \cdot \frac{T - N_{уч.огр} \cdot \Delta I_{1,2}}{T}. \quad (8)$$

Вариант 3. Этот вариант также предполагает увеличение количества отправляемых поездов за счёт того, что между одной парой поездов вводится виртуальная сцепка и сокращённый интервал между поездами, одна-

ко расстояние между поездами может меняться. Исходными данными для этого варианта являются следующие:

- имеется $N_{уч.огр}$ участков ограничения скорости движения;
- отправление поездов производится с интервалом $t_{уст}$ мин.;

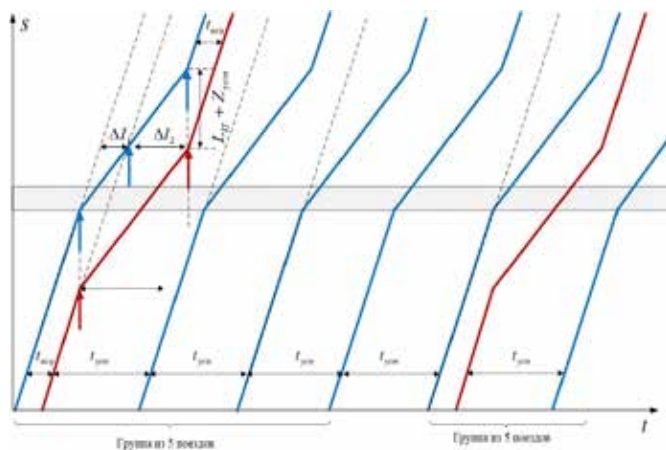


Рис. 6. Схематическое изображение движения поездов при варианте 2 [выполнено авторами].

– один раз в час выходит поезд с сокращённым интервалом $t_{\text{всц}} < t_{\text{уст}}$ мин. и поезд движется в режиме виртуальной сцепки;

– временной интервал между поездами остаётся неизменным, расстояние между поездами может меняться.

Рассматривается ситуация, когда второй поезд достигает границы участка ограничения скорости движения и расстояние между поездами не меньше трёх блок-участков. В этом случае не возникает дополнительной временной задержки ΔI_2 , поэтому количество поездов в сутки (22 часа) будет определяться с учётом только временной задержки (5) следующим образом:

$$n_3 = \frac{4t_{\text{уст}}}{3t_{\text{уст}} + t_{\text{всц}}} \cdot \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I_1}{T}. \quad (9)$$

Все прочие промежуточные варианты укладываются в диапазон между соотношениями (8) и (9).

Вариант 4. Следующий вариант описывает движение с задержкой второго поезда, движущегося в режиме виртуальной сцепки с интервалом $t_{\text{всц}}$ перед выходом на участок ограничения скорости таким образом, чтобы на выходе участка ограничения скорости временной интервал между поездами составлял бы установленную величину $t_{\text{уст}}$. Исходными данными для этого варианта являются следующие:

– имеется $N_{\text{уч.огр}}$ участков ограничения скорости движения;

– отправление поездов производится с интервалом $t_{\text{уст}}$ мин.;

– один раз в час выходит поезд с сокращённым интервалом $t_{\text{всц}} < t_{\text{уст}}$ мин. и поезд движется в режиме виртуальной сцепки;

– временной интервал между поездами на входе первого участка ограничения скорости составляет величину $t_{\text{всц}}$, а на выходе – $t_{\text{уст}}$.

Такая ситуация означает, что выход поездов с участка движения осуществляется с интервалом $t_{\text{уст}}$, что в полной мере описывается соотношениями (3) и (4), т. е.:

– временная задержка при прохождении одного участка ограничения скорости:

$$\Delta I = \frac{L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}}} - \frac{L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{уст}}} = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}); \quad (10)$$

– общее количество поездов в сутки с учётом временных потерь, возникающих при движении первого поезда:

$$n_4 = \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I}{I}, \quad (11)$$

где $N_{\text{уч.огр}}$ – количество участков ограничения скорости движения.

Однако для рассматриваемого варианта необходимо учитывать, что для каждой группы из пяти поездов, отправляемых на участок движения, при прохождении первого участка ограничения скорости возникает дополнительная временная задержка, определяемая разностью

$$\Delta t = t_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}$$

Всего с интервалом $t_{\text{уст}} = I$ может быть отправлено $m_4 = T/4I$ групп из пяти поездов, что приводит к накоплению временной задержки, определяемой соотношением

$$\Delta t(m_4) = m_4(t_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}). \quad (12)$$

С учётом последнего соотношения следует, что в случае, когда время хода поезда на участке движения превосходит накопленную временную задержку (12), т. е.

$$t_{\text{ход}} > m_4(t_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}) = T/4I(t_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}),$$



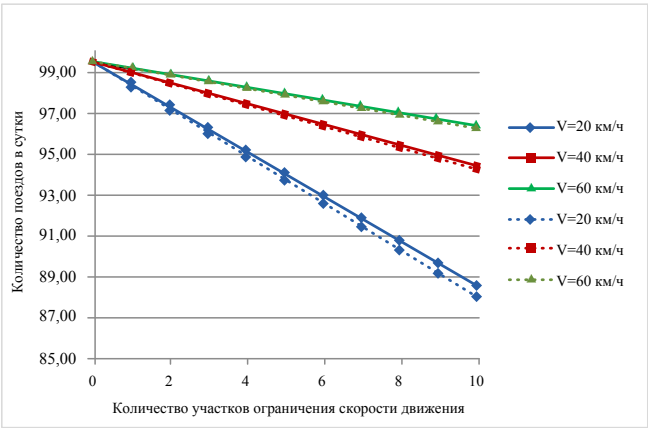


Рис. 7. Графики изменения пропускной способности для различных значений $V_{огр}$ и длин участков ограничения скорости движения [выполнено авторами].

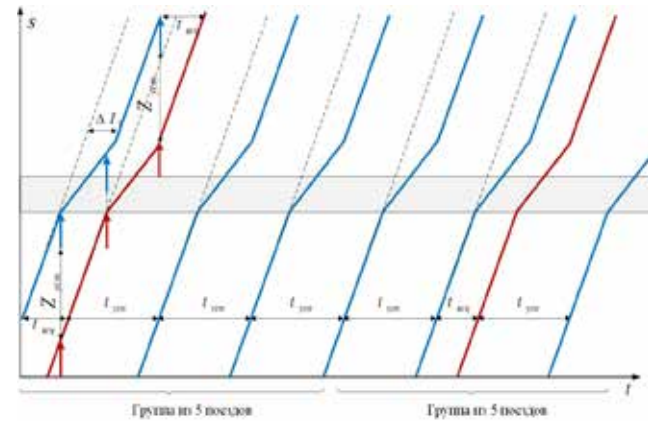


Рис. 8. Схематическое изображение движения поездов при варианте 3 [выполнено авторами].

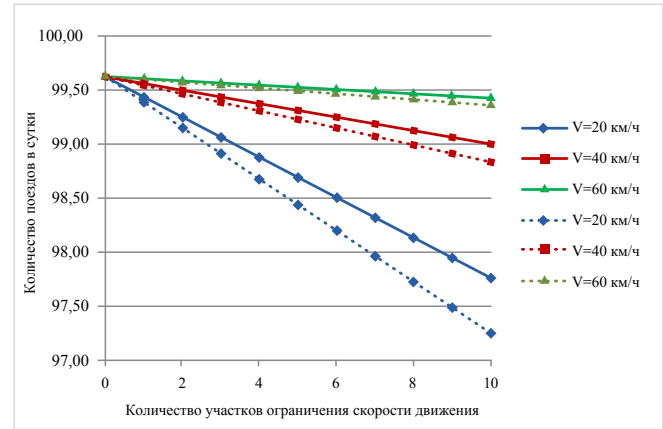


Рис. 9. Графики изменения пропускной способности для различных значений $V_{огр}$ и длин участков ограничения скорости движения [выполнено авторами].

пропускная способность участка будет определяться соотношением (11). При этом необходимое время для формирования отправляемых на участок движения поездов будет определяться зависимостью:

$$T_{всц} = \frac{3I + t_{всц}}{4I} \cdot T. \tag{13}$$

В противном случае, когда время хода поезда на участке движения меньше накопленной временной задержки (12), т. е.

$$t_{хода} < \frac{T}{4I} (t_{уст} - t_{всц}),$$

то возникает задержка отправки очередной группы из пяти поездов на участок движения,

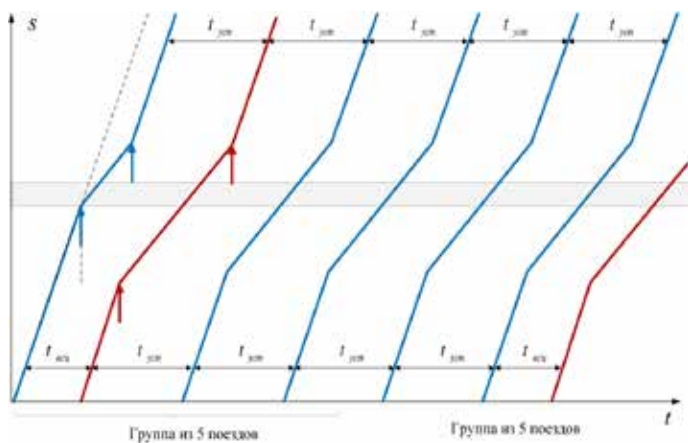


Рис. 10. Схематичное изображение движения поездов при варианте 4 [выполнено авторами].

что снижает эффект от применения виртуальной сцепки. Однако пропускная способность участка при этом будет также определяться соотношением (11), а время $T_{\text{всц}}$ будет приближаться к T .

Вариант 5. Рассматриваемый вариант является подобием предыдущего варианта и отличается от него тем, что описывает движение с задержкой второго поезда, движущегося в режиме виртуальной сцепки с интервалом $t_{\text{всц}}$, перед выходом на участок ограничения скорости таким образом, чтобы на выходе участка ограничения скорости временной интервал между поездами составлял бы величину $t'_{\text{уст}} < t_{\text{уст}}$. Исходными данными для этого варианта являются следующие:

- имеется $N_{\text{уч. огр}}$ участков ограничения скорости движения;
- отправление поездов производится с интервалом $t_{\text{уст. мин.}}$;
- один раз в час выходит поезд с сокращенным интервалом $t_{\text{всц}} < t_{\text{уст. мин.}}$ и поезд движется в режиме виртуальной сцепки;
- временной интервал между поездами на входе первого участка ограничения скорости составляет величину $t_{\text{всц}}$, а на выходе – $t'_{\text{уст}} < t_{\text{уст}}$.

Такая ситуация означает, что выход поездов с участка движения осуществляется с интервалом $t'_{\text{уст}} < t_{\text{уст}}$, что описывается соотношениями (3) и (4), т. е.:

- временная задержка при прохождении одного участка ограничения скорости составит величину:

$$\Delta I = \frac{L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}}} - \frac{L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}}{V_{\text{уст}}} = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\text{п}} + S_{\text{огр}}); (14)$$

- общее количество поездов в сутки с учётом временных потерь, возникающих при движении первого поезда:

$$n_s = \frac{T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta I}{I}, (15)$$

где $N_{\text{уч. огр}}$ – количество участков ограничения скорости движения.

Как и в предыдущем варианте, также необходимо учитывать, что для каждой группы из четырёх поездов, отправляемых на участок движения, при прохождении первого участка ограничения скорости возникает дополнительная временная задержка, определяемая разностью

$$\Delta t' = t'_{\text{уст}} - t_{\text{всц}} < t_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}$$

Всего с интервалами $t_{\text{уст}} = I$ и $t'_{\text{уст}} < t_{\text{уст}}$ может быть отправлено

$$m_s = \frac{4(T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta t')}{3I + t'_{\text{уст}}}$$

групп из пяти поездов, что приводит к накоплению временной задержки, определяемой соотношением

$$\Delta t(m_s) = m_s(t'_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}). (16)$$

С учётом последнего соотношения следует, что в случае, когда время хода поезда на участке движения превосходит накопленную временную задержку (12), т. е.

$$t_{\text{хода}} > m_s(t'_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}) = \frac{4(T - N_{\text{уч. огр}} \cdot \Delta t')}{3I + t'_{\text{уст}}}(t'_{\text{уст}} - t_{\text{всц}}),$$

пропускная способность участка будет определяться соотношением (15). При этом необходимое время для формирования отправляемых на участок движения поездов будет определяться зависимостью:

$$T'_{\text{всц}} = \frac{3I + t'_{\text{уст}}}{4I} \cdot T. (17)$$

В противном случае, когда время хода поезда на участке движения меньше накопленной временной задержки (16), т. е.



Таблица 1

Вариант	$V_{\text{огр}} = 40 \text{ км/ч}$	$V_{\text{огр}} = 60 \text{ км/ч}$
Вариант 1. Движение без ВСЦ. Расчётные зависимости: $\Delta I = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}});$ $n_1 = \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_1 = 88$	$n_1 = 88$
Вариант 2. Один раз в час выходит поезд с интервалом $t_{\text{ВСЦ}}$ (расстояние между поездами не меняется). Время задержки первого поезда t_3. (Первый поезд продолжает движение со скоростью $V_{\text{огр}}$ в течении t_3 после выхода с участка). Расчётные зависимости: $\Delta I_{1,2} = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}}) + \frac{L_{\Pi} + Z_{\text{уст}}}{V_{\text{огр}}};$ $n_2 = \frac{4t_{\text{уст}}}{3t_{\text{уст}} + t_{\text{ВСЦ}}} \cdot \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I_{1,2}}{T}.$	$n_2 = 97$ $t_3 = 6 \text{ мин}$	$n_2 = 98$ $t_3 = 4 \text{ мин}$
Вариант 3. Один раз в час выходит поезд с интервалом $t_{\text{ВСЦ}}$ (расстояние между поездами может меняться). Время сокращения дистанции до трех блок-участков (3 км) t_d. Расчётные зависимости: $\Delta I_1 = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}});$ $n_3 = \frac{4t_{\text{уст}}}{3t_{\text{уст}} + t_{\text{ВСЦ}}} \cdot \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I_1}{T}.$	$n_3 = 99$ $t_d = 10 \text{ мин}$	$n_3 = 100$ $t_d = 20 \text{ мин}$
Вариант 4. Один раз в час выходит поезд с интервалом $t_{\text{ВСЦ}}$. Интервалы между поездами на выходе с участка движения равны $t_{\text{уст}}$. Расчётные зависимости: $\Delta I = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}});$ $n_4 = \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_4 = 88$	$n_4 = 88$
Вариант 5. Один раз в час выходит поезд с интервалом $t_{\text{ВСЦ}}$. Интервалы между поездами на выходе с участка движения равны $t'_{\text{уст}}$ для второго поезда в группе и $t_{\text{уст}}$ для третьего и четвертого поездов в группе. Расчётные зависимости: $\Delta I = \frac{V_{\text{уст}} - V_{\text{огр}}}{V_{\text{огр}} \cdot V_{\text{уст}}} \cdot (L_{\Pi} + S_{\text{огр}});$ $n_5 = \frac{4t_{\text{уст}}}{t'_{\text{уст}} + 3t_{\text{уст}}} \cdot \frac{T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_5 = 91$	$n_5 = 91$

$$t_{\text{хода}} < \frac{4(T - N_{\text{уч.огр}} \cdot \Delta I')}{3I + t'_{\text{уст}}} (t'_{\text{уст}} - t_{\text{ВСЦ}}),$$

возникает задержка отправки очередной группы из четырёх поездов на участок движения, что приводит к снижению эффекта от применения виртуальной сцепки. Однако пропуск-

ная способность участка при этом будет также определяться соотношением (15), а время $T'_{\text{ВСЦ}}$ будет приближаться к T .

Например, для конкретных данных:

$$L_{\Pi} = 1000 \text{ м}; S_{\text{огр}} = 100 \text{ м}; N_{\text{уч.огр}} = 4 \text{ шт.}; V_{\text{уст}} = 80 \text{ км/ч}; V_{\text{огр}} = 60 \text{ и } 40 \text{ км/ч}; t_{\text{уст}} = 15 \text{ мин.};$$

$t'_{\text{уст}} = 13$ мин.; $t_{\text{ВСЦ}} = 8$ мин. будут получены оценки, представленные в табл. 1.

Сравнение полученных оценок позволяет установить следующее:

– для вариантов 1, 4 применения виртуальной сцепки пропускная способность не уменьшается;

– для вариантов 2, 3 применения виртуальной сцепки пропускная способность возрастает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сделать предварительный вывод, подтверждаемый расчётами: виртуальная сцепка поездов, как минимум, не уменьшает пропускную способность участков с ограничением скорости движения, а при некоторых вариантах её применения и действующих ограничениях обеспечивает повышение пропускной способности. Это позволяет уже сейчас говорить о целесообразности практического применения виртуальной сцепки на отдельных участках железных дорог, но для обоснования практических методик определения вариантов её применения для конкретных участков железной дороги требует проведения более детального исследования, включая компьютерное моделирование работы ВСЦ с учётом более широкого набора параметров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воронин В. А., Гургенидзе И. Р., Дежков М. А. [и др.]. Комплексная технология интервального регулирования движения поездов. – М.: АО «Т8 Издательские технологии», 2023. – 216 с. ISBN 978-5-521-23792-0.
2. Дежков М. А., Кисельгоф Г. К. Технология «виртуальная сцепка» для интервального регулирования движения поездов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 28–30. DOI 10.34649/AT.2021.11.11.007.
3. Власьевский С. В., Малышева О. А., Шабалин Н. Г., Семченко В. В. Оценка энергетической эффективности электровозов ЗЭС5К при использовании технологии интервального регулирования движения по типу «виртуальная сцепка» // Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – Т. 79. – № 1. – С. 17–25. EDN: TCHPBA.

4. Оленцевич В. А., Упырь Р. Ю., Антипина А. А. Эффективность внедрения интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 2 (66). – С. 182–189. DOI 10.26731/1813–9108.2020.2(66).182–189.

5. Розенберг Е. Н., Озеров А. В., Панферов И. А. Комплексный подход к решению задачи повышения пропускной способности // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 8. – С. 2–6. DOI 10.34649/AT.2022.8.8.001.

6. Розенберг Е. Н., Шухина Е. Е., Озеров А. В., Малинов В. М. Современные системы управления движением поездов: Отечественный и зарубежный опыт. – М.: ООО «Издательские решения», 2020. – 210 с. ISBN 978-5-0051-0924-8.

7. Озеров А. В. Европейская система интервального регулирования // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 14–15. DOI 10.34649/AT.2019.6.6.004.

8. Озеров А. В., Биленко Г. М., Окулова М. Л. Современные системы интервального регулирования движения поездов // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: Сб. трудов научно-практ. конференции с международным участием, Москва, 20–21 октября 2021 года. – М.: РУТ, 2022. – С. 323–326. EDN: MLHVMQ.

9. Озеров А. В. Эволюция европейской системы управления движением поездов // Железные дороги мира. – 2018. – № 3. – С. 64–73. EDN: YPSWJW.

10. Попов П. А., Озеров А. В. Интервальное регулирование на основе цифрового радиоканала // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 19–22. EDN: WMQLXP.

11. Quaglietta, E., Goverde, R. M. P. A comparative analysis of Virtual Coupling Railway operations. In Proceedings of the 99th Transportation Research Board Annual Meeting. Transportation Research Board (TRB). 2020. [Электронный ресурс]: <https://research.tudelft.nl/en/publications/a-comparative-analysis-of-virtual-coupling-railway-operations>.

12. Quaglietta E. Analysis of Platooning Train Operations under V2V Communication-Based Signaling: Fundamental Modelling and Capacity Impacts of Virtual Coupling. Computer Science, 2019. [Электронный ресурс]: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/85752612/E.Quaglietta_Analysis_of_platooning_train_operations_Final_.pdf. Доступ 23.06.2023.

13. Flammini, F., Marrone, S., Nardone, R., Petrillo, A., Santini, S., Vittorini, V. Towards Railway Virtual Coupling. IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference. 2018. DOI:10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607523.

14. Бушуев С. В., Гундырев К. В., Голочалов Н. С. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки // Системы управления на транспорте. – 2021. – № 1. – С. 7–20. EDN: MWGMZR. ●

Информация об авторах:

Розенберг Ефим Наумович – доктор технических наук, профессор, первый заместитель Генерального директора АО «НИИАС», Москва, Россия, info@vniias.ru.

Озеров Алексей Валерьевич – начальник Международного управления АО «НИИАС», Москва, Россия, a.ozarov@vniias.ru.
Кузнецов Валерий Иванович – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Отдела научно-исследовательской работы ЦРТП НТК ИСКУ АО «НИИАС», Москва, Россия, v.kuznetsov@vniias.ru.

Тихонов Сергей Сергеевич – главный специалист Отдела научно-исследовательской работы ЦРТП НТК ИСКУ АО «НИИАС», Москва, Россия, s.tihonov@vniias.ru.

Статья поступила в редакцию 23.08.2023, одобрена после рецензирования 26.09.2023, принята к публикации 02.10.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.371.344; 621.396.969.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-5>

Методика оценки сокращенных критических зон радиомаяков системы посадки ILS на примере аэродрома Горно-Алтайск



Евгений РУБЦОВ



Сергей КУДРЯКОВ



Яков ДАЛИНГЕР

Евгений Андреевич Рубцов¹, Сергей Алексеевич Кудряков², Яков Михайлович Далингер³

^{1, 2, 3} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ rubtsov.rut.miit@yandex.ru.

✉ ² psi_center@mail.ru.

✉ ³ iakovdalinger@gmail.com.

¹ SPIN-код: 5832-3060, ORCID 0000-0003-2126-0015.

² Scopus Author ID: 57194207063, ORCID 0000-0002-1303-3528.

³ SPIN-код: 8895-3700, Scopus Author ID: 57195278185, ORCID 0000-0002-7744-7156.

АННОТАЦИЯ

Проанализированы рекомендации Международной организации гражданской авиации, направленные на обоснованное уменьшение размеров критических зон. Выявлены недостатки существующих требований Федеральных авиационных правил к критическим зонам радиомаяков системы посадки ILS. Разработана методика, позволяющая оценить искривления линий курса и глиссады для сокращенных критических зон. При этом оценивается влияние на работу радиомаяков системы посадки ILS различных объектов-отражателей, расположенных на рабочей площади аэродрома, а также на приаэродромной территории.

Отражатели могут быть аппроксимированы моделями стеньки (имитирует отражения от зданий, мостов, заборов),

цилиндра (имитирует отражения от заводских труб, цистерн, емкостей, фюзеляжей воздушных судов) и полусферического диффузного отражателя (имитирует отражение от возвышенностей рельефа).

Произведена апробация методики для аэродрома Горно-Алтайск и разработано предложение по сокращению критической зоны курсового радиомаяка, что позволит расширить перрон на 35 м, устранить проблемы с ограничением скорости и блокированием движения самолетов по рулежной дорожке. При этом вероятность отказа в обслуживании самолетов снизится в 3...11 раз, а время занятости взлетно-посадочной полосы уменьшится на 12,5...26 % по сравнению с существующими характеристиками.

Ключевые слова: воздушный транспорт, безопасность полётов, аэродром, посадка воздушных судов, радиомаячная система посадки, критическая зона, рабочая площадь аэродрома.

Для цитирования: Рубцов Е. А., Кудряков С. А., Далингер Я. М. Методика оценки сокращенных критических зон радиомаяков системы посадки ILS на примере аэродрома Горно-Алтайск // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 40–52. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-5>.

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

Воздушный транспорт остаётся одной из ведущих отраслей экономики Российской Федерации. Современный этап развития авиационной техники характеризуется широким внедрением современных радиоэлектронных средств для обеспечения безопасности полётов. Статистика показывает, что порядка 60 % авиационных происшествий происходит при заходе на посадку и посадке воздушных судов (ВС) [1]. Поэтому особенно высокие требования предъявляются к радиотехническим системам посадки, в частности, к наиболее широко применяемым радиомаячным системам (РМС), которые в международных источниках обозначаются как ILS (instrument landing system). Радиомаячные системы способны обеспечить точную посадку по категориям I, II и IIIА.¹

Для формирования требуемой диаграммы направленности антенн (ДНА) радиомаяков системы ILS и минимизации пересвечиваний радиоволн от местных предметов, вводятся регламентированные и критические зоны. Согласно рекомендациям Международной организации гражданской авиации (ИКАО) необходимо также учитывать чувствительные зоны².

В пределах регламентированных зон предъявляются требования к микрорельефу и уклону местности, а также высоте травяного или снежного покрова. Размеры регламентированных зон приводятся в технической документации, разрабатываемой предприятием-изготовителем системы ILS.

¹ Кудряков С. А., Кульчицкий В. К., Поваренкин Н. В. [и др.] Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь. – М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. – 299 с.

² Авиационная электросвязь. Том 1 Радионавигационные средства. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Издание седьмое. – 2018. ИКАО. – 698 с.

В пределах критической зоны запрещается нахождение каких-либо объектов (кроме стоек светосигнального оборудования), поскольку это оказывает влияние на безопасность захода на посадку. Объекты, оказавшиеся в пределах чувствительной зоны, могут оказать влияние на безопасность, и нахождение их нежелательно. На аэродромах России чувствительные зоны не учитывают. Размеры критических зон курсового (КРМ) и глиссадного (ГРМ) радиомаяков системы посадки ILS приведены в федеральных авиационных правилах «Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации» (ФАП-297) (рис. 1).

Недостатком существующих требований является то, что размеры критических зон постоянны, а их изменение возможно только в случае переноса позиции радиомаяка, изменения параметров взлетно-посадочной полосы (перенос торца, изменение ширины), а также при вводе нового угла глиссады.

В то же время ИКАО рекомендует для современных систем ILS уменьшить размеры критических и чувствительных зон и делать их границы изменяемыми в зависимости от размеров объекта, нарушающего зону.

В документах ИКАО² приведены схемы критических зон для КРМ и ГРМ (рис. 2). Размеры зон (X_K, Y_K, X_G, Y_G) не постоянны и зависят от вида мешающего объекта (автомобиль, ВС) и его габаритов, а также от типа антенной системы радиомаяка.

Рекомендация ИКАО по уменьшению размеров критических зон вызвана необходимостью увеличения пропускной способности аэродрома за счёт сокращения времени выруливания ВС на взлетно-посадочную полосу (ВПП), увеличения количества мест стоянки (МС), а также оптимизации движе-



Рис. 1. Критические зоны КРМ и ГРМ (размеры приведены в метрах) согласно требованиям ФАП-297.





Рис. 2. Критические зоны КРМ и ГРМ, согласно рекомендациям ИКАО.

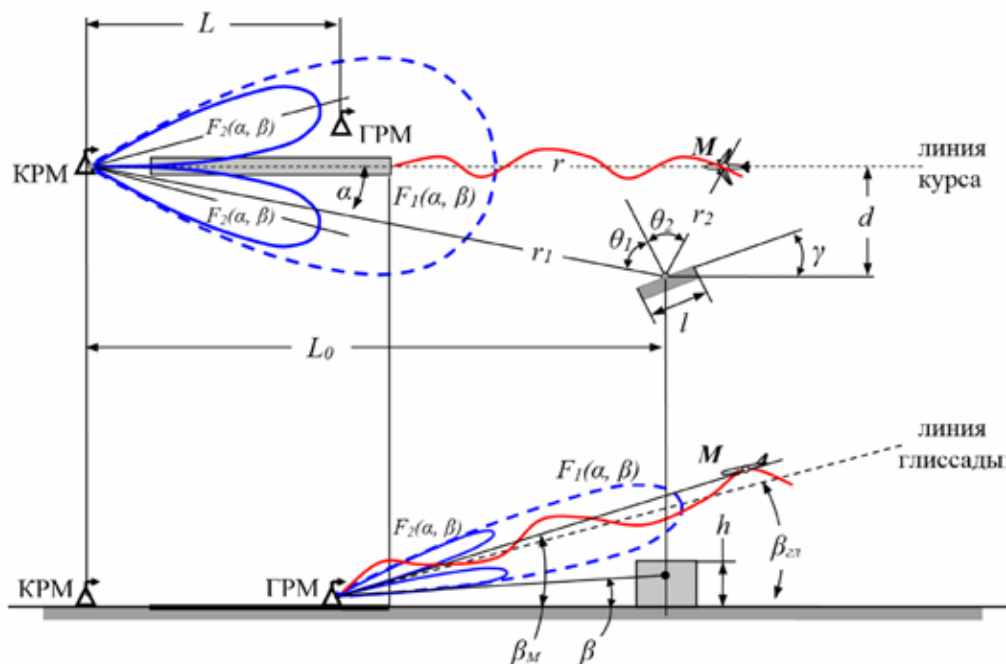


Рис. 3. Искривление линий курса и глиссады РМС, вызванные переотражением сигналов от объекта.

ния автотранспорта и спецтехники по рулежным дорожкам (РД). При этом рекомендуется производить моделирование влияния объектов на работу системы ILS и проводить специальные лётные проверки для подтверждения требуемого уровня безопасности полётов.

Актуальной является задача разработки методов определения размеров критических зон, позволяющих свести к минимуму программу лётных проверок, а в ряде случаев отказаться от них.

Целью исследования, изложенного в статье, является разработка методики оценки влияния объектов на рабочей площади аэродрома, позволяющая установить размеры критической зоны радиомаяков системы ILS согласно рекомендациям ИКАО.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

На работу КРМ и ГРМ могут оказывать влияние сигналы, переотражённые различными объектами, которые могут располагаться на приаэродромной территории [2, 3], а также на рабочей площади аэродрома [4]. Объект-отражатель может оказывать влияние на работу радиомаяков системы ILS, что выражается в наблюдаемом искривлении задаваемой посадочной траектории (линии курса и глиссады). Величина искривлений определяется путём расчёта отклонения от значений разности глубин модуляции (РГМ) в точках задаваемой траектории посадки. Схематичное изображение искривлённой линии курса и глиссады показано на рис. 3 [4].

Напряжённость поля прямого и отражённого сигналов в точке приёма (точка М на

рис. 3) определяется формой ДНА радиомаяка. У радиомаяков с опорным нулём это однопестковая диаграмма $F_1(\alpha, \beta)$ – для канала суммарного сигнала и двухпестковая $F_2(\alpha, \beta)$ – для канала разностного сигнала, где α – угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от оси ВПП; β – угол в вертикальной плоскости, отсчитываемый вверх от порога ВПП.

Величина РГМ в точке приёма М (рис. 3) при наличии некоторого i -го отражателя определяется выражением [4–8]:

$$РГМ = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha, \beta_M) + F_2(\alpha, \beta) k_{отр} \cos \psi_i}{F_1(\alpha, \beta_M) + F_1(\alpha, \beta) k_{отр} \cos \psi_i}, \quad (1)$$

где m – коэффициент амплитудной модуляции (0,2 для КРМ и 0,4 для ГРМ);

E_{m2} / E_{m1} – отношение напряжённостей полей, создаваемых разностным и суммарным каналами;

A – угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от оси ВПП, град;

β – угол места отражателя, наблюдаемого из точки размещения радиомаяка, град.;

β_M – угол места точки М, наблюдаемой из точки размещения радиомаяка, град.;

$k_{отр}$ – коэффициент отражения;

h – высота фазового центра антенны радиолокатора, м;

Ψ – фазовый сдвиг между прямым и отражённым от объекта сигналами в точке М, град.

В случае полёта по глиссаде угол θ будет равен нулю, а угол β – углу наклона глиссады (β_0). Тогда искривления, выраженные в РГМ, определяются как [4–8]:

1) для КРМ:

$$РГМ = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}{F_1(0; \beta_0) + F_1(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}, \quad (2)$$

2) для ГРМ:

$$РГМ = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}{1 + F_1(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \cos \psi}, \quad (3)$$

где ρ – модуль коэффициента отражения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предлагаемая методика и алгоритм её применения

Напряжённость поля отражённого сигнала зависит от свойств объекта, которые характеризуются геометрическими размерами и коэффициентом отражения. Различные виды переизлучателей характеризуются сво-

им модулем отражения ρ , поэтому они по-разному формируют отражённый сигнал и влияют на общую картину переотражений. Величина искривлений пропорциональна коэффициенту отражения $k_{отр} = \rho \times r / (r_1 + r_2)$, который будет тем больше, чем больше площадь отражателя и величина $r / (r_1 + r_2)$.

В простейшем случае объекты могут быть аппроксимированы такими моделями, как стенка (имитирует отражения от зданий, мостов, заборов), цилиндр (имитирует отражения от заводских труб, цистерн, ёмкостей, фюзеляжей ВС) и полусферический диффузный отражатель (имитирует отражение от возвышенностей рельефа). Как правило, в зоне облучения КРМ или ГРМ находятся несколько разнотипных объектов. Общее искажение представляет собой сумму искажений от совокупности элементарных отражателей [4].

Для оценки отражающих свойств объектов целесообразно определить их эффективную площадь рассеяния (ЭПР). Величина ЭПР отражающего объекта определяется: формой (размерами) объекта, используемыми материалами (отражающие, поглощающие, радиопрозрачные), технологией производства (гладкость внешней поверхности, наличие ступенек, вырезов, щелей). В общем виде ЭПР определяется как [9]:

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{E_s^2}{E_0^2}, \quad (4)$$

где E_0 – величина электрической составляющей, падающей от источника на объект электромагнитного поля;

E_s – величина электрической составляющей рассеянного (scattered) электромагнитного поля в точке приёма;

R – расстояние от объекта до излучающего средства.

Наибольший вклад в ЭПР вносят площадь и форма отражающего объекта. Различают объекты простых форм и сложных форм.

Рассмотрим методы для расчёта ЭПР отражателей простых форм (табл. 1), которые могут быть применены в том числе для предварительной оценки [9].

В настоящее время на аэродромах могут встречаться объекты из радиопрозрачных материалов (например, ангары или фюзеляжи современных ВС, выполненные из композиционных материалов). Внутри этих объектов располагаются различные отражающие элементы (кабели, оборудование, металлические



Таблица 1

Методы оценки ЭПР отражателей простых форм

Отражатель	Геометрия	Формула	Примечание
Прямоугольная пластина		$\sigma = \frac{64\pi a^2 b^2}{\lambda^2}$ $\sigma = \frac{114a^6}{\lambda^4}$	При $\lambda \ll a$, $\lambda \ll b$ Для $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ При $a=b$, $\lambda \gg a$ Для $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$
Цилиндр		ЭПР круглого цилиндра: $\sigma = \frac{2\pi l^2 a}{\lambda}$ ЭПР эллиптического цилиндра: $\sigma = \frac{2\pi l^2 b^2}{\lambda a}$ ЭПР эллиптического цилиндра: $\sigma = \frac{2\pi l^2 a^2}{\lambda b}$	При $\lambda \ll l$, $\lambda \ll a$, $\lambda \ll b$ Для $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ Для $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$
Конус-цилиндр		$\frac{\sigma}{\pi \cdot a^2} = \frac{4\pi}{(\pi + \alpha)^2} \times$ $\sin^2\left(\frac{\pi^2}{\pi + \alpha}\right)$ $\times \frac{1}{\left[\cos\left(\frac{\pi^2}{\pi + \alpha}\right) - \cos\left(\frac{2\pi^2}{\pi + \alpha}\right)\right]^2}$	Для $\theta = \varphi = 0^\circ$ Размеры отражателя больше длины волны

элементы конструкции – для ВС; несущие конструкции в виде металлических ферм – для ангаров). Поэтому актуальным является расчёт характеристик рассеяния таких сложных объектов.

Внутренние металлические конструкции сложных объектов могут быть представлены в виде идеально проводящих элементов, как это показано на рис. 4 [10].

Целесообразно также применять комбинированный способ моделирования, учитывая диэлектрические (радиопрозрачные) и идеально проводящие элементы сложного объекта. Идеально проводящие рассеивающие элементы можно разбить на две группы [10–12]: гладкие поверхности (аппроксимируются участками трехосных эллипсоидов) и кромочные локальные участки рассеяния (аппроксимируются линиями излома).

Линия излома поверхности (участок плоской кривой) аппроксимируется участком эллипса, а ребро прямолинейного излома – отрезком прямой. Количество эллипсоидов для каждого сложного объекта выбирается индивидуально. Пусть сложный объект облучается плоской волной [10–12]:

$$\begin{aligned} \vec{E}^0(\vec{x}) &= \vec{p} e^{jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})}; \\ \vec{H}^0(\vec{x}) &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \left(\vec{R}^0 \times \vec{p} \right) e^{jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})}, \end{aligned} \tag{5}$$

где $\vec{p}^0$ – орт поляризации радиоволны;
 $\vec{R}^0$ – орт направления распространения радиоволны;
 ϵ_0, μ_0 – абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемости свободного пространства;

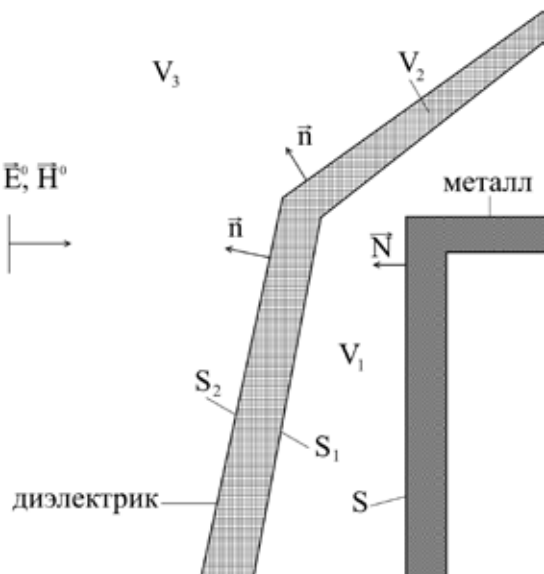


Рис. 4. Модель сложного объекта (на примере ангара).

k_0 – волновое число в свободном пространстве ($k_0 = 2\pi / \lambda$, λ – длина падающей монохроматической волны);

$\vec{x}$ – радиус-вектор текущей анализируемой точки.

Поле вспомогательного точечного источника излучения (диполя) в присутствии лишь области V_2 (внешняя диэлектрическая оболочка) определяется как $\vec{\xi}(\vec{x} | \vec{x}_0, \vec{p})$ и $\vec{N}(\vec{x} | \vec{x}_0, \vec{p})$, где $\vec{x}_0$ – точка расположения источника излучения, $\vec{p}$ – его вектор-момент.

Для получения рассеянного поля от рассматриваемого сложного объекта применим выражение [10–12]:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}^p(-\vec{R}^0) = \vec{p} \cdot \vec{\xi}(-\vec{R}^0) + \frac{1}{j\omega_s} \int_{S_2} \vec{I}(\vec{x}) \cdot \vec{\xi}(\vec{x} | \vec{R}^0, \vec{p}) dS, \quad (6)$$

где $\vec{\xi}(-\vec{R}^0)$ – поле, рассеянное только внешней диэлектрической оболочкой в отсутствие идеально проводящих элементов под ней;

$\vec{\xi}(\vec{x} | \vec{R}^0, \vec{p})$ – тангенциальная составляющая поля плоской волны (по отношению к поверхности идеально проводящих элементов S), распространяющейся в направлении $\vec{R}^0$ и прошедшей через диэлектрическую оболочку, в точке x на поверхности идеально проводящих элементов S ;

$\vec{I}(\vec{x})$ – плотность поверхностного тока на S , наведённая прошедшей сквозь диэлектрическую оболочку плоской волной $(\vec{E}^0, \vec{H}^0)$;

$\vec{p}$ – орт направления поляризации плоской волны.

Интегральный член в данном выражении даёт вклад идеально проводящих элементов (под диэлектрической оболочкой) в общее поле рассеяния, с учётом внутрисистемных электродинамических взаимодействий. Учитывая, что сложный объект как правило имеет большие электрические размеры, слагаемые правой части могут быть вычислены приближённо, с помощью метода коротковолновой дифракции. Подробнее метод определения поля, отражённого от сложных объектов, описан в [10–12].

После проведения расчётов искривлений линии курса и глиссады необходимо обработать результаты. Амплитуду искривлений линии глиссады целесообразно анализировать от границы зоны действия ГРМ, на удалении 18,5 км от торца ВПП, а амплитуду искривлений линии курса – примерно от границы зоны действия широкого канала КРМ, удалённой на 32 км от радиомаяка. На анализируемом участке необходимо определить интервалы, на которых амплитуда искривлений превосходит максимально допустимое значение, и просуммировать их. Если общая протяжённость этих участков превысит 5 % от длины анализируемого интервала, значит требования по точности данного канала не выполняются.

Полностью устранить влияние переизлучённых сигналов на работу системы ILS не-





Рис. 5. Спутниковый снимок ВПП аэродрома Горно-Алтайск с указанием критических зон КРМ и ГРМ, а также отражателей (холм и здания).

возможно, поэтому ИКАО введены ограничения на допустимую величину искривлений задаваемых траекторий, зависящую от расстояния до торца ВПП и категории системы посадки³.

Таким образом, применение предлагаемой методики сводится к следующему алгоритму:

1) Анализ существующей приаэродромной территории и выполнение оценки искривлений линий курса и глиссады при наличии зданий, сооружений и возвышенностей рельефа местности.

2) Сравнение результатов моделирования с данными лётных проверок РМС для проверки адекватности и точности применяемого метода в конкретных условиях.

3) Выполнение оценки влияния объектов, находящихся вблизи границ критических зон (определённых по ФАП-297), но не нарушающих её для подтверждения заданной категории ILS.

4) Выполнение оценки влияния объектов, находящихся внутри границ критических зон (определённых по ФАП-297). Размещение объектов может быть по границам зон, рекомендованных ИКАО, либо на требуемых рубежах, исходя из технологической необходимости.

5) По результатам моделирования необходимо сделать вывод о возможности сокращения размеров критической зоны радиомаяков ILS в соответствии с рекомендациями ИКАО.

При выполнении пунктов 3 и 4 необходимо провести моделирование для различных углов поворота объектов относительно антенной системы радиомаяка ILS. Последующую оценку и разработку решений следует проводить для наихудшего случая влияния объекта

на работу систем посадки (наибольшей величины искривлений линии курса или глиссады). Целесообразно результаты моделирования подтвердить при проведении лётных проверок.

2. Апробация разработанного алгоритма

Применим разработанный алгоритм для оценки возможности уменьшения размеров критических зон радиомаяков системы ILS на аэродроме Горно-Алтайск, расположенного в Республике Алтай. Аэродром имеет одну ВПП длиной 2031 м, оборудованную с одного направления радиомаячной системой посадки I категории, угол наклона глиссады $3^{\circ}20'$. На рис. 5 показан спутниковый снимок ВПП, с указанием размещения ГРМ и КРМ, объектов-переотражателей и критических зон КРМ и ГРМ (согласно ФАП-297).

Анализ района аэродрома (рис. 5) показал присутствие в створе ВПП холма, а также зданий вблизи самой ВПП, которые могут оказать влияние на работу КРМ. Критическая зона КРМ влияет на движение транспорта по РД и размещение ВС на местах стоянки.

В сборнике аэронавигационной информации (АИП)⁴ отмечено, что имеется ряд ограничений и особенностей при рулении ВС (рис. 6). Так, после посадки воздушных судов индекса 3–6 на ВПП 20, разворот на 180° разрешается выполнять на пониженной скорости только у порога ВПП 02, используя уширение. Руление по перрону вдоль занятых МС2 и МС3 разрешено ВС с размахом крыла не более 29 м. Руление по перрону вдоль занятых МС4–МС6 и МС10 разрешено ВС с размахом крыла не более 24 м. Также в АИП имеется ряд ограничений на заруливание/

³ Методические рекомендации по лётным проверкам наземных средств радиотехнического обеспечения полётов, авиационной электросвязи и систем светосигнального оборудования аэродромов. Приложение ИЛ № 79р. 2012 г.

⁴ АИР сборник аэронавигационной информации Российской Федерации. Часть III Аэродромы (AD). [Электронный ресурс]: <http://www.caiga.ru/common/AirInter/validaip/html/rus.htm>. Доступ 26.05.2023.

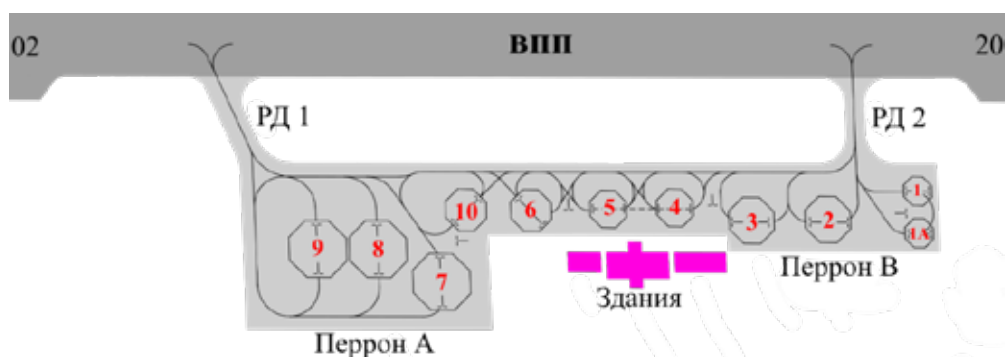


Рис. 6. Схема мест стоянок ВС аэродрома Горно-Алтайск.

Таблица 2

Продолжительность стоянки ВС на перроне

Группа ВС	Продолжительность стоянки ВС различных рейсов, ч			
	Транзитный	Обратный	Конечный	Начальный
I	1,50	2,10	0,90	0,90
II	1,00	1,20	0,80	0,90
III–IV	0,55	0,75	0,40	0,80

выруливание ВС с определённым размахом крыла (более 25–29 м) при занятых местах стоянки ВС со второй по шестую и десятую. Эти ограничения связаны с тем, что ширину перрона невозможно увеличить, не нарушив критическую зону КРМ.

В настоящей конфигурации при рулении даже средних (CRJ200) и малых (L410) ВС из одиннадцати имеющихся МС свободными должны быть от трёх до пяти, что повышает вероятность отказа P очередному ВС в обслуживании на перроне⁵:

$$P = \frac{\left(\frac{I_p}{2} T_n\right)^{N_n} \frac{1}{N_n!}}{\sum_{m=0}^{N_n} \left(\frac{I_p}{2} T_n\right)^m \frac{1}{m!}}, \quad (7)$$

где I_p – интенсивность движения ВС в расчётный час;

T_n – среднее время стоянки ВС на перроне;

N_n – число мест стоянки на перроне;

m – количество одновременно занятых стоянок.

Среднее время стоянки ВС на перроне может быть найдено из табл. 2. Для аэродрома Горно-Алтайск T_n принято равным 0,84 ч.

Уравнение (7) может решаться по каждой группе ВС, а также усреднённо по всем группам. Учитывая, что подавляющее число

взлетно-посадочных операций (ВПО) на аэродроме Горно-Алтайск выполняется ВС группы II–IV, получим минимальную вероятность отказа в обслуживании в диапазоне 0,0112...0,0126 (при интенсивности ВПО 10 ВС/ч) и 0,158...0,315 (при интенсивности ВПО 15 ВС/ч).

Ограничения на скорость руления оказывают влияние на время занятости ВПП. Так, при взлёте ВС время занятости $T_{взл}$ оценивается как:

$$T_{взл} = t_{вырул} + t_{ст} + t_{разб} + t_{нв}, \quad (8)$$

где $t_{вырул}$ – время выруливания на исполнительный старт;

$t_{ст}$ – время установки ВС на старте для доведения тяги двигателей до взлётной;

$t_{разб}$ – время разбега ВС;

$t_{нв}$ – время разгона и набора установленной высоты.

При посадке ВС время занятости $T_{пос}$ оценивается как:

$$T_{пос} = t_{пл} + t_{проб} + t_{отрул}, \quad (9)$$

где $t_{пл}$ – время планирования ВС с высоты принятия решения до касания ВПП;

$t_{проб}$ – время пробега ВС;

$t_{отрул}$ – время отруливания ВС за боковую границу ВПП (за пределы критической зоны КРМ).

Для проведения оценочного расчёта примем типовые значения указанных временных интервалов, характерных для аэродрома Горно-Алтайск (табл. 3). Значения вырулива-

⁵ Глушков Г.И., Бабков В.Ф., Тригопи В.Е. и др. Изыскания и проектирование аэродрома: Учеб. для вузов / Под ред. Г. И. Глушкова. 2-е изд. – М.: Транспорт, 1992. – 463 с.



Таблица 3

Значения временных интервалов для оценки занятости ВПП

Временной интервал	Значение, с
Время выруливания ВС на исполнительный старт $t_{\text{вырул}}$	30...60
Время установки ВС на старте для доведения тяги двигателей до взлетной $t_{\text{ст}}$	30...60
Время разбега ВС $t_{\text{разб}}$	10...20
Время разгона и набора установленной высоты $t_{\text{наб}}$	10...25
Время планирования ВС с высоты принятия решения до касания ВПП $t_{\text{пл}}$	15...30
Время пробега ВС $t_{\text{проб}}$	15...25
Время отруливания ВС за боковую границу ВПП (за пределы критической зоны КРМ) $t_{\text{отрул}}$	30...60

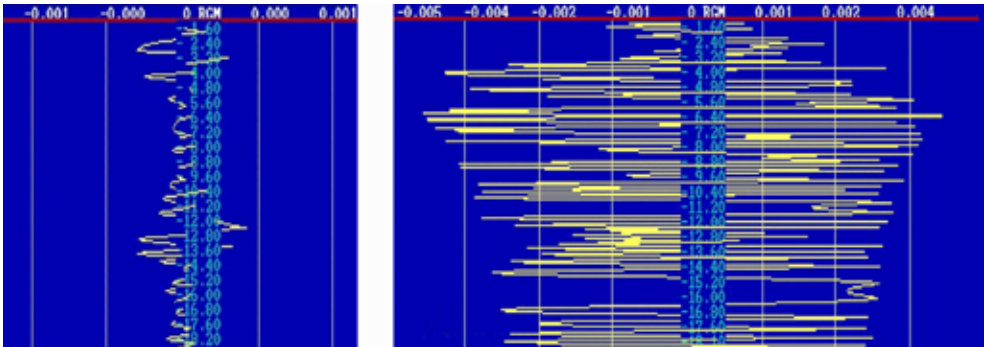


Рис. 7. Искривления линий курса и глиссады системы ILS аэродрома Горно-Алтайск для существующей приаэродромной территории.



Рис. 8. Размещение ВС с размерами, соответствующими Boeing-737, вблизи границы критической зоны КРМ.

ния и отруливания приняты согласно условию снижения скорости и возможного ожидания при занятии МС, указанных в АИП.

Таким образом, время занятия ВПП составит 80...165 с при взлёте и 60...115 с при посадке. Эти временные интервалы могут быть сокращены путём уменьшения времени выруливания и отруливания. Для решения этой задачи необходимо расширить перрон, что позволит не уменьшать скорость при рулении и занимать места стоянки со второй по шестую и десятую без риска блокирования пути следующим ВС. Это решение требует сокращения критической зоны КРМ, поэтому целесообразно провести оценку возможности и целесообразности данного решения и возможного влияния объектов на работу системы ILS.

Воспользуемся разработанным алгоритмом, включающим 5 этапов.

1. Выполним оценку искривлений линий курса и глиссады для существующей приаэродромной территории с применением (5) и (6). Здания и сооружения (рис. 6) представляют собой объекты простой формы, которые могут быть аппроксимированы моделью переотражателя в виде стенки, возвышенности рельефа местности аппроксимируем моделью полусферического диффузного отражателя. Результаты анализа представим в виде графиков искривлений линий курса и глиссады, выраженных в единицах РГМ (рис. 7).

2. Полученные результаты позволяют сделать вывод о выполнении требований категории I, что подтверждает результаты лётной проверки. Таким образом, применяемая

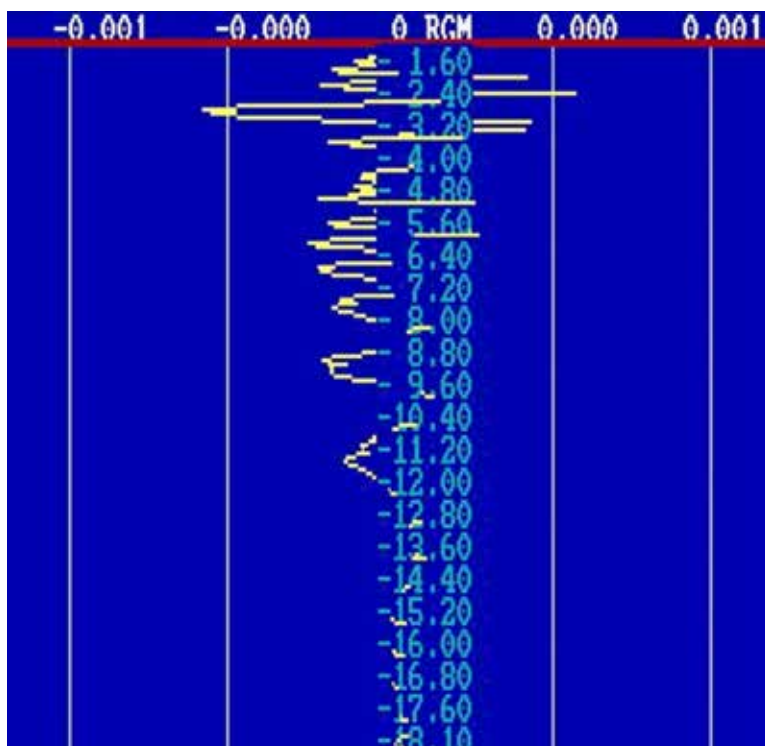


Рис. 9. Искривления линии курса системы ILS аэродрома Горно-Алтайск при нахождении Boeing-737, вблизи границы критической зоны КРМ.



Рис. 10. Вариант расширенного перрона аэродрома Горно-Алтайск (указаны новая критическая зона КРМ и места размещения исследуемых объектов).

методика даёт адекватную оценку для условий аэродрома Горно-Алтайск.

3. Выполним оценку искривлений линии курса при нахождении ВС с размерами, соответствующими Boeing-737, вблизи границы критической зоны КРМ (рис. 8). Результаты анализа представлены на рис. 9. Видно, что

искривления не выходят за рамки требований категории I, таким образом, крупные объекты-отражатели не вызывают существенных искажений линии курса, что подтверждает адекватность введённых критических зон, размеры которых соответствуют требованиям ФАП-297.



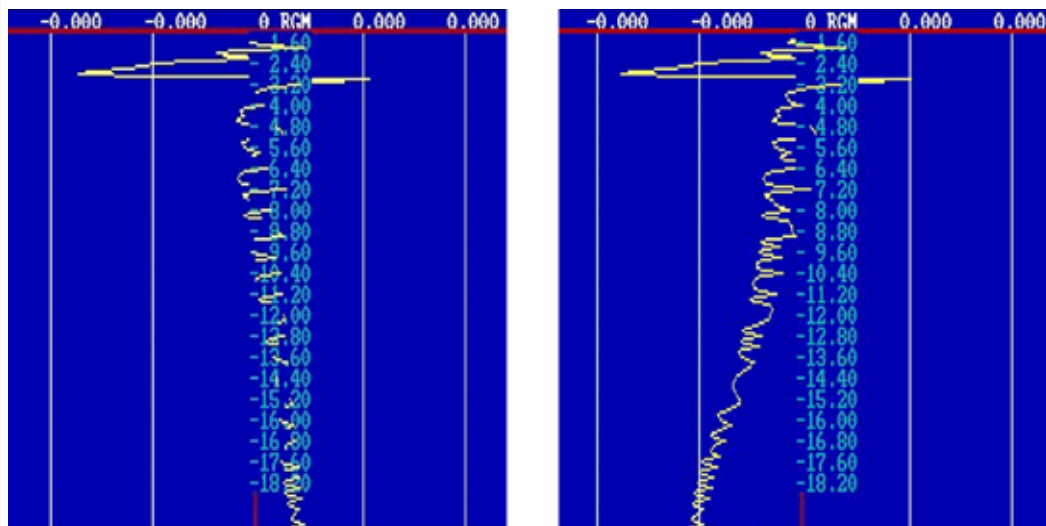


Рис. 11. Искривления линии курса, вызванные аэродромной техникой (модели автомобиля и трактора).

4. Выполним оценку влияния объектов для сокращённой критической зоны КРМ. Сокращение границ критической зоны КРМ вызвано необходимостью расширения перрона. На рис. 10 показан возможный вариант нового перрона (ширина увеличена на 35 м), а также границы новой критической зоны КРМ (расстояние от оси ВПП сократилось до 80 м) и места расположения объектов. Это позволит оптимизировать процедуры руления, а также даст возможность модернизировать места стоянки для приёма тяжёлых ВС.

Выполним оценку искривлений линии курса для следующих объектов:

- аэродромной техники (модели автомобиля и трактора);
- для лёгких самолётов (L410);
- для средних самолётов (CRJ200);
- для тяжёлых самолётов (Boeing-737).

На аэродроме Горно-Алтайск отсутствуют объекты, требующие применения методов оценки ЭПР переотражателей различных форм, приведённые в табл. 1. Также отсутствуют сооружения, требующие применения модели сложного объекта (рис. 4). Поэтому, в данном примере, применён упрощённый расчёт: техника аппроксимирована моделью вертикальной стенки, а ВС – моделью горизонтального цилиндра (фюзеляж) и вертикальной стенки (хвост). Для более точного расчёта рекомендуется учитывать сложную форму объектов, а также их структуру. Результаты моделирования представлены на рис. 11 и 12.

5. Результаты моделирования (рис. 11 и 12) показывают, что при размещении объектов (аэродромной техники и воздушных судов различных классов) на позициях, показанных на рис. 10, искривления линии курса не превышают нормативных значений для категории I. Можно сделать вывод о возможности сокращения размеров критической зоны КРМ в соответствии с рекомендациями ИКАО.

ОБСУЖДЕНИЕ

В дальнейших исследованиях планируется провести доработку представленной методики, включив в анализ ранее не учтённые факторы, что позволит повысить точность и достоверность результатов. При этом следует принимать во внимание математическую сложность модернизируемой методики, а также возможность её реализации в виде программного пакета.

Рассмотрим некоторые аналоги. В настоящее время разработаны и реализованы методы оценки и учёта искривлений линий курса и глиссады системы ILS. Так, компания Airbus, совместно с французской Национальной школой гражданской авиации (Ecole Nationale de l'Aviation Civile, ENAC) и Европейским аэрокосмическим и оборонным концерном (European Aeronautic Defence and Space Company, EADS) разработала программные продукты: ATOLL и LAGON, позволяющие моделировать влияние рельефа местности и местных объектов на работу системы ILS методом физической оптики [1].

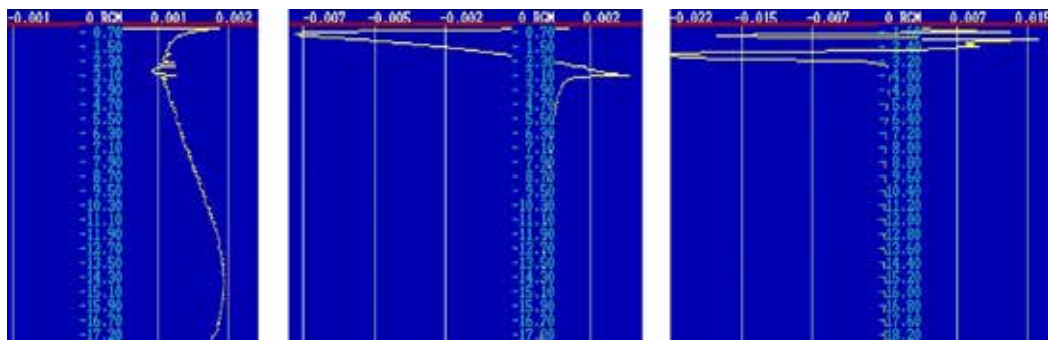


Рис. 12. Искривления линии курса, вызванные легкими, средними и тяжелыми самолетами.

В работе [7] программа ATOLL применялась для оценки влияния планируемого здания и строительных кранов (с различными углами поворота стрелы) на работу КРМ аэродрома Рига. Методом моделирования было доказано, что новое здание позволит сохранить имеющуюся категорию посадки, однако при строительстве необходимо выбирать точки размещения строительных кранов и отслеживать угол поворота их стрел при заходе ВС на посадку, так как это может привести к недопустимым искривлениям линии курса.

Также ведутся работы по применению метода моментов и многоуровневого мультипольного метода. При этом, в [1] отмечается, что данные методы имеют ряд ограничений, в частности, не способны учесть влияние подстилающей поверхности в виде уступа. В целом, учёт подстилающей поверхности (уклон в продольном и поперечном направлениях, неровности микрорельефа, наличие снежного или травяного покрова и его неоднородность) является отдельным направлением исследований [13–15] и в будущем должен будет применяться в перспективных методиках оценки искривлений линии курса и глиссады системы ILS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с совершенствованием характеристик систем ILS размеры критических зон радиомаяков (регламентируемые в ФАП-297) могут быть сокращены. В документах ИКАО представлены рекомендуемые размеры критических зон, при этом отмечено, что предпочтительно проводить моделирование влияния объектов на работу КРМ и ГРМ.

В статье представлена методика оценки искривлений линий курса и глиссады и раз-

работан алгоритм её применения. На примере аэродрома Горно-Алтайск выполнена оценка влияния объектов, находящихся в пределах существующей критической зоны на работу КРМ. Было доказано, что критическая зона КРМ может быть сокращена, что даст возможность расширить перрон на 35 м и устранить имеющуюся на сегодняшний день проблему с ограничением скорости руления и блокированием движения ВС с размахом крыльев более 25...29 м при занятии мест стоянки ВС со второй по шестую и десятую.

При расширении перрона удастся получить вероятность отказа в обслуживании в диапазоне 0,001...0,003 (при интенсивности ВПО 10 ВС/ч) и 0,05...0,105 (при интенсивности ВПО 15 ВС/ч), что в 3...11 раз меньше существующей вероятности.

Расширение перрона позволит не снижать скорость руления и устранить ожидание ВС при занятых местах стоянки со второго по шестое и десятое. Таким образом, уменьшится время выруливания и отруливания примерно до 20...40 и 15...30 с. Это приведёт к уменьшению времени занятости ВПП до 70...145 с при взлёте и 45...85 с при посадке, что на 12,5...26 % лучше существующих показателей. Улучшение показателей (вероятность отказа в обслуживании и времени занятия ВПП) позволит увеличить пропускную способность аэродрома.

Поскольку ФАП-297 определяет фиксированные размеры критических зон КРМ и ГРМ, рекомендуется внести изменения в существующие нормативные акты для учёта рекомендаций ИКАО и обеспечения возможности сокращения критических зон радиомаяков системы ILS при условии сохранения заданного уровня безопасности полётов.





Необходимо определить случаи, требующие обязательного проведения лётной проверки новых критических зон и разработать программу специальных лётных проверок. Также необходимо определить случаи, допускающие установление границ критических зон на основании результатов моделирования и разработать единую методику и алгоритм проведения расчётов.

В дальнейших исследованиях планируется модернизировать методику оценки искривлений линий курса и глиссады для учёта дополнительных факторов, в том числе характеристик подстилающей поверхности, влияющих на пространственные характеристики излучения радиомаяков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Войтович Н. И., Ершов А. В., Юнгайтис Е. М. Дифракция электромагнитных волн на полуплоскости применительно к системе посадки воздушных судов на аэродромы с высоким уровнем снежного покрова и сложным рельефом местности в зоне захода на посадку // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2022. – № 1 (43). – С. 11–21. DOI: 10.14529/secur220102.
2. Tong, Kuang; Song, Yang; Kong, Xiangfen; Zhang, Kaiwen; Chen, Zijian. An integrated method for accurate identification and dynamic monitoring of buildings in aerodrome obstacle free space. ICAS 2020, pp. 1–14. [Электронный ресурс]: https://icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_1061_paper.pdf. Доступ 17.06.2023.
3. Mitsevich, L., Zhukovaskaya, N. Geospatial modeling, analysis and mapping for aerodrome land. E3S Web of Conferences, 2021, Vol. 310, EDP Sciences, pp. 1–10. DOI: 10.1051/e3sconf/202131004003.
4. Рубцов Е. А. Автоматизация оценки влияния объектов строительства на работу средств радиотехнического обеспечения полётов // I-methods. – 2022. – Т. 14. – № 3. [Электронный ресурс]: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2022/3/4-rubcov.pdf>. Доступ 17.06.2023.
5. Юнгайтис Е. М., Ершов А. В., Жданов Б. В., Войтович Н. И. Искривления радиотехнической глиссады как голографический портрет рельефа местности // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2019). – Севастополь, 2019. – С. 43–48. EDN: SRRJJO.
6. Iungaitis, E. M., Ershov, A. V., Zhdanov B. V., Voytovich, N. I., Zotov, A. ILS Glide Slope Antenna Array for Airfields with a High Level of Snow Cover. 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019.

- Krakow, 2019, 8740267. [Электронный ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8740267>. Доступ 17.06.2023.
7. Vorontsov, K., Lacane, M. A. Case Study for Riga International Airport Modernization: ILS Localizer Signal Accuracy Depending on Ground Obstacles Located Nearby. International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, Cham, 2020, pp. 235–245. DOI:10.1007/978-3-030-68476-1.
 8. Zotov, A. V., Zhdanov, B. V., Voytovich, N. I. Theory and experiment of ILS localizer course line electronic adjustment. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Sochi, 2019, 8743091. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743091.
 9. Вожаев В. В., Теперин Л. Л. Характеристики радиолокационной заметности летательных аппаратов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 376 с. ISBN 978-5-9221-1782-1.
 10. Ряполов И. Е., Василец В. А., Сухаревский О. И., Ткачук К. И. Высокочастотный метод расчёта вторичного излучения модели фюзеляжа беспилотного летательного аппарата // Системы озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1 (37). – С. 222–225. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/370806235_VYSOKOCASTOTNYJ_METOD_RASCETA_VTORICNOGO_IZLUCENIA_MODELI_FUZELAZA_BESPILOTNOGO_LETATELNOGO_APPARATA. Доступ 17.06.2023.
 11. Сухаревский О. И., Василец В. А., Кукобко С. В. [и др.]. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: Монография / под ред. О. И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с. ISBN 978-9-6646-8040-7.
 12. Nechitaylo, S. V., Orlenko, V. M., Sukharevsky, O. I., Vasilets, V. A. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects, SRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 2014, 334 p. ISBN 9781315214511.
 13. Зотов А. В. Исследование влияния рельефа местности на выходные характеристики курсового радиомаяка системы инструментальной посадки самолётов / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2017. – 22 с. [Электронный ресурс]: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/13585/00055376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Доступ 17.06.2023.
 14. Юнгайтис Е. М., Войтович Н. И., Головин А. А., Жданов Б. В. Влияние рельефа местности в виде уступа на поведение траектории для захода самолёта на посадку // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2017): Материалы 27-й Международной Крымской конференции. В 9-ти томах, Севастополь, 10–16 сентября 2017 года. Том 2. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2017. – С. 379–386. EDN: YNKSNY.
 15. Юнгайтис Е. М., Жданов Б. В., Ершов А. В., Войтович Н. И. Поведение информационного параметра глиссадного радиомаяка системы посадки самолётов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2020. – № 1–2. – С. 74–75. EDN: IDPLUN.

Информация об авторах:

Рубцов Евгений Андреевич – кандидат технических наук, заместитель директора Академии гражданской авиации Российского университета транспорта, Москва, Россия, rubtsov.rut.miit@yandex.ru.

Кудряков Сергей Алексеевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, директор Научно-образовательного центра воздушного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, psi_center@mail.ru.

Далингер Яков Михайлович – кандидат технических наук, проректор Российского университета транспорта, Москва, Россия, iakovdaliniger@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 29.05.2023, одобрена после рецензирования 01.10.2023, принята к публикации 09.10.2023.



Техническая подготовка к планово-предупредительному ремонту двухэтажного подвижного состава



Андрей Сергеевич Шинкарук

*Акционерное общество «Федеральная пассажирская компания», Москва, Россия.
✉ Shinkarukas@mail.ru.*

Андрей ШИНКАРУК

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена изучению процесса технической подготовки к организации проведения планово-предупредительного ремонта вновь вводимых в эксплуатацию двухэтажных пассажирских вагонов. В работе рассмотрены основные задачи и цели технической подготовки, включая пооперационный процесс ремонта вагонов, а также планирование ремонта, формирование номенклатуры применяемых при ремонте и техническом обслуживании материалов, инструмента и пооперационного контроля выполненных работ. Установлены особенности и несоответствия, возникающие при технической подготовке к ремонту двухэтажных вагонов нового модельного ряда, а также предложены пути их решения.

В работе рассмотрены основные направления в организации проведения планово-предупредительного ремонта в части реализации мероприятий по интеграции в процесс особенностей, связанных со спецификой применяемых в данных вагонах узлов, деталей и материалов. Рассмотрены основные за-

дачи по подготовке к планово-предупредительному ремонту с учётом обеспеченности цехов, разработке форм, методов и корректировке производственных процессов, а также использованию средств малой механизации, изготовлению приспособлений для ускорения процесса ремонта. Структурированы процессы проведения планово-предупредительного ремонта, а также разработана процессная модель ремонта двухэтажного вагона при постановке его на производство.

Данное исследование позволяет регламентировать и повысить эффективность технической подготовки к ремонту двухэтажных вагонов, обеспечить более высокое качество и скорость выполнения ремонтных работ, а также эффективно оценить реальную потребность в запасных частях и материалах, используемых в ремонте, так как эксплуатация данных вагонов предусматривает в себя применение новой номенклатуры запасных частей, материалов и элементов в сравнении с уже поставленными на производство одноэтажными аналогами.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, двухэтажный вагон, пассажирский вагон, персонал, затраты, унификация, модель, конструкция.

Для цитирования: Шинкарук А. С. Техническая подготовка к планово-предупредительному ремонту двухэтажного подвижного состава // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-6>.

**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

Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в экономике Российской Федерации. Железные дороги являются основной средой перевозки грузов на большие расстояния, что полезно, в первую очередь, для развития и поддержания отраслей промышленности, которые обеспечивают экономический рост. Большинство грузов, особенно продуктов питания, отгружаются железнодорожным транспортом, что также является важным для продовольственного обеспечения населения. За счёт реализации различных проектов, например, по строительству и модернизации железнодорожных магистралей, количество и скорость железнодорожных грузовых перевозок значительно увеличиваются и совершенствуется перевозочный процесс.

Железнодорожный транспорт также важен для пассажирских перевозок, особенно при перевозке пассажиров на дальние расстояния, что предоставляет возможность путешествовать по России и знакомиться с её красотами и культурой. Он также является средством связи между различными регионами и городами, обеспечивая доступ к трудовым и природным ресурсам.

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 18.05.2001 г. № 384 была утверждена «Программа структурной реформы железнодорожного транспорта»¹, где изложена концепция реформирования железнодорожного транспорта и пассажирского комплекса, в частности, предусматривалось последующее выделение отдельных направлений развития пассажирских перевозок – дальнее, пригородное и скоростное сообщения.

27 марта 2007 года ОАО «РЖД» утвердило Положение № 405 «О Федеральной пассажирской дирекции – филиале ОАО «РЖД»², в рамках выполнения которого начался переход и структурирование дальних пассажирских перевозок как отдельной бизнес-структуры, по результатам реализации которого осуществлено полное преобразование

на принципах территориально-административного управления.

В 2009 году советом директоров ОАО «РЖД» одобрено создание Открытого Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания» (далее ОАО «ФПК») как самостоятельной структурной единицы, и с 2010 года данная компания начала свою производственно-финансовую деятельность. В актив ОАО «ФПК» вошли пассажирские вагоны локомотивной тяги, пассажирские вагонные депо и участки, багажные отделения и железнодорожные агентства.

В соответствии с Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года, утверждённой Распоряжением Правительства Российской Федерации 19.03.2019 г. № 466-р³, и в целях её реализации установлено, что для достижения роста пассажирооборота требуется приобретение в среднем 600 вагонов ежегодно. Реализация данных требований позволит сохранить долю перевозок пассажиров в дальнем следовании на уровне 26–28 процентов с выполнением к 2025 году объёма в дальнем сообщении 116,7 миллиардов пассажиро-километров³.

Мировым лидером по отправленным пассажирам во всех сообщениях является Китай [1], который в 2021 году перевёз почти 3 миллиарда человек, второе место занимает Индия (1,25 млрд), а на третьем – Германия (1,2 млрд). В России данный показатель составляет 1,06 миллиарда отправленных пассажиров и условно соответствует пятому месту мирового рейтинга⁴.

При переводе данного показателя на млрд. пасс.-км установлено, что Российские железные дороги в данном сегменте уступают китайским перевозчикам с объёмом 946 млрд пасс.-км и железнодорожным перевозкам Индии с 201 млрд пасс.-км. В России показатель железнодорожных пассажирских перевозок во всех сегментах за 2021 год составил 104,2 млрд пасс.-км⁵. Разница в показателях связана, в том числе, и с тем, что жители

¹ Постановление Правительства РФ от 18 мая 2001 г. № 384 «О Программе структурной реформы на железнодорожном транспорте». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/183354/>. Доступ 02.03.2023.

² Положение № 405 «О Федеральной пассажирской дирекции – филиале ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/901989485>. Доступ 02.03.2023.

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 № 466-р «Об утверждении долгосрочной программы развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года» [Электронный ресурс]: <http://government.ru/docs/36094/>. Доступ 15.01.2023.

⁴ На основе [Электронный ресурс]: <https://uic-stats.uic.org/list/>. Доступ 20.05.2023.

⁵ Транспорт в России. 2022: Стат.сб./Росстат. – М., 2022–101 с. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf. Доступ 25.02.2023.

Европы и Азии приоритетно пользуются услугами высокоскоростного сообщения.

При рассмотрении мобильности пассажиров и их предпочтений в использовании для путешествий видов транспорта установлено, что услугами воздушного сообщения [2] пользуются 54 % пассажиров, железнодорожного – 23 %, автомобильного – 15 %, метрополитеном – 8 % и водным – менее 1 %⁵.

В целях привлечения дополнительных объёмов железнодорожных перевозок в дальнем пассажирском сообщении необходимо как развивать удобную транспортную логистику и взаимосвязь между перевозочными сферами с использованием различных видов транспорта (мультимодальность) [3], так и повышать качество предоставления услуг, а также совершенствовать комфортабельность подвижного состава [4].

На улучшение условий проезда пассажиров первостепенное влияние оказывает возраст подвижного состава. Так, в Российской Федерации за последнее десятилетие выполнение инвестиционной программы закупки подвижного состава позволило снизить средний возраст пассажирского вагона с 19,2 до 17,5 лет, а его износ уменьшить с 66,4 % до 54,4 %⁶, что положительно сказалось как на качестве предоставления услуг, так и на привлечении пассажиров для путешествий в дальнем сегменте перевозок [5].

Однако, несмотря на существенное увеличение приобретения подвижного состава в последние годы, имеющееся количество пассажирских вагонов всё ещё недостаточно для удовлетворения всех потребностей для перевозки пассажиров в пиковые периоды. Для их нивелирования на системной основе изыскиваются возможности и рассматриваются перспективы повышения использования подвижного состава в эксплуатации путём внедрения перспективных средств диагностики [6], снижающих риск значительного повреждения или износа узлов вагона [7–9], а также применения элементов с повышенной эксплуатационной надёжностью и ресурсом [10]. Также совершенствуются и технологические процессы организации проведения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта.

⁶ Годовой отчёт АО «ФПК» за 2021 г. Ключевые показатели. [Электронный ресурс]: <https://ar2021.fpc.ru/ru/company/results>. Доступ 25.02.2023.

Наряду с улучшением технических характеристик подвижного состава перевозчик заинтересован и в увеличении вместимости пассажирского вагона [11]. Так, с 1 ноября 2013 года дан старт курсированию поезда, сформированного из двухэтажных вагонов отечественного изготовления на маршруте Адлер–Москва. Данный вид подвижного состава стал очень востребован для пассажиров, и в настоящее время на полигоне железных дорог уже курсирует более 850 вагонов, связывающих сообщением региональные центры, а также курорты черноморского побережья.

С учётом постоянного увеличения парка двухэтажных пассажирских вагонов, анализа организации работ по подготовке к производству, разработке и эксплуатации подвижного состава в зарубежных компаниях [12–14], а также для обеспечения эффективного проведения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта на всём эксплуатационном этапе жизненного цикла возрастает роль подготовки производства к организации проведения планово-предупредительного ремонта.

Цель исследования – анализ технической подготовки к планово-предупредительному ремонту двухэтажных вагонов нового модельного ряда на производственных мощностях пассажирских вагонных депо. В исследовании применены *методы* инженерного моделирования, нормативно-правового анализа, а также сравнительного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведение планово-предупредительного ремонта пассажирского подвижного состава включает в себя оснащение участков и цехов предприятия соответствующим оборудованием, мерительным инструментом и приспособлениями⁷, а также реализацию иных мероприятий интегрирования в технологический процесс особенностей конструкции различных моделей вагонов. Процесс освоения нового производственного процесса для ремонта двухэтажного подвижного состава систематизирован в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской докумен-

⁷ Распоряжение АО «ФПК» от 2.12.2020 г. № 1072р «Об утверждении Регламента технологической оснащённости при выполнении технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов». – М.: АО «ФПК», 2020. – 63 с.



тации, в соответствии с которой разработанное руководство по проведению депоовского и капитального (КР-1) ремонтов пассажирских двухэтажных вагонов ЛВ1.0058 РК⁸ распространено на проведение ремонта подвижного состава опытного образца. По результатам проведения опытного ремонта и испытаний существующее руководство будет откорректировано с присвоением литеры РО, будут проведены ремонт партии вагонов по откорректированному руководству, приёмочные испытания, и ремонтной документации будет присвоена литера РА, разрешающая осуществлять ремонт вагонам данных моделей на постоянной основе. Благодаря единству форм и правил общих требований в соответствии с требованиями ГОСТ 2.602-2013⁹ формирование типового руководства по ремонту подвижного состава значительно упрощается.

На уровне структурных предприятий разрабатываются собственные технологические процессы с взаимоувязкой как с ремонтной, так и эксплуатационной документацией на соответствующие модели вагонов.

Однако с целью повышения эффективности формирования местных технологических процессов на структурных предприятиях пассажирского комплекса требуется создание нормативного документа, регламентирующего порядок постановки вновь вводимых в эксплуатацию моделей пассажирских вагонов и их составных частей для проведения планово-предупредительного ремонта, а также технической подготовки производства к ремонту и порядок оценки качества отремонтированного вагона с проведением ему приёмочного контроля на соответствие качеству проведённого ремонта и технического обслуживания соответствующих узлов и деталей.

В целях реализации процесса технической подготовки ремонтного предприятия и взаимоувязки руководящих документов в АО «ФПК» разработан Порядок подготовки, согласования и утверждения технологических процессов в структурных подразделениях

филиалов АО «ФПК» и утверждён Распоряжением АО «ФПК» от 26.08.2021 г. № 893р¹⁰, в котором установлены требования по подготовке, согласованию и утверждению технологических процессов.

Данным порядком регламентированы требования по разработке технологических процессов с учётом местных условий, мощностей цехов и участков, нормоконтроля, требований охраны труда, пожарной и промышленной безопасности, а также установлены порядки процедур актуализации, корректировки и периодичности пересмотра технологических процессов и линейных графиков.

Однако данный Порядок не отражает процесса подготовки производства к проведению ремонта пассажирских вагонов нового модельного ряда с учётом их конструктивных особенностей и внедрённых в них новых элементов.

Организация производства для ремонта двухэтажного подвижного состава: перспективные требования

В целях формирования единого подхода к организации подготовки производства для ремонта новых моделей двухэтажного пассажирского подвижного состава требуется обеспечить выполнение следующих основных этапов: это формирование линейного графика, проведение нормоконтроля, оценка и подтверждение количественных характеристик применяемого при ремонте оборудования, определение штата и квалификации исполнителей¹⁰.

По результатам разработки единого технологического процесса для выполнения процедуры технической подготовки производства необходимо включить следующие направления: разработку проекта дооснащения структурного подразделения необходимым оборудованием, приспособлениями и мерительным инструментом; перепрофилирование или освоение ремонта новых узлов и деталей (БСУ, преобразователи и т. д.); обучение и укомплектование персонала; определение, формирование и содержание оборотного запаса запасных частей и материалов¹⁰.

⁸ Руководство по проведению депоовского и капитального (КР-1) ремонтов пассажирских двухэтажных вагонов ЛВ1.0058 РК. – М.: ОАО «РЖД», 2021. – 294 с.

⁹ ГОСТ 2.602-2013. Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200106870>. Доступ 25.02.2023.

¹⁰ Распоряжение АО «ФПК» от 26.08.2021 г. № 893р «Об утверждении Регламента подготовки, согласования, и утверждения технологических процессов в структурных подразделениях филиалов акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». – М.: АО «ФПК», 2021, 33 с.

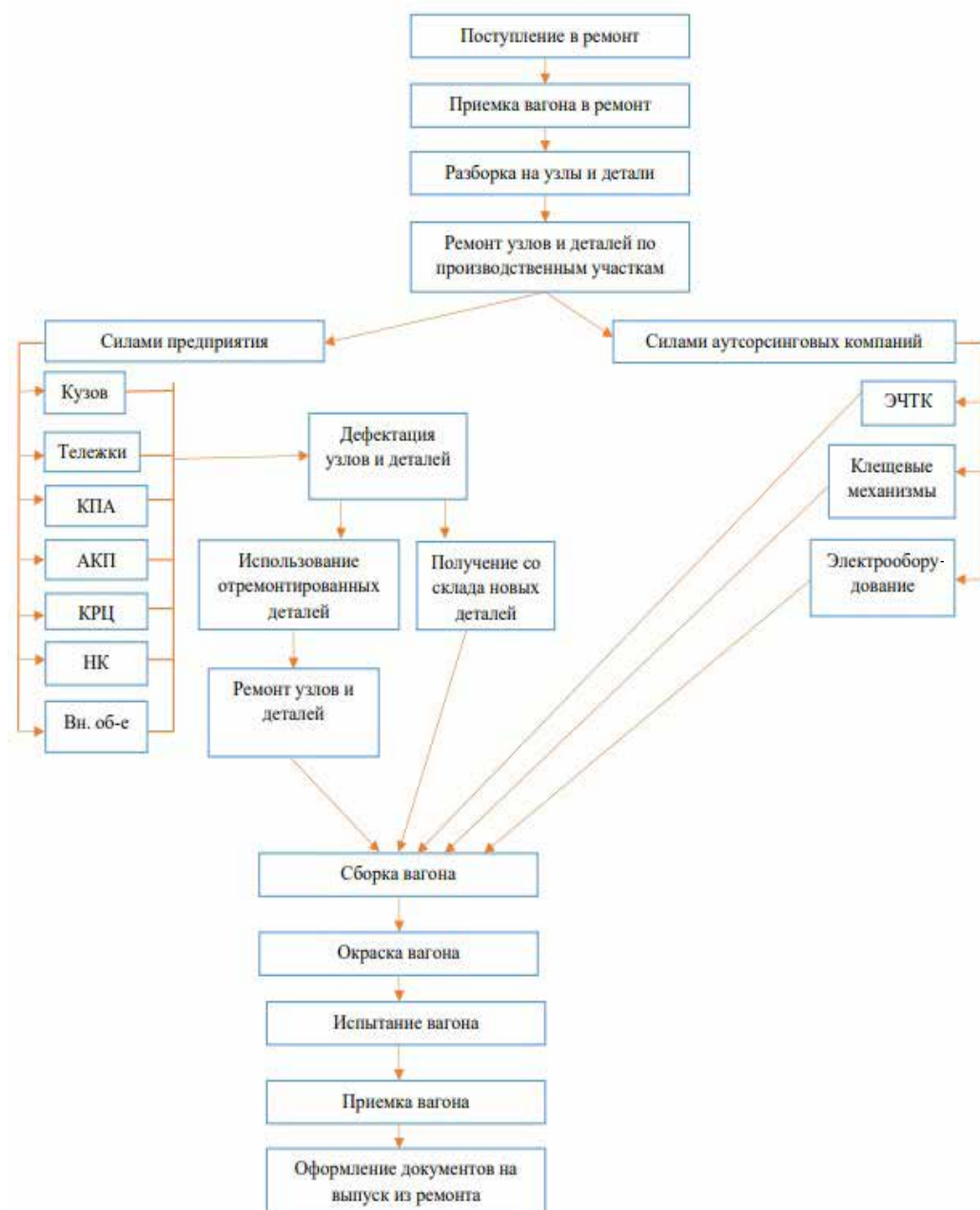


Рис. 1. Пооперационная схема ремонта двухэтажного пассажирского вагона [выполнено автором].

Задачей дооснащения структурного подразделения необходимым оборудованием, приспособлениями и мерительным инструментом является выполнение одного из этапов подготовки производства к обеспечению качественного и своевременного ремонта приобретаемых новых моделей двухэтажного подвижного состава с соблюдением всех требований, заложенных изготовителями как самого подвижного состава, так и его элементов.

Задачами перепрофилирования производства или отдельных производственных участков (цехов) под ремонт вновь вводимых в эксплуатацию моделей двухэтажного подвижного состава являются снижение себестоимости ремонта, оптимизация простоя в ремонте, снижение финансовой нагрузки в части дополнительной закупки деталей для формирования оборотного запаса или пользования услугами по ре-



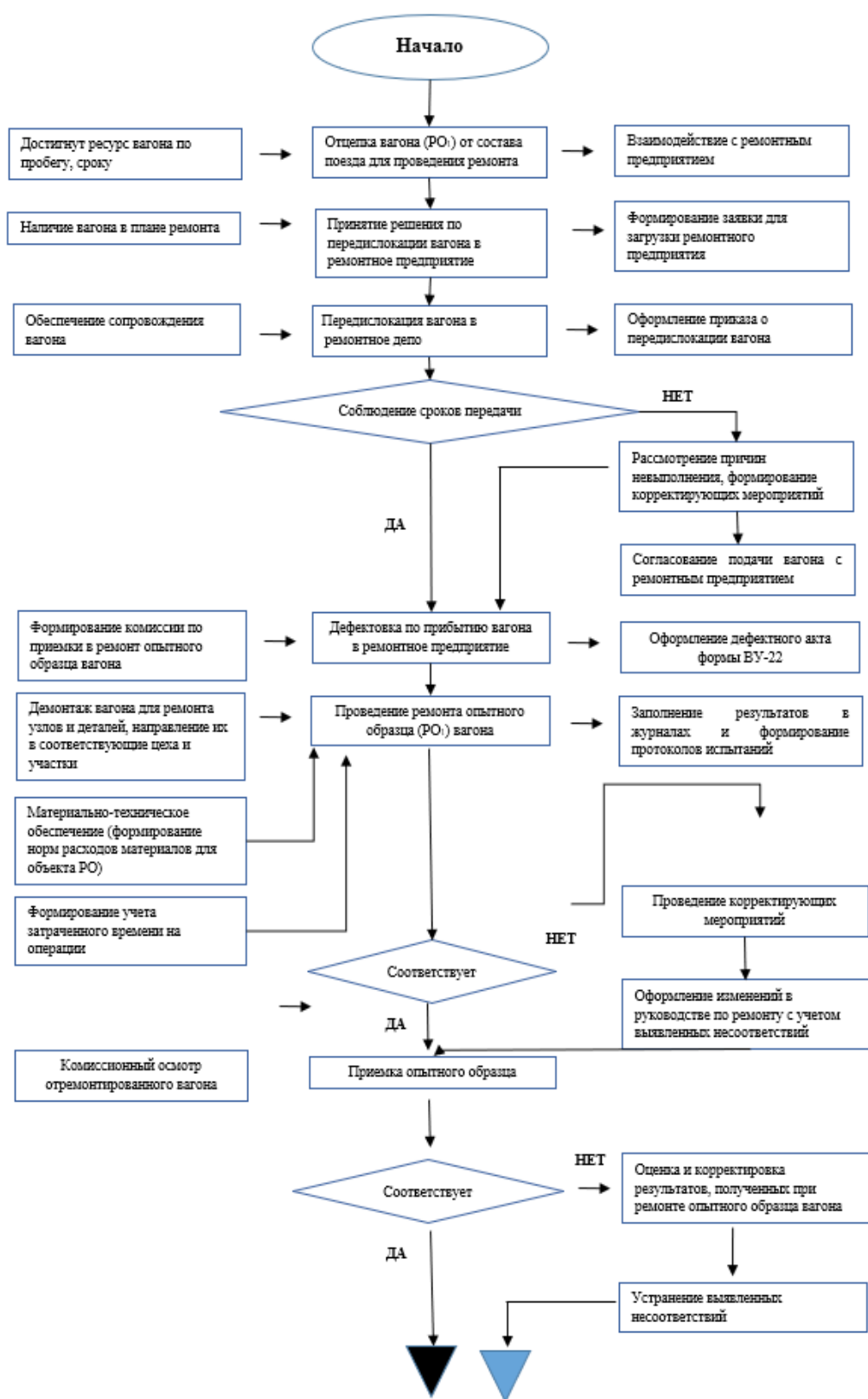


Рис. 2. Процессная модель ремонта двухэтажного пассажирского вагона при постановке на производство [выполнена автором].

оптимальных технологических процессов (как в целом деповского и капитального ремонта (КР-1) ремонта вагона, так и его узлов и деталей), которые обеспечили бы ремонт изделий заданного качества с минимальными временными, производственными и финансовыми издержками.

Основными задачами проведения планово-предупредительного ремонта являются:

- разработка и внедрение технологических процессов (как для цехов и участков, входящих в структурное подразделение, так и для аутсорсинговых компаний);
- обеспечение цехов и участков мерительным инструментом;
- реализация перепрофилирования участков и цехов для освоения ремонта нового оборудования;
- при необходимости – проведение процедуры аттестации или расширения действий перепрофилированных цехов (участков);
- разработка форм и методов организации производственных процессов;
- обеспечение предприятия средствами малой механизации для транспортировки и складирования;
- разработка технологий и средств технического контроля производственных процессов;
- применение средств малой механизации, мерительного инструмента и оборудования в технологическом процессе при ремонте узлов и деталей вагона;
- проведение ремонта опытного образца с последующей комиссионной приёмкой;
- корректировка технологических процессов, их узлов и деталей, пересмотр программы дооснащения предприятия для технической подготовки производства.

Непрерывность перевозочного процесса, востребованность двухэтажного подвижного состава требует от производства осуществлять освоение технического обслуживания и/или планово-предупредительного ремонта в максимально сжатые сроки и с минимизацией потерь при выполнении основных технологических операций и себестоимости. Вместе с тем, для формирования технологических операций по ремонту и восстановлению узлов и деталей (в первую очередь это касается электрического, электронного оборудования, а также систем для обеспечения комфортного проезда пассажиру (экологически чистые туалетные комплексы (ЭЧТК), установки кон-

диционирования воздуха (УКВ) и т. д.)) необходимо оперативное обновление и внесение изменений, дополнений и нововведений в конструкторскую документацию. Как правило, в структурные подразделения данные изменения направляются со значительным опозданием, и организовать проведение ремонта в полном соответствии с требованиями конструкционной или эксплуатационной документации не представляется возможным из-за технической сложности ряда узлов и деталей, требующих дополнительной подготовки производства, персонала или необходимости приобретения стендового оборудования в рамках инвестиционной программы, что является длительной процедурой.

Так, на системной основе вносятся дополнения по систематизации организации ремонта электрических преобразователей, находящихся в подкрышном пространстве вагона, безазорных сцепных устройств.

Сам процессный алгоритм решения задачи освоения производства с проведением инженерингового моделирования процессов ремонта пассажирского двухэтажного вагона представлен на рис. 2.

Данный подход позволяет детально рассмотреть все аспекты, возникающие при постановке на ремонт, и в ходе реализации этапов данной инженеринговой модели возможно рассмотреть любой этап, через который проходит вагон при его постановке на производство, в том числе нормировку материальных ресурсов, трудозатрат, формирование и корректировку нормативно-технологической документации, а также вопросы квалификации и обучения персонала. Именно данная практика является наиболее эффективной и позволяет корректировать процесс с учётом условий существующего производства, оперативно выстраивая оптимальные технологические операции с оформлением необходимых текстовых и графических документов, маршрутных карт, применяемых при ремонте и обслуживании инструмента и приспособлений. Кроме того, одним из ключевых этапов реализации в рамках технической подготовки производства является разработка руководства по серийному ремонту новых моделей двухэтажного подвижного состава, что даёт возможность оценить реальную потребность, в первую очередь, в материальных, временных и кадровых

ресурсах, определить планировку и осуществить при необходимости перепланировку отдельных цехов или участков, а также определить мощность каждого из них. Даже с учётом значительных финансовых вложений в техническую подготовку производства всегда оправданы результаты, и экономический эффект от повышения производительности значительно превышает их удельный вес в общих затратах структурного подразделения.

ВЫВОДЫ

Процессная модель ремонта двухэтажного пассажирского подвижного состава направлена на квалифицированную организацию и проведение технической подготовки производства для проведения планово-предупредительного ремонта вновь введённых в эксплуатацию вагонов. С учётом необходимости обеспечения непрерывного и бесперебойного перевозочного процесса определено, что процесс освоения технического обслуживания и ремонта нового модельного ряда подвижного состава требует реализации в максимально сжатые сроки и с минимальными потерями для выполнения основного технологического процесса работы предприятия.

В частности, подтверждена актуальность вопроса технической подготовки производства для освоения ремонта внедряемого в рамках реформирования пассажирского комплекса дальнего нового модельного ряда подвижного состава.

По результатам рассмотрения структуры организации постановки на производство нового модельного ряда пассажирского подвижного состава сформулированы основные цели и задачи (актуализировать технологические процессы, осуществить перепрофилирование участков и цехов, оснастить производство необходимым оборудованием и т. д.).

По результатам подготовки производства под серийный выпуск подвижного состава сформулированы основные производственные процессы, требующие адаптации (отвлечение подвижного состава в нерабочем парке, номенклатура и норма замены запасных частей, квалификация персонала, трудозатраты).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Терешина Н. П., Чжу Цзялинь, Стеблянская А. Н. Современные концепции повышения качества обслуживания пассажиров на высокоскоростных железных дорогах Китая // Транспортное дело России. – 2021. – № 6. – С. 118–122. DOI: 10.52375/20728689_2021_6_118.
2. Манвелдизе А. Б. Сравнение пассажирских перевозок авиационным и железнодорожным транспортом // Стратегические решения & риск-менеджмент. – 2018. – № 1 (106). – С. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-1-88-101>.
3. Гуц А. В., Дунаев О. Н. Рынок пассажирских перевозок: пути организации мультимодальных перевозок // «Транспорт Российской Федерации». – 2019. – 1 (80). – С. 23–27. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37616738>. Доступ 23.02.2023.
4. Гурлев И. В. Управление безопасностью пассажиров на железнодорожном транспорте // Вестник Евразийской науки – 2020. – Том 12. – № 1. – С. 37. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42809625>. Доступ 23.02.2023.
5. Зарипов Р. Ю., Жекенов А. Б. Совершенствование пассажирских перевозок в поездах дальнего сообщения // Вестник КазАТК. – 2021. – № 1 (116). – С. 154–161. DOI: 10.52167/1609-1817-2021-116-1-153-161.
6. Куликов М. Ю., Шинкарук А. С., Курин П. С. The System for Diagnosing a Passenger Car, as an Element of Information Security and Management of an Operational Resource. Proceedings of the 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), pp. 155–157. DOI: 10.1109/ITQMIS56172.2022.9976760.
7. Копачев С. В. Совершенствование технологической подготовки ремонта подвижного состава // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 3. – С. 68–74. [Электронный ресурс]: http://ntt.rgtups.ru/2012_3.html. Доступ 23.02.2023.
8. Лебедев В. А., Заглядова Н. А. Напряжения в элементах двухэтажного вагона // Мир транспорта. – 2012. – № 6. – С. 48–51. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18268064>. Доступ 23.02.2023.
9. Шадур Л. А., Челноков И. И., Никольский Л. Н., Никольский Е. Н., Проскурнев П. Г., Котуранов В. Н. и др. Вагоны: Конструкция, теория и расчет / Под ред. Л. А. Шадура. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 440 с.
10. Хохлов А. А. Динамика сложных механических систем. – М.: МИИТ, 2002. – 172 с.
11. Суворова Т. А. Двухэтажные железнодорожные пассажирские поезда история возникновения и развития // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 8. – С. 55–64.
12. Dong-ling Cai, Yi-bin Xiao, Changmin Jiang. Competition between high-speed rail and airlines: Considering both passenger and cargo. Transport Policy, 2021, Vol. 110, pp. 379–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.06.015>.
13. Bosso, N., Gugliotta, A., Zampieri, N. Design and Simulation of a Railway Vehicle for the Transport of People with Reduced Mobility. Shock and Vibration, Vol. 2018, Article ID 9207639. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9207639>.
14. Milković, V., Lisjak, D., Kolar, D. New Reliability-Based Model of Stock Optimisation for Railroad Passenger Wagon Maintenance. FME Transactions, 2020, Vol. 48 (4), pp. 914–921. DOI: 10.5937/fme2004914M. ●

Информация об авторе:

Шинкарук Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, главный ревизор по безопасности движения поездов Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания», Москва, Россия, Shinkarukas@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.05.2023, одобрена после рецензирования 13.10.2023, принята к публикации 16.10.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.11

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-7>

Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем с целью повышения безопасности перевозок и дорожного движения при эксплуатации транспорта в горных условиях



Надежда ФИЛИППОВА



Абакар АБАКАРОВ



Аликади АМИРОВ



Шамиль ИГИТОВ

Надежда Анатольевна Филиппова¹, Абакар Адамкадиевич Абакаров²,
Аликади Темирбекович Амиров³, Шамиль Магомедович Игитов⁴

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия.

¹Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия.

^{2, 3, 4}Махачкалинский филиал МАДИ, Махачкала, Россия.

✉ ¹ imen@bk.ru.

✉ ² abakarmadi@list.ru.

АННОТАЦИЯ

В субъектах Российской Федерации разработаны и утверждены стратегии цифровой трансформации. В Республике Дагестан в число основных направлений включён транспорт.

Стратегия в области цифровой трансформации по направлению транспорта предполагает внедрение навигационных систем на общественном транспорте, обеспечение комфортности поездок пассажиров, в том числе удобство оплаты, снижение времени ожидания транспорта.

Исследования показали, что в последние годы увеличилось число ДТП в горных районах Дагестана, возросла их тяжесть. Это обусловлено увеличением на дорожной сети числа автомобилей, в особенности принадлежащих автопутристам, снижением дисциплины водителей, низким уровнем развития телематических систем и цифровой инфраструктуры на горных дорогах.

Ключевые слова: транспорт, Дагестан, цифровая трансформация, горные дороги, телематические системы, цифровая инфраструктура, безопасность движения.

В данной работе авторами предложены организационно-технические и инженерные мероприятия по развитию цифровой инфраструктуры для горных условий Республики Дагестан, которые включают создание Ситуационного центра в Центре организации дорожного движения (ЦОДД) с внедрением автоматизированной системы управления транспортной мобильностью, систем контроля метеорологических и дорожных условий, установкой динамических, информационных табло, корректировкой навигационных карт и расширением функционала голосовых сообщений.

Реализация предложенных мероприятий позволит повысить безопасность перевозок и дорожного движения при перевозках пассажиров в горной местности Дагестана, снизить количество дорожных происшествий.

Для цитирования: Филиппова Н. А., Абакаров А. А., Амиров А. Т., Игитов Ш. М. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем с целью повышения безопасности перевозок и дорожного движения при эксплуатации транспорта в горных условиях // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-7>.

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

Целью стратегии цифровой трансформации является масштабирование конкурентоспособных отечественных решений в различные отрасли российской экономики, социальной сферы и государственного управления.

По поручению Президента Российской Федерации во всех регионах страны были сформированы стратегии цифровой трансформации.

Главой Республики Дагестан в 2021 году утверждена «Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Республики Дагестан»¹ (далее – Стратегия). Первоначально в Стратегию вошли семь отраслей, в том числе, транспорт, 43 проекта, в том числе, один проект – по транспорту и логистике.

Распоряжением Правительства Республики Дагестан от 11 октября 2022 года № 461-р была утверждена новая редакция Стратегии².

По состоянию на 2023 год «в Стратегию цифровой трансформации Республики Дагестан включены 17 отраслей, в которых реализуются 77 проектов. Большая часть мероприятий проводится в рамках базовых отраслей – государственное управление, образование, здравоохранение, строительство и городская среда, дорожное хозяйство, добавились такие актуальные для региона отрасли, как туризм, культура, спорт... Дагестан за год перевыполнил план по наращиванию показателя цифровой зрелости... В 2021 году показатель цифровой зрелости по региону составлял 37 %. А по итогам 2022 года удалось достичь значения 58 % при плановом значении на конец года 46 %»³.

В соответствии со Стратегией вызовами (направлениями) развития отрасли транспорта и логистики обозначены: «1) создание

условий для построения оптимальных маршрутов и информационно-навигационного построения пассажирских поездок; 2) повышение уровня безопасности при осуществлении пассажирских перевозок; 3) обеспечение возможности безналичной оплаты проезда в автобусах, осуществляющих регулярные пассажирские перевозки; 4) создание условий для развития электронных площадок заказа грузовых перевозок, логистических услуг и услуг электронной коммерции; 5) создание системы отслеживания грузоперевозок с использованием электронных навигационных пломб; 6) создание интеллектуальной транспортной системы Махачкалинской агломерации на территории Республики Дагестан; 7) интеграция региональных транспортных систем с ситуационно-информационным центром Министерства транспорта Российской Федерации; 8) цифровизация государственных услуг в области транспортной безопасности; 9) создание условий для внедрения технологии информационного моделирования объектов капитального строительства транспортной инфраструктуры; 10) внедрение технологий искусственного интеллекта в проектирование, строительство, ремонт и содержание объектов транспортной инфраструктуры; 11) применение технологии 3Д-моделирования при создании объектов транспортной инфраструктуры»².

Учитывая сложные условия горных дорог в Республике Дагестан, требуется особое внимание к комплексным мероприятиям, направленным на повышение безопасности дорожного движения.

Целью исследования является анализ сложившихся условий дорожного движения в Республике Дагестан, разработка и предложение организационно-технических и инженерных мероприятий по развитию цифровой инфраструктуры для повышения безопасности дорожного движения для горных условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ «цифровой зрелости» транспортной отрасли Республики Дагестан

Приложением № 19 к постановлению Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2021 г. № 542 утверждена «Методика расчёта показателя «Цифровая зрелость» органов государственной власти субъектов

¹ Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Республики Дагестан. [Электронный ресурс]: https://digital.gov.ru/uploaded/files/respublika-dagestan_JwoZYnH.pdf. Доступ 21.03.2023.

² [Электронный ресурс]: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/respublika-dagestan.pdf>. Доступ 21.03.2023.

³ С 7 до 17 увеличено число отраслей, включённых в Стратегию цифровой трансформации Дагестана // Министерство цифрового развития Республики Дагестан. 23.05.2023. [Электронный ресурс]: <https://dagestan.digital/press/50853>. Доступ 15.05.2023.



Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций в сфере здравоохранения, образования, городского хозяйства и строительства, общественного транспорта, подразумевающая использование ими отечественных информационно-технологических решений»⁴. В соответствии с приложением к ней с учётом внесённых постановлением Правительства РФ от 1 июля 2023 г. № 1094 изменений в состав индикаторов, характеризующих достижение показателя «Цифровая зрелость» в части общественного транспорта входят: «доля автобусов, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном (в пределах субъекта Российской Федерации) сообщении, оснащённых системами безналичной оплаты проезда; доля автобусов, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном (в пределах субъекта Российской Федерации) сообщении, для которых обеспечена в открытом доступе информация об их реальном движении по маршруту; доля автобусов, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном (в пределах субъекта Российской Федерации) сообщении, оснащённых системами видеонаблюдения салонов (с функцией записи), соответствующими требованиями о защите персональных данных»⁵.

При этом в соответствии со Стратегией в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Республики Дагестан доля автобусов, для которых обеспечено размещение в открытом доступе информации об их реальном движении по маршрутам, в 2022 году составляла 5 %, а к 2024 году должна достичь 17 %; оснащённых системами безналичной оплаты проезда – 3 и 15 % соответственно; оснащённых системами видеонаблюдения салонов с функцией записи, соответствующими требованиям о защите

персональных данных – 3 и 10 %². Задачи последовательно реализуются. При общем числе автобусов в Республике Дагестан, оценивавшемся в апреле 2023 года в 3900 ед., по состоянию «на 25 августа 2023 года количество транспортных средств, оснащённых системами безналичной оплаты проезда, достигло 340 единиц. Возможность безналичной оплаты реализована в троллейбусах и автобусах малого класса городов Махачкалы и Кизляра, а также в автобусах малого и среднего класса, осуществляющих перевозки пассажиров по новым межмуниципальным маршрутам «Махачкала – Аэропорт» и «Каспийск – Махачкала – Ленинкент»⁶.

В настоящее время в г. Махачкале создается цифровая платформа управления системой общественного транспорта. В 2021 году в рамках внедрения интеллектуальной транспортной системы в городе созданы 2 модуля и 7 подсистем, центр обработки данных и центр управления дорожным движением (ЦОДД).

Эти системы охватывают несколько модулей управления общественным транспортом. В частности, в Махачкалинской агломерации внедрены модуль координированного управления движением, подсистема светофорного управления, мониторинга параметров транспортного потока и подсистема видеонаблюдения, детектирования ДТП и чрезвычайных ситуаций на дорогах региона.

Кроме того, для мониторинга общественного транспорта разработаны: модуль управления движением, подсистема мониторинга перемещения транспорта, подсистема приоритетного проезда и управления маршрутами, а также «умные остановки» [1–3].

Анализ вопроса показал, что стратегия цифровой трансформации в области транспорта направлена в целом на оптимизацию работы городского общественного транспорта, обеспечение комфортности перевозок пассажиров.

При этом, на взгляд авторов, недостаточное внимание уделено направлению обеспечения безопасности перевозок и дорожного движения на горных маршрутах.

⁴ Постановление Правительства РФ от 3 апреля 2021 г. N 542 «Об утверждении методик расчета показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц субъектов Российской Федерации и деятельности исполнительных органов субъектов Российской Федерации, а также о признании утратившими силу отдельных положений постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2019 г. N 915» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/400584539/>. Доступ 15.05.2023.

⁵ [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/400584539/66ac2cc39f09c332a272af3e76947f0b/>. Доступ 15.07.2023.

⁶ Юсупова А. Безналичную оплату проезда в общественном транспорте введут в крупных городах Дагестана. 26.08.2023. [Электронный ресурс]: https://riadagestan.ru/news/economy/beznalichnuyu_oplatu_proezda_v_obshchestvennom_transporte_vvedut_v_krupnykh_gorodakh_dagestana/. Доступ 26.08.2023.

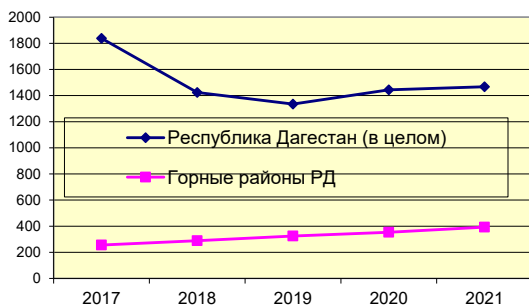


Рис. 1. Динамика изменения количества ДТП в Республике Дагестан и горных районах⁷.



Рис. 2. Автомобиль с шестью туристами упал в овраг [<https://erenlar.ru/news/media/2022/7/3/v-dokuzparinskom-rajone-mashina-s-shestyu-turistami-oprokinulas-v-uschele/>].



Рис. 3. Автомобиль «Datsun» опрокинулся в каньон водопада Тобот [<https://www.stav.kp.ru/daily/27424/4624519/>].

Актуальность проблемы обеспечения дорожной безопасности на горных маршрутах

Актуальность проблемы обусловлена увеличением числа ДТП на горных маршрутах, повышением тяжести ДТП, значительным увеличением количества автотуристов в горной местности.

На диаграмме (рис. 1) видно динамику изменения числа ДТП в Республике в целом и горных районах Дагестана за последние пять лет. Доля ДТП на горных дорогах, а также их абсолютное число заметно возросло⁷.

В Республике Дагестан за первое полугодие 2022 года произошло 655 дорожно-транспортных происшествий, в которых погибли 109 и 910 человек получили травмы различной тяжести. За последние годы сложная ситуация с аварийностью наблюдается не только на автомобильных дорогах федерального значения, но и практически во всех дорогах и горных районах.

Приведём примеры ДТП на горных дорогах Республики Дагестан за последний год.

3 июля 2022 г. автомобиль с шестью туристами, подъезжая к селу Куруш, упал

в овраг. В результате происшествия водитель автомобиля получил серьёзные, а туристы лёгкие и средней тяжести травмы. Автомобилем Ленд Крузер 200 управлял опытный местный водитель, но тем не менее, при движении на подъём из-за погодных условий водитель не справился с управлением⁸ (рис. 2).

22 июля 2022 года на окраине села Хунзах автомобиль «Datsun» опрокинулся с высоты более 90 метров в каньон водопада Тобот. За рулем находился 35-летний житель Оренбургской области, пассажирами были его жена и двое их малолетних детей. Все четверо погибли на месте⁹ (рис. 3).

14 июня 2022 года в селе Митлиуриб Шамильского района Дагестана автомобиль Volkswagen Tiguan сорвался со 100-метрового обрыва. Погибла туристка из Нижнего Новгорода, которая не справилась с управлением. Находящийся с ней в машине

⁷ Показатели состояния безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс]: <http://stat.gibdd.ru/>; <https://rusdtp.ru/stat-dtp/respublika-dagestan/>. Доступ 30.11.2022.

⁸ В Докузпаринском районе машина с шестью туристами опрокинулась в ущелье. [Электронный ресурс]: <http://erenlar.ru/news/media/2022/7/3/v-dokuzparinskom-rajone-mashina-s-shestyu-turistami-oprokinulas-v-uschele/>. Доступ 27.11.2022.

⁹ Семья из Оренбурга разбилась в горах Дагестана. [Электронный ресурс]: <https://rusdtp.ru/semya-iz-orenburga-razbilas-v-gorah-dagestana/>. Доступ 28.11.2022.





Рис. 4. Автомобиль Volkswagen Tiguan сорвался со 100-метрового обрыва.



Рис. 5. Автомобиль «КамАЗ», из-за отказа тормозной системы на спуске, столкнулся с тремя автомобилями.

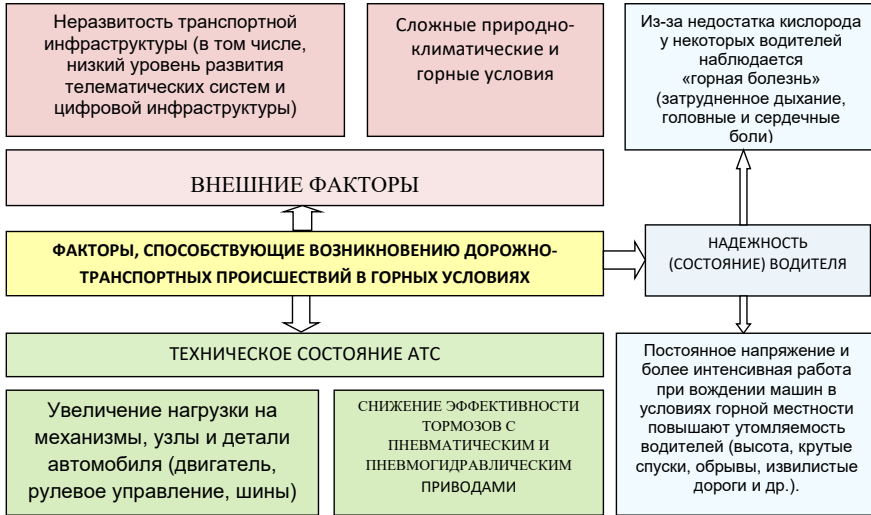


Рис. 6. Факторы, способствующие возникновению дорожно-транспортных происшествий в горных условиях [выполнено авторами].

11-летний ребёнок был госпитализирован¹⁰ (рис. 4).

29 сентября 2022 года водитель автомобиля «КамАЗ», по предварительной информации, из-за отказа тормозной системы на спуске не справился с управлением и столкнулся с пассажирским микроавтобусом, после чего столкнулся с автомобилями «LADA Niva» и «BA3-2109». В результате аварии водитель грузовика и трое пассажиров микроавтобуса погибли на месте происшествия. Еще 10 участников аварии с различными травмами доставлены в медучреждения Махачкалы¹¹ (рис. 5).

¹⁰ Машина с туристами улетела с обрыва в Дагестане. Погибла женщина. [Электронный ресурс]: <https://www.fontanka.ru/2022/06/14/71408972/?ysclid=lnygmvu3lq432147646>. Доступ 28.11.2022.

¹¹ В Дагестане один из пострадавших в ДТП с микроавтобусом остается в тяжелом состоянии. [Электронный ресурс]: <https://tass.ru/proisshествiya/15913905?ysclid=lnyh8c8q8t139153550>. Доступ 28.11.2022.

Особенности обеспечения дорожной безопасности в горных условиях

Доля горных автомобильных дорог в Республике Дагестан составляет 80 % от общей протяженности автомобильных дорог, что составляет около 8 тыс. км.

По уровню расположения над морем и условиям эксплуатации транспорта рельеф Дагестана можно разделить условно на четыре части: равнинный – до 500 м, холмистый – 500–1000 м, горный – 1000–2000 м и высокогорный – более 2000 м над уровнем моря.

На горных дорогах имеется большое количество подъёмов и спусков, опасные повороты с ограниченной видимостью, узкие участки дорог, где встречный проезд затруднен или невозможен.

Боязнь отдельных водителей, в особенности автотуристов, управлять транспортом в горных условиях, разреженный воздух, а также высокие требования к безопасности



Рис. 7. Дороги горной местности.

движения требуют от водителей хорошего состояния здоровья и наличия опыта вождения.

Рассмотрим факторы способствующие возникновению дорожно-транспортных происшествий в горных условиях (рис. 6).

В горах Дагестана в настоящее время имеются дороги, на которых встречный разъезд затруднен или невозможен из-за того, что имеется всего одна полоса для движения транспорта. На таких дорогах одному из водителей придётся двигаться задним ходом до места уширения проезжей части, что является опасным манёвром не только для туристов, но и местных водителей. Такие участки дорог встречаются, например, в Чародинском, Лакском, Агульском, Хунзахском, Рутульском и других районах Республики. Такой же участок дороги с одной полосой движения имеется на участке «Главрыба» – «Лодочная станция» протяженностью 12 км, где наблюдается большой поток туристов в течение всего года. На участке имеются пропасти глубиной более 100 м (рис. 7).

Перечисленные факторы способствуют возникновению дорожно-транспортных происшествий, при этом значительно возрастает тяжесть последствий ДТП.

Цифровая инфраструктура и телематические системы для обеспечения безопасности на горных дорогах

Проблемы обеспечения безопасности на горных участках дорог можно решить применением цифровой инфраструктуры и телематических систем на транспорте, осуществляющем горные перевозки [4–6].

Направления внедрения телематических систем на городском пассажирском транспорте и развития цифровой инфраструктуры на транспорте широко изучены и отражены в трудах д. т. н., профессора ФГБОУ ВО МАДИ Власова В. М.¹²

Вопросы применения цифровой инфраструктуры в логистике и развитие современных автоматизированных систем управления на транспорте рассмотрены в научных работах одного из соавторов данной статьи д. т. н., профессора Филипповой Н. А., в том числе – проблемы, касающиеся разработки ТЛЦ (транспортно-логистического центра), централизации системы планирования мультимодальных перевозок грузов для обеспечения безопасности, надёжности и управления транспортными процессами [7–9].

Автоматизированную систему управления транспортной мобильностью в горной местности и сложных климатических условиях, предложенную соавтором, проф. Филипповой Н. А. для условий Таджикистана, можно рекомендовать к внедрению при организации пассажирских перевозок в горных условиях Дагестана (рис. 8).

В данном случае телематической платформой может являться Ситуационный центр (отдел мониторинга) в Центре организации дорожного движения (ЦОДД) Республики Дагестан, который планируется запустить в 2023 году.

Мониторинг транспортных средств включает: отображение местоположения транспортных средств в любой момент времени с груп-

¹² Власов В. М., Ефименко Д. Б., Богумил В. Н. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: Учебник. – М.: ИНФРА, М, 2018. – 352 с. ISBN: 978–5–16–013194–8.





Рис. 8. Автоматизированная система управления транспортной мобильностью в горной местности Республики Дагестан [автор Филиппова Н. А.].

пировкой по разным признакам (парк, тип транспорта, на задании/вне задания, спецобъекты), переговоры с водителями, полная информация о транспортном средстве в режиме реального времени, погода в режиме реального времени с прогнозом на текущие сутки в любой точке страны (включая скорость и направление ветра, возможные осадки и влажность воздуха)¹³, контроль оперативных заданий с раскраской геозон в зависимости от их посещения в режиме реального времени [10; 11].

На основе исследований одного из соавторов, проф. Филипповой Н.А., и проведённого соавторами совместного анализа для горных условий Дагестана предложены мероприятия по минимизации рисков при организации и управлении пассажирскими перевозками. Они включают как внешние факторы (климатические и горные условия, уровень развития транспортной инфраструктуры, социальные факторы), так и внутренние (снижение времени перевозок, обеспечение технического состояния транспортных средств в процессе перевозки, обеспечение надёжности персонала, участвующего в организации и осуществлении перевозок) [12; 13].

В настоящее время для обеспечения безопасности перевозок и дорожного движения в горной местности Дагестана дорожными службами и ГИБДД Республики Дагестан проводятся определённые мероприятия и организационно-технические работы, которые

включают не только стандартные и типовые работы служб по установке дорожных знаков и нанесению разметки, но также и «цифровизацию» транспорта¹⁴. К ним относятся:

1. Установка дорожных предупреждающих, запрещающих и информационных знаков, в первую очередь, на опасных участках.
2. Установка ограждений со световозвращателями различного типа (катафотами), а также защитных барьеров.
3. Оборудование освещения на опасных участках дорог (работы рассчитаны на перспективу).
4. Установка световозвращателей «кошачий глаз» на проезжей части (работы запланированы на перспективу).
5. Установка «умных пешеходных переходов» (установлены пока в 5 местах в Республике Дагестан, в том числе – 3 в горных районах).
6. Установка двух КПДКМ (комплексные посты дорожного контроля метеоданных). Установлены пока на 2 участках: 1) г. Махачкала – г. Буйнакск – с. Левашы – с. Верхний Гуниб, 2) г. Буйнакск – с. Гимры – с. Чирката.

Автоматическая метеостанция предназначена для фиксации основных метеорологических параметров (ООО «Инфометеос»): температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра, осадков (различаются снег, дождь, град, ле-

¹³ Вартаков Ф. В., Веремеенко Е. Г. Информационные технологии по обеспечению грузовых перевозок // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1. [Электронный ресурс]: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_106_veremeenko-vartanov.pdf_3beda71350.pdf. Доступ 30.03.2023.

¹⁴ Реформирование и цифровизацию общественного транспорта Махачкалы обсудили в Правительстве Дагестана. [Электронный ресурс]: https://riadagestan.ru/news/the_government_of_the/reformirovanie_i_tsifrovizatsiyu_obshchestvennogo_transporta_makhachkaly_obsudili_v_pravitelstve_dagestana/?ysclid=lnyhvv8et635567491. Доступ 28.11.2022.



Рис. 9. Датчик фиксации основных метеорологических параметров.



Рис. 10. Датчик состояния поверхности дорожного полотна.



Рис. 11. Информационное табло [ГКУ РД «ЦОДД», Минтранс Республики Дагестан].

дной дождь, морось, дождь со снегом), содержания CO_2 (рис. 9).

КПДКМ может также обеспечивать: мониторинг состояния дорожного покрытия и его параметров, анализ транспортных потоков, определение типа транспортного средства, характеристик транспортных потоков по полосам, видеорегистрацию дорожных происшествий и сохранение видеофрагмента для экспертизы. Датчики измерения состояния поверхности дорожного покрытия, входящие в КПДКМ, предназначены для проведения дистанционных измерений температуры поверхности дорожного покрытия (полотна), определения толщины слоя воды, льда и снега на дорожной поверхности (рис. 10).

Информация от комплексных постов контроля метеоданных обрабатывается при помощи программного обеспечения, а затем передаётся в центр сбора данных в режиме реального времени. Данная информация используется для различных целей, в частности, публикации в сети Интернет, анализа обста-

новки на текущий момент, разработки прогнозов и т. д.¹⁵

7. Установка информационных табло (пока установлены 2 шт., см. рис. 11). Стоимость одного П-образного табло составляет примерно 11,5 млн руб.

8. Установка камер фото-видеофиксации нарушений (в части превышения скорости и пересечения сплошной линии). В настоящее время установлены 77 камер по всей Республике.

Министерством транспорта Дагестана проведены подготовительные работы по подключению 20 комплексов автоматической фото-видеофиксации правонарушений в области дорожного движения к программному обеспечению «Паутина».

9. Создание Ситуационного центра (отдел мониторинга) в Центре организации дорож-

¹⁵ «Использование систем видеонаблюдения на транспорте». [Электронный ресурс]: <https://radioterminal.ru/resheniya/videonablyudenie-na-transporte/ispolzovanie-sistem-videonablyudeniya-na-transporte>. Доступ 30.03.2023.



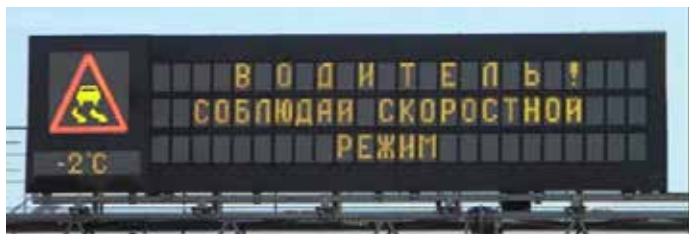


Рис. 12. Световое табло переменной информации.

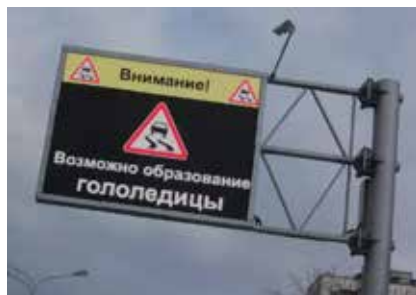


Рис. 13, 14. Динамические информационные табло.

ного движения (ЦОДД) Республики Дагестан. Запланирована установка 50 камер видеонаблюдения по Республике Дагестан, фиксирующих состояние дороги, погоду, информацию о загрузке дорог и т. д. (видеоаналитика).

В результате исследования и анализа данной проблемы авторами работы предложены следующие организационно-технические и инженерные мероприятия на основе телематических систем, включающие цифровую инфраструктуру, направленные на повышение безопасности перевозок и дорожного движения в горных условиях¹⁶:

1) Открытие Ситуационного центра (с системой мониторинга движения) в Центре организации дорожного движения РД.

2) Внедрение автоматизированной системы управления транспортной мобильностью в горных условиях на базе Ситуационного центра.

Целесообразно расширение применения дорожных информационных табло, связанных с Ситуационным центром, а также автоматических управляемых дорожных предупреждающих, запрещающих и информационных знаков на опасных участках дорог: в местах возможного падения камней, сильных ветров, тумана, пропасти, крутого подъема или спуска, ограниченной видимости, а также для регулирования встречного разъезда автомобилей на однополосной дороге в горной местности.

Управление знаками должно осуществляться через Ситуационный центр.

Световые табло переменной информации (динамические информационные табло) информируют водителей о расположении объектов поездки (населенных пунктов, туристических баз и т. п.), погоде, состоянии дороги, лавинах, оползнях, дорожных авариях и пробках, о ближайших мотелях и магазинах, дают рекламную информацию, а также предупреждают водителей о недопустимости нарушений ПДД и опасностях при движении на горных дорогах (рис. 12).

Установка дополнительных КПДКМ (комплексные посты дорожного контроля метеоданных) в горных районах, подключение их к Ситуационному центру для онлайн-передачи информации водителям о дорожной ситуации на маршруте проиллюстрирована на рис. 13, 14.

Корректировка спутниковой онлайн-навигационной карты для водителей автомобилей. К ней можно отнести, например, применение голосовых сообщений – «Через 100 м обрыв, будьте внимательны», «Через 100 м пропасть», «Через 100 м опасный поворот направо», «На участке возможно падение камней, будьте осторожны», «Через 100 м начинается узкая дорога на 1 полосу, будьте внимательны», «Через 100 м начало крутого подъема», «Через 100 м начало крутого спуска» и т. д. Голосовые сообщения онлайн-навигации и динамические табло также должны информировать водителей о правиль-

¹⁶ В Дагестане выработают стратегию цифровизации. [Электронный ресурс]: <https://mkala.mk.ru/politics/2022/10/19/v-dagestane-vyrabotayut-strategiyu-cifrovizacii-transportnoy-otrasli.html>. Доступ 29.11.2022.

ном выборе скорости или передачи на крутых спусках, подъемах и опасных участках дорог. В частности, сообщение «Впереди крутой спуск, рекомендуется движение на 1 передаче. Не заглушать двигатель!», «Впереди крутой подъём, рекомендуется движение на 1 передаче».

Оборудование дорожных ограждений световозвращателями (катафотами) различного типа, в том числе светодиодными, установка световозвращателей на проезжей части «кошачий глаз» в случаях отсутствия искусственного освещения, в условиях недостаточной освещенности, в темное время суток и в условиях тумана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация перечисленных организационных, технических и инженерных мероприятий позволит повысить безопасность перевозок пассажиров на горных дорогах Дагестана, предупредить возникновение ДТП и снизить их количество, уменьшить их тяжесть, обеспечить эффективное функционирование навигационных систем и автоматизированной системы управления транспортной мобильностью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Власов В. М., Байтулаев А. М., Богумил В. Н. Цифровая инфраструктура и телематические системы контроля работ по содержанию автомобильных дорог. – М.: ООО «НИЦ ИНФРА-М», 2021. – 229 с. ISBN: 978-5-16-015013-0. DOI: 10.12737/1014643.
2. Воличенко О. В., Байчубекова Б. Т. Принципы создания среды «умного города» // Вестник КРСУ. – 2019. – Том 19. – № 12. – С. 119–126. EDN: BAESBA.
3. Карчагин Е. В. Умные города и проблема справедливости // Социология города. – 2019. – № 2. – С. 14–22. EDN: KSPJUB.
4. Сайидкамолов И. Р., Куликов А. А. Совершенствование организации перевозок пассажиров на городских маршрутах, обслуживаемых МУП ВПАТП № 7, за счёт повышения эффективности формирования маршрутной

сети // XXV Региональная конференция (24–27 ноября 2020 г.): сб. материалов конф. – Волгоград, ВолгГТУ, 2021. – С. 76–78. EDN: YMYFTE.

5. Сайидкамолов И. Р., Куликов А. А. Формирование трансформированной городской маршрутной сети общественного пассажирского транспорта г. Волгограда с учетом новых школьных маршрутов пятого лица и первой гимназии // XXVI Региональная конференция (16–28 ноября 2021 г.): сб. материалов конф. – Волгоград, ВолгГТУ, 2022. – С. 54–56. EDN: WZMGYD.

6. Тараненко И. С., Батырова Д. Е. Применение современных информационных технологий в методике обеспечения снижения детского травматизма в умном мегаполисе // XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области. – Волгоград, ВолгГТУ, 2020. – С. 127–129. EDN: OKJOZH.

7. Филиппова Н. А., Беляев В. М., Власов В. М. Навигационный контроль доставки грузов в условиях Севера России // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4(83). – С. 218–231. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-4-218-231.

8. Филиппова Н. А., Безъязычная Т. А. Методы и средства управления информационными потоками в транспортных системах различной сложности // Автоматизация и управление в технических системах. – 2016. – № 4 (21). – С. 4. EDN: YVNDOR.

9. Филиппова Н. А. Перспективы развития современных автоматизированных систем управления транспортной мобильностью в горной местности и сложных климатических условиях. // Международная конференция «Логистика и её преимущества в развитии транспортных сообщений Таджикистана со странами региона», 18–19 октября 2022 г.

10. Филиппова Н. А., Власов В. М. Иерархические уровни управления мультимодальной транспортной системой для перевозки грузов северного завоза // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 4 (59). – С. 99–102. EDN: QYGDNN.

11. Филиппова Н. А., Шутовская Г. А. Анализ мероприятий по снижению воздействия автотранспорта на окружающую среду // Молодежь в науке: новые аргументы / Сб. научных работ VI Международного молодежного конкурса. – 2017. – С. 172–175. EDN: ZBPFZX.

12. Filippova, N. A., Procdilo, S. B. Analysis of Measures to improve the competitiveness of Russian road haulers in international traffic. Norwegian Journal of development of the International Science, 2017, Vol. 1, Iss. 4, pp. 74–76. [Электронный ресурс]: <https://www.calameo.com/read/005798408b5a756030dc5>. Доступ 17.05.2023.

13. Филиппова Н. А., Сулакова Т. И., Безъязычная Т. А. Анализ современного состояния транспортной инфраструктуры // Автоматизация и управление в технических системах. – 2017. – № 2 (23). – С. 8. EDN: YVNEEY. ●

Информация об авторах:

Филиппова Надежда Анатольевна – доктор технических наук, профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, Москва; профессор Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия, iten@bk.ru.

Абакаров Абакар Адамкадиевич – кандидат технических наук, доцент Махачкалинского филиала МАДИ, Махачкала, Республика Дагестан, abakarmadi@list.ru.

Амиров Алиади Темирбекович – кандидат технических наук, доцент Махачкалинского филиала МАДИ, Махачкала, Республика Дагестан, alikadi77@yandex.ru.

Игитов Шамиль Магомедович – кандидат технических наук, доцент Махачкалинского филиала МАДИ, Махачкала, Республика Дагестан, shamiligitov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023, дополнена 28.08.2023, одобрена после рецензирования 14.09.2023, принята к публикации 02.10.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 34:355.27(470):656:368.025

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-8>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 72–78

Правовое регулирование военно-транспортной обязанности в Российской Федерации

**Иван Владимирович Холиков***Институт законодательства и сравнительного правоведения
при Правительстве РФ, Москва, Россия.*✉ iv_kholik@mail.ru.

Иван ХОЛИКОВ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются сущность, характеристика нормативного правового регулирования и проблемные аспекты реализации военно-транспортной обязанности в Российской Федерации. Автором отмечается, что в сложных современных условиях исполнение гражданами и организациями своих конституционных обязанностей по обеспечению обороны страны и безопасности государства является важным направлением сохранения суверенитета и территориальной целостности России. Освещены социальные, исторические и правовые корни военно-транспортной обязанности. Исследовано, что в России установлены необходимые нормативно-правовые предписания актов федерального уровня, характеризующиеся полнотой, доступностью для ознакомления и общей проработанностью регулируемых

вопросов. Военно-транспортная обязанность в нашей стране установлена в целях обеспечения государственных вооруженных формирований в период мобилизации и в военное время транспортными средствами. В работе обосновано, что военно-транспортная обязанность представляется важной структурно-функциональной конструкцией в материально-техническом и нормативно-правовом обеспечении обороноспособности страны и безопасности государства. Автором сформулированы конкретные предложения по совершенствованию действующего государственно-правового регулирования рассматриваемого вопроса в целях повышения уровня мобилизационной готовности транспортных средств и более качественного выполнения военно-транспортной обязанности.

Ключевые слова: транспорт, военно-транспортная обязанность, мобилизационная подготовка, мобилизация, транспортные средства, законодательство, компенсации затрат.

Для цитирования: Холиков И. В. Правовое регулирование военно-транспортной обязанности в Российской Федерации // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-8>.

**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

В современных условиях трансформации мирового правопорядка актуализируются военные проблемы международного права [1], призванные регулировать широкий круг различных правоотношений, возникающих в связи с необходимостью противодействия новым многовекторным угрозам международной безопасности, в целом, и национальной безопасности России, в частности [2]. Международное право и международное гуманитарное право с некоторых пор переживают кризисные тенденции. Многочисленные практические свидетельства этому, а также реальное углубление противоречий между странами мы вынуждены наблюдать повсеместно, что отмечается и в научной литературе [3–6].

Военная безопасность и военная организация государства тесно переплетаются с некоторыми институтами и разделами военного права, включая комплектование военной организации, военную службу, юридическую ответственность, социально-правовые институты, материально-техническое обеспечение и т. п. [7].

Одной из важнейших составляющих мобилизационной подготовки и мобилизации в России является военно-транспортная обязанность, сущность которой заключается в проведении комплекса мероприятий по учёту, подготовке, резервированию и предоставлению транспортных средств Вооруженным Силам и иным войскам и постоянное обеспечение их работоспособности и содержания. С учётом сохраняющихся военных угроз Российской Федерации данные вопросы объективно актуализируются, заставляя обращать на себя более пристальное внимание, как государства, так и исследователей [8–14].

В этой связи представляется логичной конструктивная критика в рецензии на фундаментальную трехтомную монографию «Военное право» под редакцией члена-корреспондента РАН Савенкова А. Н. [4–5], опубликованной в текущем году. Так, рецензентами отмечено, что наиболее острыми представляются проблемы учёта, подготовки к передаче, собственно передача техники как юридических, так и физических лиц, её дальнейшее использование и возвращение, а также выплаты компенсации в случае её повреждения или уничтожения [15].

Будучи одним из соавторов указанной монографии и полностью соглашаясь с ре-

цензентами, в данной статье автор попытался компенсировать указанный недостаток. Таким образом, *целью* данной статьи является углублённое исследование сущности, характеристик нормативного правового регулирования и проблемных аспектов реализации военно-транспортной обязанности в Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нормативно-правовая характеристика военно-транспортной обязанности

В Российской Федерации установлены необходимые нормативно-правовые предписания актов федерального уровня, характеризующиеся полнотой, доступностью для ознакомления и общей проработанностью регулируемых вопросов. Военно-транспортная обязанность в нашей стране установлена в целях обеспечения государственных вооруженных формирований в период мобилизации и в военное время транспортными средствами. В целях реализации военно-транспортной обязанности под транспортными средствами необходимо понимать железнодорожный, водный, воздушный, трубопроводный, автомобильный, гужевой и вычный транспорт, мотоциклы, промысловые и специальные суда, тракторы, дорожно-строительные, подъемно-транспортные и другие машины и механизмы.

Правовой основой военно-транспортной обязанности служат Федеральные конституционные законы «О военном положении» и «О чрезвычайном положении», Федеральные законы «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации», «Об обороне», «О противодействии терроризму» и Указ Президента России от 2 октября 1998 г. № 1175 «Об утверждении Положения о военно-транспортной обязанности», которое устанавливает, что военно-транспортная обязанность распространяется на: федеральные органы исполнительной власти; органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления; организации независимо от формы собственности, являющиеся собственниками транспортных средств; граждан – владельцев транспортных средств.

Историко-правовой аспект военно-транспортной обязанности

Необходимо отметить, что военно-транспортная обязанность не является чем-то новым для российского законодательства. Она пришла в него с некоторыми изменениями из



советского законодательства, в котором впервые была установлена Постановлением ЦИК и СНК СССР от 11 января 1924 г. «О военно-конской и военно-повозочной повинности» и Постановлением ЦИК и СНК СССР от 22.02.1924 г. «О военной авто-транспортной повинности». Данные законодательные акты Указом Президиума ВС СССР от 15 мая 1970 г. № 5118-УП, введяшим Положение «О военно-транспортной обязанности», признавались утратившими силу с 1 июня 1970 г.

Военно-транспортная обязанность в соответствии с данным положением предусматривалась не только во время войны и при мобилизации, но и в мирное время, «при переводе войск на положение определенных степеней боевой готовности или при иной чрезвычайной обстановке». Она распространялась на владельцев средств железнодорожного, морского, речного, воздушного, трубопроводного транспорта, на владельцев промысловых и специальных судов, тракторов, дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин и механизмов, а также на порты, пристани, аэропорты, аэродромы, нефтебазы, перевалочные базы горючего, ремонтно-транспортные предприятия и иные организации, обеспечивающие работу средств транспорта.

Транспортные средства привлекались временно или изымались у их владельцев и передавались в вооруженные силы СССР министерствами, ведомствами, а также предприятиями, учреждениями, организациями безвозмездно. За транспортные средства, принадлежащие колхозам и отдельным гражданам, предполагалась выплата их стоимости в порядке, определяемом Советом Министров СССР.

Проверка технического состояния автомобильного транспорта, предназначенного для передачи в вооруженные силы СССР, проводилась органами Государственной автомобильной инспекции Министерства внутренних дел СССР с участием органов Министерства обороны СССР [16].

Содержание военно-транспортной обязанности

В настоящее время федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления и организации исполняют военно-транспортную обязанность в мирное время путем проведения мероприятий, связанных с учетом транспортных средств, а также путем заблаговременной подготовки транспортных средств, предостав-

ляемых войскам, формированиям и органам, и обеспечения работы этих транспортных средств в соответствии с мобилизационными заданиями. В период мобилизации и в военное время она реализуется путем предоставления войскам, формированиям и органам транспортных средств и обеспечения их работы в соответствии с мобилизационными заданиями.

В этих целях мобилизационные задания устанавливаются: Правительством Российской Федерации для федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации; главами органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации для органов местного самоуправления, которые обеспечивают их исполнение организациями, находящимися на их территориях. Кроме того, подобные задания устанавливаются для организаций в порядке, определяемом нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Перечень транспортных средств, предоставляемых войскам, формированиям и органам, установлен приказом Минобороны России от 14 марта 2014 г. № 151 «Об утверждении Перечня транспортных средств, предоставляемых Вооруженным Силам Российской Федерации, другим войскам, воинским формированиям и органам, а также создаваемым на военное время специальным формированиям, и Порядка учета транспортных средств, предоставляемых Вооруженным Силам Российской Федерации, другим войскам, воинским формированиям и органам, а также создаваемым на военное время специальным формированиям»¹ и приказом Минобороны России от 21 января 2014 г. № 15 «Об утверждении перечней водного транспорта, специальных судов и судов рыбопромыслового флота, предоставляемых войскам, воинским формированиям и органам, и Порядка учета в Вооруженных Силах Российской Федерации водного транспорта, специальных судов и судов рыбопромыслового флота» (с изменениями и дополнениями).²

Приказом Минобороны России от 10 июня 2021 г. № 342 в Перечень транспортных средств, предоставляемых Вооруженным Силам Российской Федерации, другим войскам, воинским формированиям и органам, а также создаваемым на военное время специальным формированиям (приложение № 1) и Порядок учета транспортных средств, предоставляемых Вооруженным Силам Российской Федерации,

¹ [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70606938/>.

² [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/70706938/>.

другим войскам, воинским формированиям и органам, а также создаваемым на военное время специальным формированиям (приложение № 2) к приказу Минобороны России от 14 марта 2014 г. № 151 был внесён ряд изменений³.

Федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления и организации осуществляют подготовку и обеспечение работы транспортных средств, предоставляемых войскам, формированиям и органам. Минобороны России по согласованию с Минэкономразвития России и Минфином России определяет перечень мероприятий и обязательных требований, а также формы документов, определяющих мобилизационную готовность и обеспечение работы транспортных средств, предоставляемых войскам, формированиям и органам.

Отбор транспортных средств организаций для обеспечения мобилизационной готовности должен проводиться совместно с представителями войск, формирований и органов, в которые они должны поставляться. В этих целях транспортные средства должны содержаться в состоянии готовности к предоставлению войскам, формированиям и органам. Организации обязаны производить подготовительные мероприятия для установки на предоставляемые транспортные средства специального оборудования, а также проверки наличия и технического состояния транспортных средств в соответствии с требованиями действующих инструкций и правил. Для поддержания в исправном состоянии транспортных средств осуществляется накопление, хранение и обновление запасов материальных ценностей мобилизационного резерва и другого имущества в соответствии с мобилизационными заданиями.

В необходимых ситуациях организации должны обеспечить представление войскам, формированиям и органам информации о наличии и техническом состоянии транспортных средств. Для проведения проверок мобилизационной готовности транспортных средств организации обязаны обеспечивать доступ представителей федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, военных комиссариатов, органов военного управления и войск, формирований и органов. Порядок, пункты передачи и сроки предоставления транспортных средств войскам,

формированиям и органам устанавливаются Министерством обороны Российской Федерации, соответствующая информация доводится до организаций в мирное время.

Организации предоставляют транспортные средства войскам, формированиям и органам в установленные сроки в пунктах передачи с соответствующей документацией, в технически исправном состоянии. Доставка транспортных средств в пункты передачи, проведение подготовительных мероприятий для установки на них специального оборудования, переоборудование или дооборудование транспортных средств производятся силами и средствами организаций.

В мирное время войска, формирования и органы имеют право привлекать предназначенные для предоставления им транспортные средства (за исключением транспортных средств, находящихся в собственности граждан). Это происходит в случае проведения учений и тренировок по мобилизационному развертыванию и выполнению мобилизационных заданий, а также в ходе опытных мероприятий по переоборудованию и (или) дооборудованию транспортных средств, соответствующих испытаний специального оборудования, устанавливаемого на них, и проверок готовности транспортных средств к предоставлению войскам, формированиям и органам. Количество транспортных средств, привлекаемых в указанных случаях войсками, формированиями и органами, и сроки их привлечения определяются Правительством Российской Федерации.

Военно-транспортная обязанность исполняется гражданами в военное время путем предоставления войскам, формированиям и органам тех транспортных средств, которые в них применяются. При этом гражданам выдаются документы, подтверждающие предоставление ими транспортных средств.

Перечни транспортных средств, подлежащих предоставлению войскам, формированиям и органам гражданами, устанавливаются Министерством обороны Российской Федерации. Порядок учета транспортных средств граждан определяется Министерством обороны Российской Федерации по согласованию с органами, осуществляющими государственную регистрацию транспортных средств. В этих целях, согласно Постановлению Правительства РФ от 12 августа 1994 г. № 938 «О государственной регистрации автотранспортных средств и других видов самоходной техники на территории Российской Федерации», издан совместный Приказ МВД РФ и Минобороны РФ от 21 сентября 2009 г. № 724/881 «О порядке взаимодействия подраз-

³ [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/402833506/>.



делений Государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации и военных комиссариатов при предоставлении сведений о транспортных средствах, зарегистрированных за гражданами Российской Федерации и подлежащих учету в военных комиссариатах»⁴.

Ещё недавно регистрация, изменение регистрационных данных, связанное с изменением типа (назначения) транспортных средств или сведений о собственнике, снятие с регистрационного учета автомобилей, автомобильных прицепов и полуприцепов к ним, автобусов, автомобильных кранов, мотоциклов тяжелого класса с коляской, принадлежащих юридическим лицам, а также указанные действия в отношении легковых автомобилей повышенной проходимости (полноприводных) отечественного производства, грузовых автомобилей и специальных автомобилей на шасси грузовых автомобилей, прицепов и полуприцепов к ним, автомобильных кранов, автобусов и мотоциклов тяжелого класса с коляской, принадлежащих физическим лицам, производились после соответствующей отметки военного комиссариата, но в настоящее время это производится без участия владельцев автотранспорта.

Военно-транспортная обязанность не распространяется на дипломатические представительства и консульские учреждения иностранных государств, иностранные и международные организации, иностранных граждан и лиц без гражданства.

Проверка технического состояния транспортных средств, предоставляемых войскам, формированиям и органам, проводится подразделениями Государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации и другими органами государственного надзора и контроля за техническим состоянием транспортных средств в Российской Федерации с участием представителей войск, формирований и органов.

Финансирование исполнения военно-транспортной обязанности

Финансирование и стимулирование исполнения военно-транспортной обязанности осуществляются в соответствии с федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Возмещение государством убытков, понесенных организациями и гражданами в связи с предоставлением войскам, формированиям и органам транспорт-

ных средств и другого имущества, находящихся в их собственности, осуществляется в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации. Гражданину и частному предприятию компенсация выплачивается от балансовой (остаточной) стоимости транспорта. Государственное предприятие предоставляет транспорт за счет своих фондов.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 4 апреля 2003 г. № 195 утверждены «Правила предоставления субсидий организациям транспорта, осуществляющим приобретение автомобильной техники для пополнения подвижного состава автомобильных колонн войскового типа, в рамках подпрограммы «Дорожное хозяйство» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы».

Субсидии предоставляются Федеральным дорожным агентством за счет средств федерального бюджета, предусмотренных ему на цели, указанные в данных Правилах, по подразделу «Транспорт» раздела «Национальная экономика» классификации расходов бюджетов, на каждую единицу автомобильной техники российского производства и на каждую единицу автомобильной техники, выпущенную в других государствах Таможенного союза, с годом выпуска не ранее 3 лет до даты представления заявки на получение субсидии, в размере 190 тыс. рублей для автобусов длиной до 7,5 метра включительно и 475 тыс. рублей для автобусов длиной свыше 7,5 метра, а также грузовых автомобилей грузоподъемностью не менее 8 тонн при условии ее приобретения и зачисления в установленном порядке в штат автомобильной колонны войскового типа и отсутствия у организации просроченной задолженности по платежам в федеральный бюджет и государственные внебюджетные фонды.

Кроме того, имеются особенности реализации военно-транспортной обязанности на отдельных видах транспорта. В частности, в соответствии с Федеральным законом от 27 февраля 2003 г. № 29-ФЗ «Об особенностях управления и распоряжения имуществом железнодорожного транспорта» Правительство Российской Федерации осуществляет от имени Российской Федерации полномочия акционера единого хозяйствующего субъекта в соответствии с законодательством Российской Федерации о приватизации и об акционерных обществах. Единый хозяйствующий субъект обеспечивает осуществление мероприятий по мобилизационной подготовке, в том числе техническому прикрытию объектов железно-

⁴ [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/12171031/>.

дорожного транспорта, гражданской обороне в соответствии с установленным заданием и несет ответственность за их осуществление, а также предоставляет органам внутренних дел на транспорте и органам специальных перевозок, военно-транспортным органам необходимое имущество в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Расходы единого хозяйствующего субъекта, связанные с осуществлением указанных в настоящем пункте мероприятий, компенсируются за счет средств федерального бюджета.

На основе Постановления Правительства РФ от 23 июля 2004 г. № 371 «Об утверждении Положения о Федеральном агентстве морского и речного транспорта» и иных нормативных правовых актов, которые обеспечивают мобилизационную подготовку, а также контроль и координацию деятельности в этой области, происходит исполнение военно-транспортной обязанности на морском и речном флоте [17].

Проблемные вопросы реализации военно-транспортной обязанности

Как уже было сказано выше, существует ряд проблемных вопросов, негативно влияющих на состояние мобилизационной готовности транспортных средств и исполнение должностными, юридическими лицами и гражданами военно-транспортной обязанности.

Наблюдается недостаток стимулирующих мер, направленных на качественное выполнение организациями мобилизационного задания. Например, отсутствуют единые подходы органов государственной власти субъектов Российской Федерации и местных органов самоуправления в практике предоставления организациям-формирователям налоговых льгот. При этом Налоговый кодекс Российской Федерации закрепляет права на предоставление льгот по транспортному налогу как раз за органами государственной власти субъектов Российской Федерации, а по земельному налогу – за местными органами самоуправления.

Отдельной проблемой, имеющей важное, в том числе и социальное, значение, является готовность санитарных колонн к выполнению задач по перевозке раненых и больных военнослужащих в военное время. Не утверждён порядок переоборудования автобусов в организациях-формирователях, и, как следствие, не принято решение об организации промышленного производства в мирное время транспортно-санитарного оборудования, разработанного в рамках соответствующих опытно-конструкторских работ, а также порядке его хранения.

Проблемным остаётся вопрос компенсаций затрат организациям и гражданам в связи с предоставлением принадлежащих им транспортных средств Вооруженным Силам.

Также негативно сказывается снижение в организациях автомобилей Камаз и Урал грузоподъемностью 6–10 тонн повышенной проходимости.

На протяжении 16 лет, начиная с 2007 года, сохранялись низкие размеры административных штрафов, что потенциально способствовало совершению административных правонарушений в области военно-транспортной обязанности. Хотелось бы надеяться, что принятые в июле 2023 года и вступившие в силу с 1 октября 2023 г. поправки в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях по ужесточению административной ответственности в части увеличения административных штрафов в двадцать раз позволят изменить ситуацию в лучшую сторону⁵.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Военно-транспортная обязанность представляется важной структурно-функциональной конструкцией в материально-техническом и нормативно-правовом обеспечении обороноспособности страны и безопасности государства. Конституционными нормами установлено, что защита Родины это долг и обязанность любого гражданина. Потому военно-транспортная обязанность – это необходимая лепта, которую могут и обязаны внести граждане и организации в дело поддержки Вооруженных Сил и иных войск в сложный социально-экономический период и в условиях продолжающегося санкционного давления со стороны недружественных государств. При этом конституционно-значимые принципы демократичности, гуманности и соразмерности, характерные для отечественного законодательства, проявляются в том, что выполнение военно-транспортной обязанности не является безвозмездным.

Последовательное изучение историко-правового и нормативно-правового аспектов, произведённое в настоящем исследовании, позволяет утверждать, что существующей (действующей) нормативно-правовой базы, регламентирующей реализацию военно-транспортной обязанности, в целом, достаточно.

⁵ О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: Федеральный закон Российской Федерации от 31 июля 2023 г. № 404-ФЗ // Российская газета. – 2023. – 3 августа.





В качестве предложений по совершенствованию действующего государственно-правового регулирования рассматриваемого вопроса, в целях повышения уровня мобилизационной готовности транспортных средств и более качественного выполнения военно-транспортной обязанности представляется целесообразным провести комплекс мероприятий юридического и организационного характера по уточнению и детализации правового регулирования обозначенных выше проблемных вопросов, а также дополнительно организовать работу участвующих в реализации военно-транспортной обязанности министерств и ведомств с Росрезервом по обеспечению закладки на хранение в мирное время необходимых объемов материального государственного запаса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Холиков И. В., Милованович А., Наумов П. Ю. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход // Журнал российского права. – 2022. – Т. 26. – № 11. – С. 132–148. DOI: 10.12737/jrl.2022.122. EDN: ABBLLM.
2. Холиков И. В. Актуальные вопросы правового обеспечения сил и средств обороны и безопасности России в условиях современных вызовов и угроз // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. – 2021. – № 12 (293). – С. 116–120. EDN: VBEXDG.
3. Гаврилов С. О., Глебов И. Н., Чукин С. Г. [и др.] Право в точке бифуркации: обсуждение концептуального исследования военных проблем международного права (Дискуссия в формате «круглого стола» по материалам гл. 6 «Военные проблемы международного права» т. III монографии «Военное право») // Государство и право. – 2022. – № 12. – С. 59–67. DOI: 10.31857/S102694520023301-2. EDN: XHOVFE.
4. Военное право: Монография в 3 т. / под общ. ред. А. Н. Савенкова, А. В. Кудашкина – Т. II: Современное состояние военного права (институты военного права). – М.: Центр правовых коммуникаций, 2021. – 888 с. EDN: WODYTL.
5. Военное право: Монография в 3 т. / под общ. ред. А. Н. Савенкова, А. В. Кудашкина – Т. III: Основные проблемы и перспективные направления военно-правовых исследований. – М.: Центр правовых коммуникаций, 2022. – 712 с. EDN: SNMELJ.
6. Кудашкин А., Холиков И. Опыт концептуализации специальных военных операций в современном праве // Пути к миру и безопасности. – 2023. – № 1 (64). – С. 31–47. DOI: 10.20542/2307-1494-2023-1-31-47.
7. Дамаскин О. В., Холиков И. В. Актуальные проблемы защиты российской государственности и нацио-

нального суверенитета в современных условиях // Представительная власть – XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. – 2017. – № 4 (155). – С. 1–5. EDN: YZKCCV.

8. Бухтияров И. В., Холиков И. В., Большакова В. М., Наумов П. Ю. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России», отв. Ред. А. А. Мохов, изд-во «Проспект», 2022, – материалы дискуссии) // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63. – № 1. – С. 67–73. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73. EDN: FWIGUF.

9. Дамаскин О. В., Холиков И. В. Актуальные вопросы правового обеспечения сил и средств обороны и безопасности России в условиях современных военных конфликтов // Вестник Академии военных наук. – 2018. – № 4 (65). – С. 121–128. EDN: APXXIB.

10. 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.

11. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.

12. Холиков И. В., Наумов П. Ю., Большакова В. М. [и др.] Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения // Уголь. – 2022. – № 10 (1159). – С. 66–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-66-71.

13. 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. EDN: KBLAQJ.

14. Zemlin, A., Pishchelko, A., Kharlamova, Yu. Problems of Realisation of Public Oversight in the Field of Transport Counterterrorism Policy. Kutafin University Law Review, 2020, Vol. 7, No. 1 (13), pp. 67–78. DOI: 10.17803/2313-5395.2020.1.13.067-078. EDN: YSCBWQ.

15. Глушаченко С. Б., Зелепукин Р. В. Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трёхтомную монографию «Военное право») // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 1 (104). – С. 134–137. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-21-1-16.

16. Хилос С. В. Проблемы правового регулирования военно-транспортной обязанности в СССР в 70–80 гг. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2013. – № 36. – С. 39–43. EDN: SOAVXD.

17. Соколов С. А. Правовые основы военно-транспортной обязанности в Российской Федерации // Вестник ВГАВТ. – 2013. – № 36. – С. 118–124. EDN: SOAWDH.

Информация об авторе:

Холиков Иван Владимирович – доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник центра международного права и сравнительно-правовых исследований, профессор кафедры международного права Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, Москва, Россия, iv_kholik@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.09.2023, одобрена после рецензирования 28.10.2023, принята к публикации 02.11.2023.



ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И РЕСУРС

80

Риск-ориентированный
подход к оценке объектов
железнодорожного транспорта.

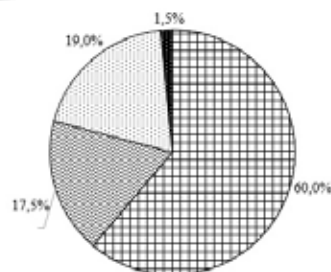


АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

88

Сценарии применимости
для автомобильного транспорта
и последствия для экологии
и экономики.

БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ



ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

99

Сравнительные преимущества
использования аккумуляторов
и водородных топливных
элементов.



БИОТОПЛИВО

106

Сравнительные характеристики
смесей с различным содержанием
биотоплива.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.4:539.4(045)

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-9>

Развитие риск-ориентированных подходов к определению повреждаемости и ресурса объектов железнодорожного транспорта



Николай МАХУТОВ



Михаил ГАДЕНИН



Валерий КОССОВ



Дмитрий КНЯЗЕВ



Николай КРАСЮКОВ

Николай Андреевич Махутов¹, Михаил Матвеевич Гаденин², Валерий Семёнович Коссов³, Дмитрий Александрович Князев⁴, Николай Фёдорович Красюков⁵

^{1, 2} Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия.

^{3, 4, 5} АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия.

✉ ⁴ knyazev-da@vnikti.com.

АННОТАЦИЯ

Современные проблемы железнодорожного транспорта в нашей стране, такие как общее техническое состояние объектов, и связанные с этим вопросы безопасности их эксплуатации, импортозамещения оборудования и комплектующих, реализация программ инновационного развития порождают необходимость создания новой техники и технологий, построения схем перспективного развития транспорта на базе новых требований безопасности и стратегического планирования. Существующий уровень разработок не позволяет полностью исключить повреждения, отказы и аварии объектов железнодорожного транспорта, поставленных на производство в соответствии с действующей нормативной базой. Решение этих проблем возможно путем установления фактического состояния объекта с накопленными в эксплуатации циклическими, коррозионными, износными и другими повреждениями, определяющими наступление предельных состояний базовых элементов объекта

с учетом технологий восстановления ресурса на различных стадиях жизненного цикла в штатных (проектных) и аварийных условиях эксплуатации.

В статье затронуты проблемы, связанные с обеспечением безопасности функционирования железнодорожного транспорта, с целью обоснования на основе действующих нормативно-технических документов новых подходов к анализу повреждаемости, уязвимости объектов и оценке рисков аварий и катастроф. Развитие взаимодействия через систему новых постановок задач и нормативно-технических документов, а также более активное вовлечение, использование и развитие фундаментальных законов физики, химии, механики применительно к реально существующим процессам в окружающей среде позволяют реализовывать в технических объектах новые концепции, стратегии и разработки перспективных исследований с применением цифровых и интеллектуальных технологий.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, локомотивный парк, безопасность, ресурс, надёжность, накопление повреждений, диагностика, опасные состояния, риски, аварии, катастрофы.

Для цитирования: Махутов Н. А., Гаденин М. М., Коссов В. С., Князев Д. А., Красюков Н. Ф. Развитие риск-ориентированных подходов к определению повреждаемости и ресурса объектов железнодорожного транспорта // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-9>.

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

Внедрение новой техники и технологий, современные темпы совершенствования железнодорожного транспорта делают актуальным построение схем его перспективного развития на базе новых требований безопасности и стратегического планирования.

Это касается всех взаимосвязанных аспектов его функционирования. Например, в части локомотивного парка железных дорог, помимо собственно подвижного состава, возникает необходимость определённого категорирования состояния объектов железнодорожного транспорта, его обеспечивающего (железнодорожные мосты, тоннели и другие искусственные сооружения), их количества и стадий эксплуатации. В этом категорировании важно выделить группу объектов длительной эксплуатации с накопленными в их конструкционных элементах повреждениями.

Важнейшей является инновационная составляющая, ориентация на использование новых решений, новой техники, новых технологий, что требует и новых подходов к определению их ресурса и надёжности.

Ещё одна задача связана с тем, что есть импортная техника, оборудование, которые используются на объектах железнодорожного транспорта, и требуется обеспечить функционирование импортных объектов на основе отечественных нормативно-технических документов.

Важно учитывать и другие факторы, в том числе глобальное изменение природной среды и климата.

Целью исследования является обоснование новых системных подходов к анализу повреждаемости, уязвимости объектов и оценке рисков аварий и катастроф.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Актуальность решения проблем ресурса и безопасности

Железнодорожный транспорт должен рассматриваться как составная часть общественной, государственной, природной, техногенной систем. Установление определённой последовательности в его развитии (целеполагание, прогнозирование, планирование, программирование) – это составляющая планирования достижения стратегических целей современного государственного развития.

Исходя из этого, следует остановиться на вопросе построения схем перспективного развития транспорта на базе новых требований безопасности и стратегического планирования (на примере ОАО «РЖД», рис. 1 [1–3]). Здесь важно определить наличие знаний, реальных подходов и технологий, больших баз данных, аппаратных систем именно с точки зрения стратегического планирования.

На схеме (рис. 1) С-П-Т – это сочетание социальной, природной, техногенной сфер,

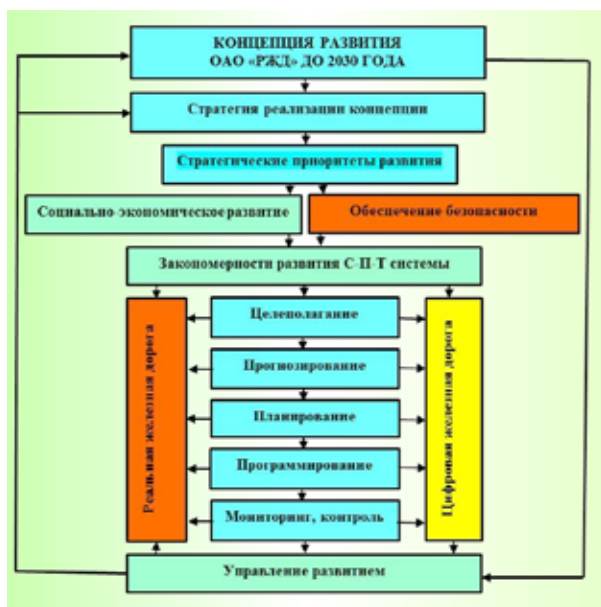


Рис. 1. Структурная схема перспектив развития железнодорожного транспорта, рассматриваемых в совокупности [1–3].



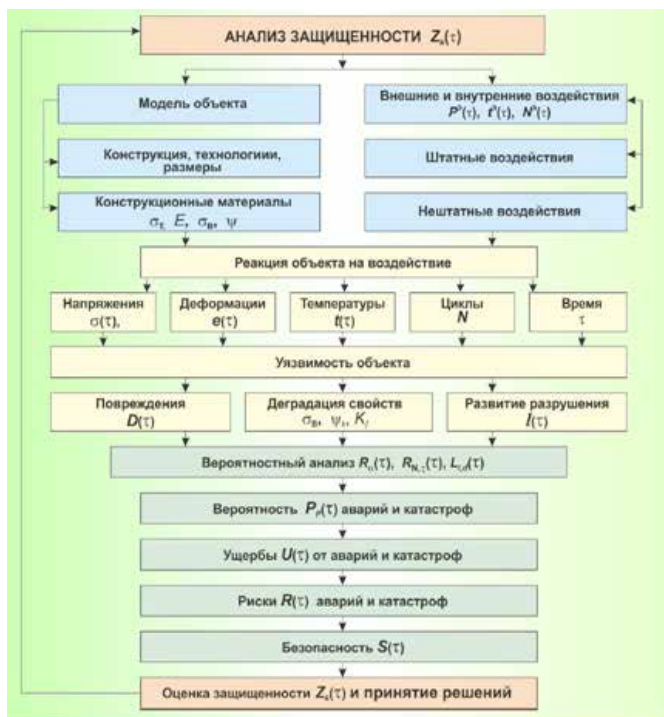


Рис. 2. Принципиальный алгоритм расчётно-экспериментального определения прочности, ресурса, безопасности и защищённости по критериям рисков [4], где σ_s – временное сопротивление материала; ψ – относительное сужение шейки стандартного образца материала; K_f – трещиностойкость; $L(L_{ij}, I_{ij})$ – живучесть на различных этапах времени эксплуатации; R_f, R_N – и другие буквенные сочетания по данному и последующим рисункам функционально обозначают риски разрушения и истощения ресурса соответственно по механизмам повреждаемости (износ, коррозия и др.), их список не является исчерпывающим и служит для демонстрации принципиальных подходов.

определяемых показателями прочности, ресурса, безопасности, загруженности объектов. С одной стороны, эти показатели желательно повысить. С другой стороны, обязательно надо считаться с тем, что ни отказы, ни аварии, ни катастрофы не являются мгновенно (вдруг) возникающими (рис. 2). Тогда становится ясно, что основным является анализ реальной накапливаемой повреждаемости, деградации самих систем во время их эксплуатации [4]. Эти показатели являются фундаментальными.

Сама проблема повреждаемости выходит на первое место. Сейчас в государственном законодательстве ставится вопрос о том, что одним из важнейших становится этап деятельности, обусловленный новым требованием и предусматривающий обоснование ресурса, безопасности. Под словом «обоснование» понимается, что в ряде случаев невозможно полностью воспользоваться действующей нормативно-технической документацией. В случае отклонений, при возникновении новых обстоятельств и состояний действующая нормативно-техническая документация не позволяет правильно определять

решения. Поэтому данное требование в законодательстве, которое будет распространено в промышленной безопасности на обоснование ресурса и безопасности, станет очень важным.

Методология анализа повреждаемости и оценки риска

Некоторая критериальная основа анализа повреждаемости в штатных и нештатных условиях эксплуатации, повреждаемость, связанная со временем (τ) и числом циклов (N) нагружения, являются определяющими фундаментальными параметрами, на которых может строиться дальнейшее рассмотрение риска повреждаемости (рис. 3). Сюда будут входить и условия нагружения, условия в окружающей среде, деградация конструкций и материалов. Учёт всех этих факторов сводится к тому, что параметрами, определяющими состояние систем, становятся повреждаемость и уязвимость [5]. Переход на эти параметры в отношении и подвижного состава, и инфраструктуры чрезвычайно важен.

Сама повреждаемость как функция времени определяет риски (рис. 4). Непосред-



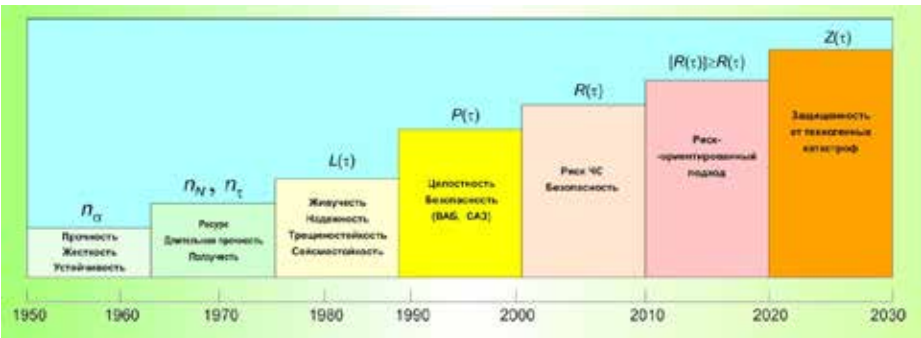


Рис. 8. Последовательность формирования и развития риск-ориентированного подхода к КВО и СТВО [8].

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ												
Методы	Дефекты			Температура			Напряжения			Механ. свойства		
	Размер	Форма	Место	Величина	Цикл.	Время	Величина	Циклы	Время	Прочность	Пластич.	Трещин.
	l	a, l	S	t	$\tau_{ци}$	τ	σ_a	N	τ	σ_t, σ_b	δ, ψ	K_{IC}
УЗД	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
МПД	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Виз. контроль	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Рентген	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Виброметрия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Акуст. контр.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Акуст. эмис.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Голография	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Термовидение	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Томография	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Натурн. тенз.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ												
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$ - Натурная тензометрия												
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$ - Термовидение												
$AE = f(\sigma_a, e_p, K_{IC}, l)$ - Акустическая эмиссия												
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$ - Голография												

Рис. 9. Возможности методов диагностики для анализа параметров состояния объектов (расчётные соотношения приведены в качестве примеров и подлежат отдельному рассмотрению) [9].

их представления в нормативной базе. Это станет научно-техническим инструментом обоснования срока безопасной эксплуатации объекта с требуемой надёжностью.

Тогда решения, которые будут приниматься по любому из действующих объектов, будут сводиться к тому, что существуют такие параметры, как время, число циклов, годы, тонно-километры, исходный и остаточный ресурс, ресурс накопленный и предельный, которые подлежат теоретическому анализу. Поэтому кривая, представленная на рис. 7 (на котором также проиллюстрированы некоторые ключевые расчётные формулы), может быть реализована и использована во всех основных нормативно-технических документах, базирующихся на уровне повреждаемости, ресурсе, безопасности, отказоустойчивости, стойкости против аварий и катастроф [8].

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Опираясь на все заделы, которые есть и в нормативно-технической базе, и, переходя на риск-ориентированные подходы, что требует сейчас законодательство, следует противостоять негативным явлениям и рискам не в процессе эксплуатации, а перемещать эту «борьбу» на стадию проектирования [8]. Эта идеология для новых объектов и будущего развития станет определяющей.

Системы диагностирования должны быть подстроены под то, чтобы реальные технические состояния с учётом повреждаемости были определены большой группой параметров, выходящих за традиционные нормы диагностики и контроля. На рис. 9 показано, какой параметр каким методом можно получать, и приведены некоторые расчётные соотношения [9]. При условии реализации такого подхода такие параметры приобретут решаю-



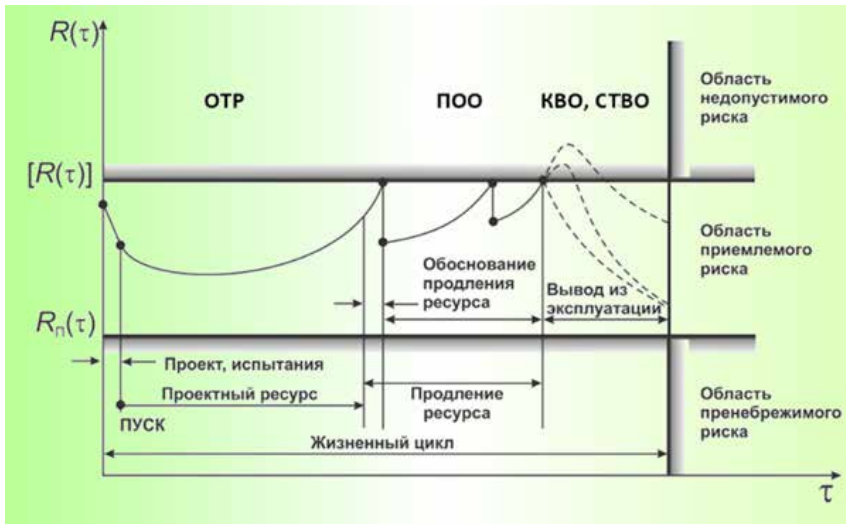


Рис. 10. Управление рисками для различных стадий жизненного цикла объектов [10].



Рис. 11. Концепция перспективных исследований и разработок с применением цифровых и интеллектуальных технологий [11–15].

щее значение. Бортовые счётчики ресурса, которые будут учитывать накапливаемую повреждаемость в элементах, компонентах, узлах, локомотивах, вагонах станут не только фиксирующими текущее состояние и создающими обширную статистику больших данных, но и прогностическими моделями, основанными на физических, механических, химических реально протекающих процессах в машинах, конструкциях и системах управления.

Тогда управление самим состоянием, управление рисками, ресурсами по уровню повреждаемости и рисков становится не предписанным периодически ремонтным освидетельствованием и ведением работ, а научно обоснованным мероприятием (рис. 10) [10].

В контексте комплексного рассмотрения заявленных в исследовании задач целесооб-

разен учёт современных зарубежных научных работ и опыта, анализ которых в силу обширности проблематики не является предметом данной статьи и требует отдельного рассмотрения.

С учётом изложенного и применительно к деятельности железнодорожного транспорта возрастает актуальность научного сопровождения эксплуатационной деятельности. В частности, должно получить новое развитие взаимодействие, которое сложилось между ОАО «РЖД» и РАН (рис. 11). Оно должно быть реализовано через систему новых постановок задач и нормативно-технических документов, а также концепций и стратегий [11–15].

Объединённому учёному совету ОАО «РЖД», научным организациям и специалистам отрасли железнодорожного транс-

порта при этом целесообразно сосредоточиться на том, что фундаментальные законы физики, химии, механики реально существующих процессов в окружающей среде для технических объектов должны быть более активно вовлечены в использование и развитие. Внедрение интеллектуальных и цифровых технологий должно обеспечивать не просто фиксацию каких-то реально складывающихся позиций, но и учитывать реальные закономерности деформирования, повреждения, разрушения и деградации. Это направление становится определяющим.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности железнодорожного транспорта / Под ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание», 2020. – 720 с. ISBN 978-5-87633-189-2.
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная безопасность подвижного состава железнодорожного транспорта / Под ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание», 2020. – 488 с. ISBN 978-5-87633-193-9.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта / Под ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание», 2021. – 876 с. ISBN 978-5-87633-198-4.
4. Махутов Н. А., Коссов В. С., Гаденин М. М., Оганьян Э. С. Расчётно-экспериментальная оценка прочности, ресурса и живучести элементов вагонных тележек // Ренессанс железных дорог: фундаментальные научные исследования и прорывные инновации / Под ред. Б. М. Лапидуса. – Ногинск: Аналитика Родис, 2015. – С. 113–125. ISBN 978-5-905277-63-4.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера / Под ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание», 2014. – 856 с. ISBN 978-5-87633-127-4.
6. Махутов Н. А., Резников Д. О., Оганьян Э. С., Коссов В. С., Волохов Г. М., Овечников М. Н., Протопопов А. Л. Методы определения ресурса нерезервируемых несущих

элементов подвижного состава и пути // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2017. – № 3. – С. 19–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30113989>. Доступ 13.01.2023.

7. Григорьев А. В., Лепов В. В. Надёжность и ресурс технических систем в экстремальных условиях эксплуатации Арктики и Субарктики // Железнодорожный транспорт. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – 112 с. ISBN 978-5-7692-1623-7.

8. Система методик по расчётно-экспериментальному определению и нормированию ресурса и сроков службы технических средств железнодорожного транспорта. Критически важные объекты железнодорожной техники и инфраструктуры. Номенклатура, категории, предельные состояния. – Коломна: ВНИКТИ – ИМАШ РАН, 2020. – 108 с.

9. Погодин-Алексеев Г. И. Динамическая прочность и хрупкость металлов. – М.: Машиностроение, 1966. – 244 с. [Электронный ресурс]: https://openbooks.itmo.ru/lib_book/25456/25456.pdf. Доступ 13.01.2023.

10. Волохов Г. М., Коссов В. С. Оценка допустимых величин риска перевозки грузов различной категории опасности на железнодорожном транспорте // Тяжёлое машиностроение. – 2010. – № 1. – С. 28–30. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13064940>. Доступ 13.01.2023.

11. Махутов Н. А., Резников Д. О., Коссов В. С., Оганьян Э. С., Волохов Г. М., Овечников М. Н., Протопопов А. Л. Методы определения ресурса нерезервируемых несущих элементов подвижного состава и пути // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2017. – № 3. – С. 19–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30113989>. Доступ 13.01.2023.

12. Махутов Н. А., Лыглаев А. В., Большаков А. М. Хладостойкость (метод инженерной оценки) / Под ред. М. П. Лебедева, Ю. Г. Матвиенко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 195 с. ISBN 978-5-7692-1202-4.

13. Хладостойкость материалов и элементов конструкций: результаты и перспективы / Отв. ред. В. В. Филиппов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 290 с. ISBN 5-02-032442-6.

14. Махутов Н. А., Филин В. М., Волохов Г. М., Гордеев С. В. Проблемы бионетики, бионики и кибернетики // Экономические стратегии. – 2017. – № 3. – С. 6–15. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30469902>. Доступ 13.01.2023.

15. Голубева М. В., Сыч О. В., Хлусова Е. М. Исследование структуры и свойств сварных соединений из высокопрочной хладостойкой стали марки 09ХГН2МД, полученных электродуговой и лазерной сваркой // Тяжёлое машиностроение. – 2018. – № 7–8. – С. 23–32. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36300501> [платный доступ]. ●

Информация об авторах:

Махутов Николай Андреевич – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН), Москва, Россия, kei51@mail.ru.

Гаденин Михаил Матвеевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН), Москва, Россия, safety@imash.ru.

Коссов Валерий Семенович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия, vskossov@icloud.com.

Князев Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заместитель заведующего отделом АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия, knyazev-da@vnikti.com.

Красюков Николай Федорович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия, timakov-mv@vnikti.com.

Статья поступила в редакцию 04.04.2023, одобрена после рецензирования 17.11.2023, принята к публикации 20.11.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.131:662:629.113.65:504:339.7

JEL: R40, R42, R48

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-10>

Сценарный анализ перспектив применения альтернативных видов топлива в автомобильном транспорте в России



Дмитрий ГОРДЕЕВ



Александр ТОМАЕВ

Дмитрий Сергеевич Гордеев¹,
Александр Олегович Томаев²

^{1, 2} Институт прикладных экономических исследований Российской Академии народного хозяйства и Государственной службы при Президенте Российской Федерации (ИПЭИ РАНХиГС), Москва, Россия.

✉ ¹ gordeev@ranepa.ru.

АННОТАЦИЯ

В представленной статье исследуются экономические и экологические последствия для Российской Федерации, которые могут быть вызваны переводом автомобильного транспорта на газомоторное топливо и электроэнергию. Согласно стратегическим документам планирования, государство проводится политика, направленная на перевод значительной доли автомобильного транспорта на газомоторное топливо. В качестве основной мотивации для данной политики выделяют вопросы, связанные с ограничением выбросов вредных веществ в атмосферу от сжигания продуктов нефтепереработки. Помимо позитивного влияния на экологию данная трансформация должна оказать положительное воздействие на экономику, так как применение альтернативных источников энергии сокращает транспортные издержки, а строительство необходимой сопутствующей инфраструктуры позволит создать дополнительные точки роста для экономики.

Цель исследования, изложенного в данной статье, – проанализировать экономические и экологические эффекты для Российской Федерации от перевода автомобильного транспорта на газомоторное топливо. В качестве основных экономических показателей исследуются субсидии, которые необходимы для создания условий для развития газомотор-

ного рынка, изменения поступлений в бюджет от налога на добычу полезных ископаемых и акцизов на нефтепродукты, а также дополнительная валовая добавленная стоимость за счёт мультипликативных эффектов в экономике. Исследование экологических эффектов заключается в оценке сокращения выбросов парниковых газов и твёрдых частиц в атмосферу.

Анализ последствий для экономики Российской Федерации от перевода автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии показал, что за счёт мультипликативного эффекта за период до 2035 года валовая добавленная стоимость может увеличиться на 3,6 трлн рублей, а инвестиции в необходимую инфраструктуру составят около 2,7 трлн рублей, что составляет около 13 % от прогнозируемых инвестиций в дорожное хозяйство. За счёт использования газомоторного топлива и электромобилей к 2035 году выбросы CO₂ (углекислого газа) сократятся на 11 млн тонн ежегодно, что в масштабах государства составляет всего 0,5 %. Это означает, что перевод автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии с точки зрения существующей мотивации недостаточно эффективен, а мотивацию необходимо изменить в пользу положительных экономических эффектов.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, газомоторное топливо, электромобили, инвестиции в инфраструктуру, экология.

Для цитирования: Гордеев Д. С., Томаев А. О. Сценарный анализ перспектив применения альтернативных видов топлива в автомобильном транспорте в России // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 88–98. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-10>.

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.

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве развитых и развивающихся государств мира наблюдается тренд, направленный на замещение нефтепродуктов в автотранспортном секторе в пользу альтернативных источников энергии. В данный момент наибольшую популярность среди альтернативных источников энергии представляют электричество, природный и попутный нефтяной газ. Транспортный сектор является одним из крупнейших потребителей энергии в России, вследствие чего данная тенденция может привести и к значительной трансформации энергетического сектора экономики. Благодаря эксплуатации автомобильного транспорта формируются существенные доходы бюджета за счёт таких налоговых составляющих, как НДС на нефть и акцизов на нефтепродукты. Учитывая высокую налоговую нагрузку, которой облагаются энергоресурсы, в результате трансформации энергетической структуры потребления автомобильным транспортом поступления в бюджет также будут подвержены значительным изменениям. Заблаговременный анализ последствий для бюджета и экономики в целом позволит минимизировать потенциальные риски от сокращения доходов в бюджет от нефтегазовых доходов в будущем.

При этом рост количества автомобилей на альтернативных источниках энергии требует и развития сопутствующей инфраструктуры, такой, как электростанции и газовые автозаправочные станции. Без их развития потребители не будут использовать электромобили и газомоторное топливо, так как их зарядка или заправка будут сопряжены с существенными временными и стоимостными издержками. Создание минимального требуемого количества сопутствующей автозаправочной инфраструктуры является критически важным условием для развития автомобильного транспорта на альтернативных источниках энергии. Передовая международная практика показывает, что на первоначальном этапе развития большую часть затрат принимает на себя государство.

Цель исследования – анализ экономических и экологических эффектов для Российской Федерации от перевода автомобильного транспорта на газомоторное топливо.

В данной работе произведена оценка инвестиций, необходимых для обеспечения

минимального количества требуемой инфраструктуры, мультипликативных эффектов для экономики на базе таблиц затраты-выпуск, а также потерь бюджета от недополученных доходов от НДС и акцизов на нефтепродукты.

Дополнительно в работе проведены оценки экологических последствий от перехода автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обзор текущего состояния автомобильного рынка Российской Федерации

В России основными видами топлива для автомобильного транспорта являются продукты нефтепереработки. В легковом автомобильном транспорте в Российской Федерации в качестве топлива применяется преимущественно бензин, а дизельное топливо применяется на грузовом, пассажирском и специализированном транспорте. Карбоёмкость продуктов нефтепереработки практически в полтора раза выше, чем у природного газа. Это означает, что для получения одинакового количества энергии при сжигании дизельного топлива или бензина выделяется в полтора раза больше углекислого газа, чем при сжигании природного газа. Согласно измерениям, для получения 1 Mbtu (1BTU = 1055–1059 Дж) энергии от сжигания природного газа в атмосферу будет выделено 52,9 кг CO₂, а при сжигании бензина в атмосферу будет выделено 70,7 кг CO₂¹. Помимо углекислого газа при сжигании нефтепродуктов в атмосферу выбрасываются и другие вредные вещества, из которых наибольший вред для здоровья представляют твёрдые частицы, которые провоцируют онкологические заболевания [1; 2].

Согласно измерениям, на 100 км пробега при использовании газомоторного топлива выделяется в пять раз меньше твёрдых частиц [3], чем при использовании дизельного топлива, что особенно актуально в мегаполисах (Рис. 1). Если замещение продуктов нефтепереработки на газомоторное топливо гарантированно позволит сократить удельные выбросы вредных веществ в атмосферу на 1 км пройденного пути, то для электрического

¹ Carbon Dioxide Emissions Coefficients, EIA. [Электронный ресурс]: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php. Доступ 11.07.2023.



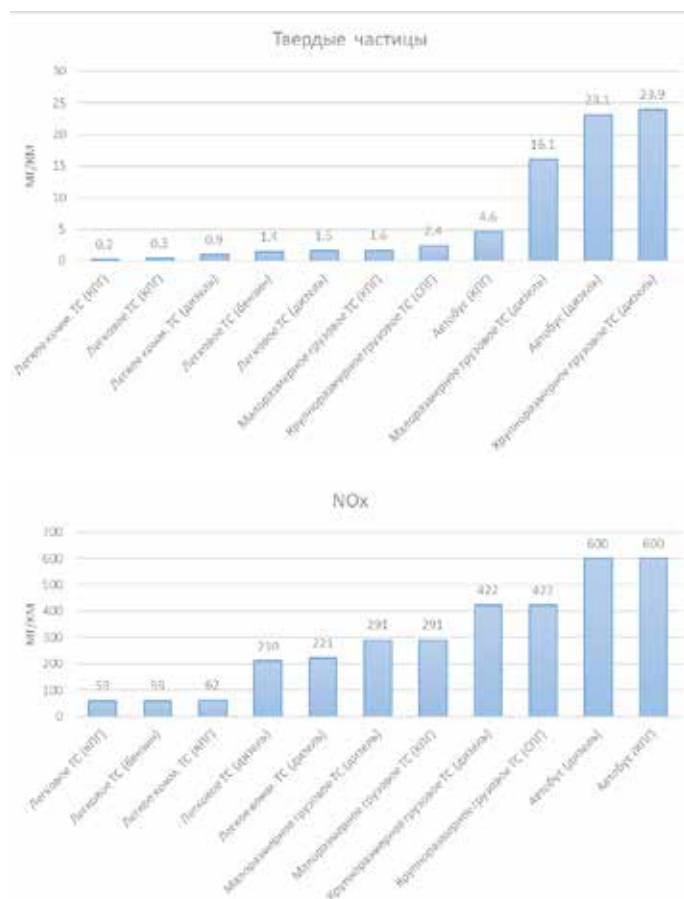


Рис. 1. Выбросы вредных веществ в атмосферу для некоторых видов автомобильного транспорта [на основе данных [3, С. 30–31]].

транспорта не всё так однозначно, как принято считать. При потреблении электричества электромобиль действительно почти не выделяет вредные вещества в атмосферу. Однако необходимо учитывать выбросы в атмосферу при производстве электроэнергии на электростанциях, а также потери на транспортировку электроэнергии до потребителя. Однако главный негативный эффект от электромобилей для экологии заключается в использовании тяжёлых металлов при производстве аккумуляторных батарей [4; 5]. Большое количество тяжёлых металлов в составе аккумуляторных батарей и сложность их утилизации [6; 7] приводят к тому, что общий негативный эффект для экологии за жизненный цикл электромобиля даже больше, чем от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

Именно сокращение выбросов парниковых газов и твёрдых частиц является основной мотивацией для замещения продуктов нефтепереработки в автомобильном транспорте на альтернативные источники энергии

в развитых странах. В Российской Федерации также актуальна экологическая повестка и предпринимаются определённые шаги, направленные на сокращение выбросов парниковых газов автомобильным транспортом. Однако помимо экологического аспекта для Российской Федерации перевод автомобильного транспорта на альтернативные виды энергии несёт и прямые экономические выгоды. Использование газомоторного топлива и электроэнергии позволяет существенно сократить издержки, связанные с транспортировкой. Согласно расчётам авторов, при текущих уровнях цен на топливо для поездки на одинаковое расстояние затраты на газомоторное топливо будут 2–2,5 раза ниже, чем при использовании нефтепродуктов, а на электричество – в 3–10 раз ниже в зависимости от выбранного тарифа (табл. 1).

В зависимости от вида автомобильного транспорта срок окупаемости может варьироваться. В табл. 2 представлены расчёты периода окупаемости перевода транспортного средства на газомоторное топливо. Как

Таблица 1

Затраты на топливо для легковых транспортных средств на 100 км пробега [расчёты авторов]

Вид топлива	Единица измерения	Цена, руб. за ед.	Стоимость энергии за 100 км пути***, руб.
АИ-92	л	47,6	476
АИ-95	л	54,1	541
АИ-98	л	59,83	599
ДТ	л	54	432
Компримированный природный газ (КПГ)	м³	22,50	202,5
Электричество* (день)	кВт•ч	5,92	148
Электричество* (ночь)	кВт•ч	1,74	43,5
Зарядные станции**	кВт•ч	0–9	0–225

* Зарядка от сети питания многоквартирного дома, дневной и ночной тарифы, исходя из расхода 25 кВт•ч на 100 км.

** Зарядка от специально оборудованной зарядной станции.

*** При среднем расходе бензина в 10 л на 100 км, природного газа – в 9 м³ на 100 км.

видно из таблицы, срок окупаемости для всех видов транспортных средств составляет менее 200 дней. Следует оговориться, что для легкового транспорта небольшой максимальный пробег на полной заправке газомоторным топливом служит значительным барьером, так как при пробеге 100 км в день потребуются заправляться раз в три дня. Для городских автобусов и грузового транспорта ограниченность запаса хода не так критична, так как автобусы могут заправляться топливом на конечных станциях, а дальность хода грузового транспорта будет ограничена не запасами топлива, а необходимостью отдыха водителя. Быстрая окупаемость автомобилей на газомоторном топливе уже приводит к тому, что собственники транспортных средств устанавливают газобаллонное оборудование самостоятельно.

Согласно статистике «Газпром газомоторное топливо», за последние десять лет автомобильный парк на газомоторном топливе в России вырос в четыре раза и составил 259 тысяч транспортных средств² или 0,4 % от всего автомобильного парка. В легковых автомобилях используется преимущественно СУГ (в легковом транспорте 73 % от потребления газомоторного топлива и 89 % в лёгком коммерческом транспорте)³, а доля КПГ в легковом автотранспорте составляет всего 9 % от потребления КПГ в качестве газомоторного топлива. Данная статистика под-

тверждает, что в легковом транспорте применение КПГ слабо востребовано из-за небольшой дальности пробега на полной заправке.

Количество автомобильных газозаправочных станций (АГЗС), которые предоставляют услуги по заправке транспортных средств природным газом в 2022 году составляло 711 единиц, из которых 393 принадлежали Газпрому³. Безусловно, что такое незначительное количество АГЗС является существенным барьером для начала массового использования газомоторного топлива, так как издержки поиска потребителей будут очень высокими. В работах, посвящённых оценке оптимального количества АГЗС, исследователи сходились во мнении, что оптимум достигается в диапазоне от 1000 до 1500 автомобилей на одну АГЗС [8; 9]. Например, в таких государствах, как Иран, Китай, Пакистан, Индия, Бразилия и Италия, в которых значительная доля автотранспорта приходится на автомобили, которые используют газомоторное топливо, данный показатель варьируется в диапазоне от 850 до 1800⁴. Более высокое значение индекса будет приводить к росту издержек поиска АГЗС, а более низкое значение данного индекса является барьером для развития инфраструктуры, так как может наблюдаться недостаточный спрос на услуги АГЗС. Одним из исключений является Швеция, где удельный показатель количества автомобилей на газомоторном топливе на одну АГЗС составляет около 200 единиц [10]. Исследователи отмечают, что развитие сети АГЗС и перевод автомобилей на газомоторное топливо необходимо проводить одновремен-

² Газпром – газомоторное топливо. [Электронный ресурс]: <https://gmt.gazprom.ru/press/news/2022/09/188/>. Доступ 11.07.2023.

³ На природной тяге // Газета «Коммерсантъ». [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/5017206>. Доступ 11.07.2023.

⁴ Natural Gas Vehicles Journal. [Электронный ресурс]: <http://www.ngvjjournal.com>. Доступ 11.07.2023.



Таблица 2

Срок окупаемости перевода ТС на газомоторное топливо

Переменные модели	Единица измерения	Легковой автомобиль	Автобус	Грузовое ТС
Стоимость переоборудования	руб.	50 000	212 500	700 000
Вид базового топлива	—	АИ-92	Дизельное топливо	Дизельное топливо
Цена базового топлива за литр	руб.	51	54	54
Расход базового топлива на 100 км	л	9,3	25	40
Расход метана на 100 км	м³	8,1	27,3	43,6
Ёмкость ГБО для заправки КПП	л	90	250	1420
Пробег в день	км	100	250	300
Коэффициент сжатия КПП	раз	222	222	222
Цена КПП за 1 м³	руб.	22,5	22,5	22,5
Дальность хода на одной заправке КПП	км	246,9	203,7	723,1
Экономия от использования КПП относительно использования базового вида топлива на 1 км пробега	руб.	2,9	7,4	11,8
Пробег, соответствующий окупаемости инвестиций в переоборудование ТС	км	17 241	28 612	59 322
Срок окупаемости	дней	172	114	197

Источник: расчёты авторов с учётом ГОСТ 27577-2000-КПП, ГОСТ Р 52087-2018-СУГ.

но, иначе или срок окупаемости при создании АГЗС будет очень большим в связи с недостаточным спросом на услуги, или издержки поиска автомобилистами АГЗС будут являться барьером для развития рынка [11–13].

Развитие электромобильного транспорта в России также сопряжено с определёнными барьерами. В тех странах, где электромобили получили в данный момент массовое распространение, значительное количество собственников проживают в собственных домах, что позволяет заряжать электромобиль в гараже или на участке без особых затруднений. Согласно исследованиям, 88 % собственников электромобилей заряжают их дома, чаще всего ночью⁵. Если собственник электромобиля проживает в многоквартирном доме, то это становится значительным препятствием для подзарядки транспортного средства.

Ещё одним значительным барьером для развития электромобилей в России являются климатические условия. Низкая температура окружающей среды значительно ограничит

дальность хода на одной зарядке из-за снижения ёмкости аккумуляторной батареи и необходимости использования обогрева в автомобиле. Наоборот, при высокой температуре воздуха необходимо будет использовать кондиционер, что также быстро разрядит аккумуляторную батарею.

Развитие сети электрозарядных станций потребует значительных инвестиций. Частные компании не заинтересованы в развитии сети электрозарядных станций, так как данный рынок является низкомаржинальным⁶. Это означает, что развитие электрозарядной сети будет проводиться или за счёт государства, или потребуются предоставление различных мер государственной поддержки частным компаниям, что позволит повысить рентабельность инвестиций.

Вместе с тем, несмотря на неразвитость электрозарядной сети в России, количество электромобилей постепенно увеличивается. Согласно статистике аналитического агентства «Автостат», на 1 июля 2022 года в России было зарегистрировано 18,7 тысяч электромобилей, что составило 0,04 % от общего

⁵ Level Up: Electric Vehicle Owners with Permanently Installed Level 2 Chargers Reap Benefits from Their Investment, J. D. Power Finds, 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.businesswire.com/news/home/20210203005223/en/Level-Up-Electric-Vehicle-Owners-with-Permanently-Installed-Level-2-Chargers-Reap-Benefits-from-Their-Investment-J.D.-Power-Finds>. Доступ 01.03.2023.

⁶ Electric Car-Charging Business Is Doing Everything But Making Money. Bloomberg. [Электронный ресурс]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/ev-charging-industry-is-doing-everything-except-showing-a-profit>. Доступ 11.07.2023.

количества легковых машин в стране⁷. С целью увеличения рынка электромобилей государством была утверждена концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года. В концепции рассматриваются три основных сценария развития рынка электромобилей в России: инерционный, сбалансированный и сценарий ускоренного развития. Каждый из них прогнозирует увеличение производства и использования автомобилей на электричестве, а также развитие заправочной инфраструктуры.

В настоящее время в России работают различные программы⁸ поддержки перевода автотранспорта на газомоторное топливо или на использование электромобилей. Так, нормативный акт, принятый в 2012 году⁹, поставил целью стимулирование использования газомоторного топлива на транспорте в качестве альтернативного вида топлива, а также увеличение парка электромобилей. В июле 2020 года Правительство утвердило программу по субсидированию перевода транспортных средств на газомоторное топливо¹⁰. Согласно постановлению, 60 % стоимости переоборудования будет компенсироваться государством, а 30 % – компанией «Газпром газомоторное топливо». В итоге общая субсидия на переоборудование автомобиля составила 90 %. В данный момент ведётся обсуждение выделения Правительством бюджетных субсидий на развитие газозаправочной инфраструктуры КПП. Согласно проекту постановления планируется выделить на период 2023–2025 гг. 5,9 млрд. рублей¹¹. Со-

гласно проекту Генеральной схемы развития газовой отрасли Минэнерго РФ к 2035 году потребление газомоторного топлива в РФ должно достичь 13 млрд. м³.

С целью развития электромобилей государством также применяется ряд стимулирующих программ. Для электромобилей в отдельных регионах отменён транспортный налог¹², а с мая 2020 года по январь 2022 года действовала нулевая ставка¹³ импортной пошлины на электромобили. В отдельных регионах собственникам электромобилей предоставляется право на бесплатную парковку¹⁴ в городе. Вместе с тем, начиная с января 2022 года в РФ ввозная пошлина на электромобили составила 15 % от стоимости, что создаёт определённые препятствия для развития рынка импортируемых электромобилей, но направлено на поддержку развития собственного производства.

Стратегия России в отношении развития рынка электромобилей в настоящее время подразумевает постепенное, но уверенное увеличение их доли в структуре автотранспорта. Так, производство электромобилей в России в соответствии с Концепцией развития производства и использования электромобилей должно увеличиться до 44 000 единиц в 2025 году и до 217 000 единиц в 2030 году. Более того, к 2030 году производство электромобилей в России должно достичь 10 % от общего объёма производства автомобилей в стране. Также в России проводится политика, направленная на развитие инфраструктуры электрозарядных станций и уже к 2030 году планируется построить не менее 72 000 электрозарядных станций (против 529 электрозарядных станций в 2021 году)¹⁵.

⁷ Аналитическое агентство «Автостат». «В России числится почти 19 тысяч электромобилей». [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/news/52361>. Доступ 11.07.2023.

⁸ Субсидирование перехода автотранспорта на ГБО, а также финансовая помощь заводам, производящим гибридные ТС.

⁹ Распоряжение Минтранса РФ от 30 июля 2012 г. № НА-96-р «Об утверждении Методических рекомендаций по установке газобаллонного оборудования на колёсные транспортные средства, находящиеся в эксплуатации в Российской Федерации». [Электронный ресурс]: www.garant.ru/products/np. Доступ 11.07.2023.

¹⁰ Постановление Правительства Российской Федерации от 19 июня 2020 г. № 886. [Электронный ресурс]: <http://government.ru/news/39909/>. Доступ 11.07.2023.

¹¹ Правительство предложило выделить 6 млрд. рублей на газовые заправки в 2023–2025 годах // ИА «Интерфакс». [Электронный ресурс]: <https://www.interfax.ru/russia/873155/>. Доступ 11.07.2023.

¹² Транспортный налог-2020. Кто и почему может не платить // ИА «AUTONEWS». [Электронный ресурс]: <https://www.autonews.ru/news/5e745ec39a794727d794d4c5>. Доступ 11.07.2023.

¹³ Ввозную пошлину на электромобили обнулят для всего ЕАЭС, кроме России // «Ведомости» [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/auto/news/2022/03/18/914205-poshlinu-na-elektromobili-obnulyat>. Доступ 11.07.2023.

¹⁴ Официальный портал мэра и Правительства Москвы. [Электронный ресурс]: <https://parking.mos.ru/news/2770/>. Доступ 11.07.2023.

¹⁵ В России на 68 % увеличилось количество станций для зарядки электромобилей // «Комсомольская Правда». [Электронный ресурс]: <https://www.kp.ru/online/news/4522921>. Доступ 11.07.2023.



Проведение сценарного анализа перспектив применения альтернативных видов топлива в автомобильном транспорте

С целью проведения моделирования на первом этапе исследования строится прогноз потребления дизельного топлива и бензина на горизонте до 2035 года. Прогноз потребления данных видов топлива автотранспортом основывается на сценариях роста грузовых и пассажирских автомобильных перевозок. Предполагается, что грузовые перевозки осуществляются с использованием дизельного топлива, но без использования бензина, а легковые транспортные средства используют в качестве топлива бензин, так как доля легковых дизельных автомобилей в России составляет менее 6 %¹⁶.

В рамках исследования используется гипотеза, что со временем электромобили будут всё более активно заменять бензиновые легковые автомобили, а грузовые автомобили, использующие газомоторное топливо, частично заменят дизельные грузовые автомобили. Данная гипотеза является следствием существующих на сегодня технологических барьеров для массового использования газомоторного топлива в легковых автомобилях и электромобилей для перевозки грузов (при этом быстрое развитие технологий может в дальнейшем внести коррективы в данный сценарий).

С целью построения прогноза объёмов потребления дизельного топлива и бензина за основу был взят прогноз грузоперевозок и пассажирских перевозок до 2035 года Министерства транспорта РФ, содержащийся в Транспортной стратегии РФ¹⁷. В рамках исследования делается предположение, что темпы роста объёмов потребления бензина и дизельного топлива будут соответствовать темпам роста объёмов перевозок с учётом изменения уровня энергоэффективности автомобилей. Делается допущение, что темпы роста энергоэффективности одинаковы в регионах Российской Федерации, и на рассмат-

риваемом временном отрезке этот рост будет плавным и составит 1 % в год.

Прогноз основывается на фактических данных Росстата о поставках бензина и дизельного топлива (отгрузка бензинов/отгрузка дизельного топлива) и предполагает, что данные виды топлива не хранятся в резервуарах, а полностью потребляются в соответствующие периоды времени.

Далее делается прогноз потребления газомоторного топлива на основе сценария рынка газомоторного топлива Минэнерго России. Согласно последнему, к 2035 году уровень потребления природного газа автотранспортом достигнет 12,5 миллиардов кубических метров¹⁸. Авторами данного исследования предполагается, что с текущего уровня до указанного значения в 2035 году объёмы потребления будут расти линейно.

Подобным же образом строился прогноз роста количества электромобилей и потреблённой ими энергии. В качестве основы была использована утверждённая Правительством Российской Федерации Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года, которая была продлена до 2035 года с учётом среднегодового прироста. Далее на основе прогнозного количества электромобилей был сделан прогноз энергопотребления электромобилями. Для этой цели были использованы значения среднего потребления электроэнергии электромобилями в США¹⁹. На следующем шаге прогнозные объёмы потребления газомоторного топлива и электроэнергии были выражены в дизельном и бензиновом эквивалентах, что позволило оценить замещение их потребления в Российской Федерации.

Для расчёта потребностей в заправочных станциях, а именно в автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях, учитывался средний объём газомоторного топлива, отгружаемый одной из них за год. Прогнозное потребление газомоторного топ-

¹⁶ 15 % всех SUV в России – с дизельным двигателем» // ИА «Автостат». [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/news/49657/>. Доступ 11.07.2023.

¹⁷ Федеральное дорожное агентство РосАвтодор «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». [Электронный ресурс]: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>. Доступ 11.07.2023.

¹⁸ В России потребление газомоторного топлива к 2035 году вырастет до 12 млрд. м3 год // ИА ТАСС. [Электронный ресурс]: <https://tass.ru/ekonomika/17567893>. Доступ 11.07.2023.

¹⁹ Drive U. S. Summary Report on EVs at Scale and the US Electric Power System, 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/summary-report-evs-scale-and-us-electric-power-system-2019>. Доступ 11.07.2023.

лива делилось на это значение. Полученное прогнозное количество газозаправочных станций умножалось на среднюю стоимость АГЗС. Аналогично прогнозное количество электромобилей умножалось на соответствующий коэффициент для получения прогнозного количества зарядных станций быстрого и медленного типа. Затем число медленных и быстрых зарядных станций умножалось на стоимость первых и вторых.

В рамках исследования вычислялись также налоговые последствия от перехода к использованию грузовым транспортом газомоторного топлива. Для этой цели прогнозные объёмы дизельного топлива, которые предположительно не будут использованы вследствие перехода грузовых автомобилей на газомоторное топливо, умножались на ставку акцизов. Это позволило определить сумму акцизов, которые будут не дополучены в результате указанного перехода. Для расчёта недополученных средств в форме НДС объёмы дизельного топлива, которые, согласно прогнозу, не будут потреблены, умножались на коэффициент, отражающий объём дизельного топлива, получаемого из единицы объёма нефти. Далее полученный объём нефти умножался на ставку НДС. Схожим образом вычислялась сумма, которая предположительно будет недополучена государством в форме НДС и акцизов, в результате частичного перехода автомобилей от использования бензина к использованию электроэнергии.

В табл. 3 приведены основные показатели, используемые при моделировании.

В табл. 4 представлены основные результаты моделирования. Согласно проведённым оценкам, к 2035 году доля потребления газомоторного топлива в грузовом и специализированном транспорте составит около 34 %. С целью обеспечения необходимого уровня заправочной инфраструктуры к 2035 году потребуются построить около 2000 АГЗС. К 2035 году суммарные накопленные инвестиции для строительства АГЗС составят около 1,5 трлн рублей. В легковом транспорте к 2035 году количество электромобилей достигнет 2,1 млн единиц, а потребление электроэнергии составит около 2,6 млн тонн бензинового эквивалента или около 9 % от прогнозируемого потребления энергии легковым автомобильным транспортом. С целью обеспечения возможности подзарядки электротранспорта потребуются строительство

260 тысяч медленных и быстрых зарядных станций, а суммарные накопленные инвестиции составят около 1,2 трлн рублей.

Таким образом, с целью достижения целевых показателей, заложенных в Транспортной стратегии и Генеральной схеме развития газовой промышленности общие инвестиции за период 2023–2035 гг. в заправочную и зарядную инфраструктуру составят около 2,7 трлн рублей, что составляет около 13 % от прогнозируемых инвестиций в дорожное хозяйство, представленных в Транспортной стратегии. За счёт мультипликативного эффекта в экономике дополнительная добавленная стоимость для экономики Российской Федерации от строительства заправочной и зарядной инфраструктуры за период 2023–2035 гг. составит 3,6 трлн рублей, что окажет положительное влияние на экономику. При текущих ставках акцизных платежей на бензины и дизельное топливо и сохранении газомоторного топлива безакцизным товаром бюджет Российской Федерации начиная с 2030 года ежегодно будет недополучать около 100 млрд рублей.

С экологической точки зрения переход на газомоторное топливо к 2035 году позволит сократить выбросы парниковых газов на 5,5 млн тонн ежегодно. Суммарное сокращение выбросов парниковых газов на период 2023–2035 гг. составит 44,7 млн тонн углекислого газа (CO_2). Применение электромобилей позволит дополнительно сократить выбросы углекислого газа (CO_2) в 2035 году на 5,2 млн тонн с учётом выбросов от генерации электроэнергии при текущем топливном балансе.

Суммарное сокращение выбросов твёрдых частиц от перехода на газомоторное топливо и электромобили за период 2023–2035 гг. составит 5,7 тыс. тонн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании было проведено моделирование последствий для экономики и экологии от замещения продуктов нефтепереработки в автомобильном транспорте альтернативными источниками энергии.

Как показали результаты моделирования, для достижения целевых показателей, заложенных в Транспортной стратегии и генеральной схеме развития газовой промышленности, потребуются значительные инвестиции в газозаправочную и электро-



Таблица 3

Основные показатели, используемые при моделировании [составлено авторами]

Название переменной	Год			
	2021	2024	2030	2035
Грузовые автомобильные перевозки, млн тонн	5488	5906	6117	6300
Транспортная мобильность на автомобильном транспорте, км на человека в год	5345	9000	13200	14200
Потребление ДТ без замещения, тыс. тонн	40101	39598	38612	37819
Потребление бензинов без замещения, тыс. тонн	36437	59531	78693	77366
Потребление газомоторного топлива в дизельном эквиваленте, тыс. тонн	1005	2834	6491	9539
Количество легковых электромобилей, тыс.	18	76	1397	2089
Потребление электроэнергии в бензиновом эквиваленте, тыс. тонн	20	93	1723	2577
Стоимость АГЗС с учётом подключения, млн руб.	160			
Реализация газомоторного топлива на АГЗС в год, тыс. м ³	7200			
Стоимость медленной зарядной станции с учётом подключения, млн рублей	0,6			
Стоимость быстрой зарядной станции с учётом подключения, млн рублей	3,15			
Количество электромобилей на 1 электрозарядную станцию	10.0			
Доля медленных электрозарядных станций		0,691	0,69	0,548

зарядную инфраструктуру. Систематизация опыта стран, в которых активно применяются газомоторные автомобили и электромобили, показала, что государственная политика по стимулированию использования автомобилей на альтернативных источниках энергии должна проводиться одновременно с масштабным развитием сети заправочной и зарядной инфраструктуры. Для обеспечения уровня, необходимого для беспрепятственного использования газомоторных автомобилей и электромобилей, до 2035 года потребуется инвестировать в заправочную инфраструктуру порядка 2,5–3 трлн рублей, что составляет около 13 % от прогнозируемых инвестиций в дорожное хозяйство, представленных в Транспортной стратегии. Зарубежный опыт рекомендует распределять строительство сопутствующей инфраструктуры между государством и частными инвесторами. На начальном этапе оптимальная стратегия предполагает строительство необходимой инфраструктуры государством с целью формирования основ рынка. После создания основ для функционирования рынка приток частного капитала стимулируется за счёт

предоставления различных видов государственной поддержки, среди которых в мировой практике наиболее часто используются налоговые льготы. Данный механизм позволит гарантировать необходимый минимальный уровень рентабельности частным инвесторам на начальном этапе формирования рынка, когда спрос на услуги может быть недостаточным. При этом регуляторные основы для данного рынка должны быть зафиксированы на длительный период, что позволит снизить риски для частных инвесторов, связанные с возможными изменениями в законодательстве, которые могут оказать значительное влияние на рынок (например, законодательно утвердить нулевые акцизы на газомоторное топливо на ближайшие десять лет). Инвестиции в сопутствующую инфраструктуру за счёт мультипликативного эффекта позволят увеличить валовую добавленную стоимость на 3,6 трлн рублей, что окажет положительное влияние на экономику и отчасти позволит компенсировать предоставление налоговых льгот частным компаниям и выпадающие поступления в бюджет от сокращения акцизных платежей на нефтепродукты и НДС на нефть.

Таблица 4

Результаты моделирования [выполнено авторами]

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Потребление газомоторного топлива (в единицах дизельного эквивалента), тыс. тонн	1615	2224	2834	3444	4053	4663	5272	5882	6491	7101	7710	8320	8930	9539
Потребление электричества автомобильным транспортом (в единицах бензинового эквивалента), тыс. тонн	20	57	93	152	247	401	652	1059	1723	1894	2064	2235	2406	2577
Величина общих инвестиций в инфраструктуру, млн руб.	29430	60650	58662	91896	96420	135009	157109	216736	281768	269298	326579	321084	372088	372242
Размер государственных субсидий, млн руб.	5759	10442	10144	15167	15846	21634	24949	33893	43648	41834	50426	49601	57252	57275
Снижение величины акцизных платежей, млн руб.	15712	22929	30684	37855	45570	54172	64214	76599	92793	101643	110493	119343	128194	137044
Дополнительная ВДС за счёт мультипликативного эффекта, млн руб.	38259	78845	76261	119465	125346	175512	204241	281757	366299	350087	424553	417409	483714	483915
Сокращение выбросов CO ₂ , тыс. тонн	965	1388	1809	2275	2815	3473	4325	5493	7173	7865	8557	9249	9941	10633
Сокращение выбросов твёрдых частиц, кг	109767	152127	194451	237483	281666	327722	376823	430874	492975	539557	586138	632719	679300	725882





С точки зрения экологии переход автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии не позволит значительно сократить выбросы парниковых газов. В масштабах государства годовое сокращение выбросов к 2035 году составит около 0,5 % от всех выбросов парниковых газов без учёта сельского хозяйства и земледелия. С точки зрения здравоохранения положительный эффект будет заключаться в сокращении выбросов твёрдых частиц в атмосферу, что особенно актуально в крупных городах, так как твёрдые частицы провоцируют онкологические заболевания.

С учётом вышесказанного можно сделать вывод, что перевод автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии не окажет значимого влияния на сокращение выбросов парниковых газов, а с учётом высокой токсичности для человека тяжёлых металлов, которые применяются в аккумуляторных батареях, может привести и к негативным последствиям. Положительные эффекты от перевода на альтернативные виды энергии будут заключаться не в экологических аспектах, а в экономических.

Во-первых, перевод автомобильного транспорта на альтернативные источники энергии при условии создания заправочной и зарядной инфраструктуры позволит сократить транспортные издержки, так как затраты на газомоторное топливо и электричество на 100 км пробега значительно ниже.

Во-вторых, за счёт мультипликативного эффекта будут созданы дополнительные точки роста для экономики за счёт строительства сопутствующей инфраструктуры и внедрения новых технологий.

В-третьих, максимизация использования газомоторного топлива позволит увеличить потребление природного газа, что также окажет положительное влияние на экономику, так как недопотреблённые объёмы нефтепродуктов можно будет экспортировать на внешние рынки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Benbrahim-Tallaa, L. [et al]. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. The Lancet Oncology, 2012, Vol. 13, No. 7, pp. 663–664. DOI: 10.1016/S1470-2045(12)70280-2.
2. Loomis, D. [et al]. Carcinogenicity of benzene. The Lancet Oncology, 2017, Vol. 18, No. 12, pp. 1574–1575. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X).
3. Sujith, K. [et al]. The role of natural gas and biomethane in the transport sector. Report for Transport and Environment, Ricardo Energy & Environment, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2016_02_TE_Natural_Gas_Biomethane_Study_FINAL.pdf. Доступ 11.07.2023.
4. Nealer, R., Hendrickson, T. P. Review of Recent Lifecycle Assessments of Energy and Greenhouse Gas Emissions for Electric Vehicles. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2015, 2 (3), 2, pp. 66–73. DOI: 10.1007/s40518-015-0033-x.
5. Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C., Gallagher, K. G. The significance of Li-ion batteries in electric vehicle lifecycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. Energy Environ Sci., 2014, Vol. 8 (1), pp. 158–68. DOI: 10.1039/C4EE03029J.
6. Huang, B. [et al]. Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. Journal of Power Sources, 2018, Vol. 399, pp. 274–286. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2018.07.116.
7. Harper, G. [et al]. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Nature, 2019, Vol. 575, No. 7781, pp. 75–86. DOI: 10.1038/s41586-019-1682-5.
8. Yeh, S. An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. Energy Policy, 2007, Vol. 35, No. 11, pp. 5865–5875. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.06.012.
9. Janssen, A. [et al]. Model aided policy development for the market penetration of natural gas vehicles in Switzerland. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2006, Vol. 40, No. 4, pp. 316–333. DOI: 10.1016/j.tra.2005.06.006.
10. Hagos, D. [et al]. A state-of-the art review on the development of CNG/LNG infrastructure and natural gas vehicles (NGVs). Technical report FutureGas project – WP3 Gas for transport, 2018. [Электронный ресурс]: https://futuregas.dk/wp-content/uploads/2018/08/FutureGas-WP3-Deliverable_Task-3.1.1_Review-natural-gas-vehicles_Final-002.pdf. Доступ 01.03.2023.
11. Wang, H. [et al]. Development of natural gas vehicles in China: An assessment of enabling factors and barriers. Energy Policy, 2015, Vol. 85, pp. 80–93. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.05.012.
12. Hao, H. [et al]. Natural gas as vehicle fuel in China: A review. Renewable and sustainable energy reviews, 2016, Vol. 62, pp. 521–533. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.015.
13. Khan, M. I. Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. Energy Policy, 2017, Vol. 110, pp. 126–136. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.08.017. ●

Информация об авторах:

Гордеев Дмитрий Сергеевич – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института прикладных экономических исследований Российской Академии народного хозяйства и Государственной службы при Президенте Российской Федерации (ИПЭИ РАНХиГС), Москва, Россия, gordeev@gaopera.ru.

Томаев Александр Олегович – научный сотрудник Института прикладных экономических исследований Российской Академии народного хозяйства и Государственной службы при Президенте Российской Федерации (ИПЭИ РАНХиГС), Москва, Россия, tomaev-ao@gaopera.ru.

Статья поступила в редакцию 11.05.2023, одобрена после рецензирования 29.09.2023, принята к публикации 06.10.2023.



Сравнительная оценка перспективности применения электромобилей на водородном топливном элементе



Александр ЛИМАРЕВ



Михаил ВОРОТНИКОВ

Александр Сергеевич Лимарев¹,
Михаил Юрьевич Воротников²

^{1,2}Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия.

✉ ² vorotnikov_1996@inbox.ru.

¹ Author ID: 492825, ORCID: 0000-0002-1499-4988.

² ORCID: 0000-0001-8206-9287.

АННОТАЦИЯ

Одним из основных загрязнителей окружающей среды на сегодняшний день является автомобильный транспорт. На его долю приходится более половины всех выбросов. В связи с этим набирает актуальность вопрос о разработке мероприятий по уменьшению воздействия автомобилей на окружающую среду. Существуют различные подходы, позволяющие решить этот вопрос, но наиболее перспективным направлением является применение электромобилей. При этом следует отметить, что нельзя говорить об их абсолютной экологической чистоте, поскольку косвенное воздействие на окружающую среду все-таки присутствует.

В работе рассматриваются перспективы использования и недостатки двух типов электромобилей – аккумуляторного и водородного.

В настоящее время производство электромобилей является более популярным направлением, что в значительной степени обусловлено развитием технологий в области производства аккумуляторных батарей. При этом не стоит полностью исключать и другие направления, такие как автомобили с водородным топливом. Такие автомобили отличаются хорошей экологичностью, что обуславливается

характером продукта сгорания и возможностью получения данного вида ресурса. Тем не менее, применение водорода в качестве топлива для ДВС является не актуальным. Более перспективным является разработка автомобиля с электрохимическим генератором. На сегодняшний день достаточно большое количество ведущих мировых автомобильных компаний ведут работы в этом направлении.

Рассматриваемые в работе электромобили имеют схожие по характеру выбросы вредных веществ, которые при равных условиях приближаются к нулю. Тем не менее, оба типа автомобиля оставляют «углеродный след», основной объем которого формируется при выработке электроэнергии и производстве водорода. В работе выполнена сравнительная оценка качественных характеристик, «углеродного следа» и эксплуатационных затрат электромобилей с различными типами питающих установок в российских условиях эксплуатации. Исходя из сравнения, выявлены основные достоинства и недостатки электромобилей. Предложены действия, позволяющие увеличить экологичность электромобилей и решить проблемы, затрудняющие их эксплуатацию.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, электромобиль, снижение выбросов, водородный транспорт, экологичность, сравнение.

Для цитирования: Лимарев А. С., Воротников М. Ю. Сравнительная оценка перспективности применения электромобилей на водородном топливном элементе // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 99–105. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-11>.

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

Парк автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) в регионах России возрастает. Данная категория автомобилей вырабатывает большое количество вредных выбросов, что отрицательно влияет на экологическую обстановку. Известно, что преобладающая часть всех выбросов приходится на автомобильный транспорт, поэтому наиболее остро данная проблема стоит в крупных городах [1]. Для решения этой проблемы возрастает актуальность вопроса разработки комплекса мероприятий, направленных на уменьшение выбросов от автомобилей. Большая часть ведущих автомобильных компаний заинтересована в решении данной проблемы. Например, Tesla Motors разработала собственные электромобили, а также совершенствует систему экологически чистых электрических заправочных станций, Toyota Motor Corporation преуспела в создании эффективных гибридных автомобилей и электромобилей [2, 3].

На рис. 1 представлены основные методы снижения воздействия автомобилей на окружающую среду.

Одним из наиболее перспективных методов уменьшения вредных выбросов от автотранспорта является применение электромобилей с различными источниками энергии – водородных и аккумуляторных. Это обусловлено тем, что электромобиль не имеет прямого воздействия на окружающую среду и количество выбросов зависит от способа добычи электроэнергии или водорода [4].

Следует отметить, что наблюдается существенный рост популярности работы над электромобилями среди автопроизводителей. В значительной степени это обусловлено научными достижениями в области хранения электроэнергии, а именно – улучшением показателей ёмкости и ресурса аккумуляторных батарей [5].

Также стоит отметить возможность применения водорода в качестве топлива для автомобиля. Водород, прежде всего, отличается своей экологичностью, поскольку продуктом сгорания является водяной пар, кроме того, из-за его сущности он относится к возобновляемым ресурсам. Эти две характеристики являются его главными достоинствами.

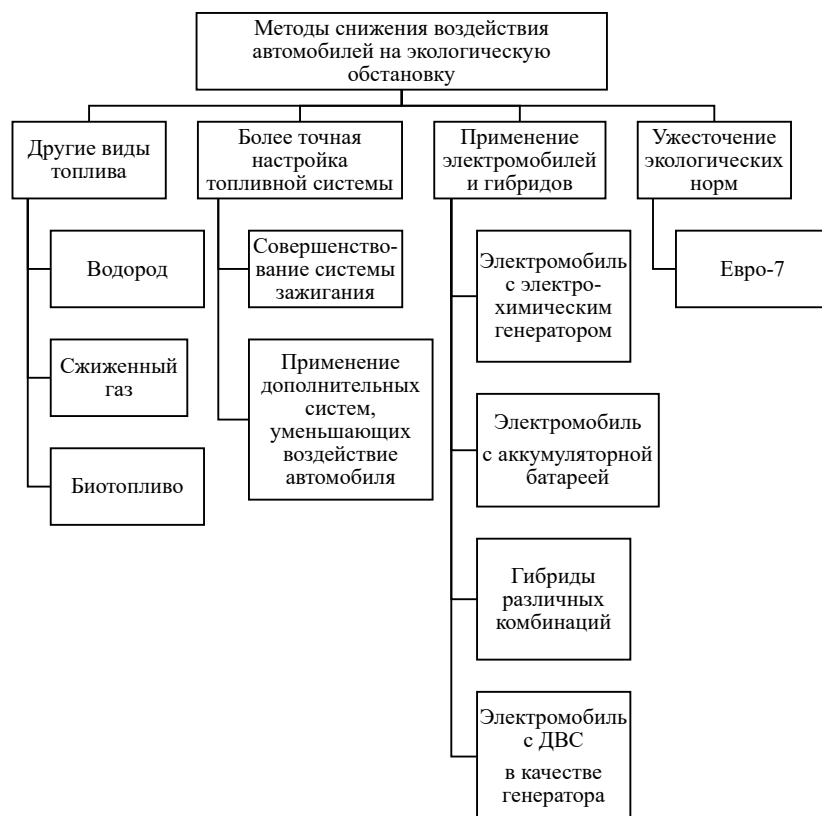


Рис. 1. Методы снижения воздействия автомобилей на окружающую среду [выполнено авторами].

Использование водорода в автомобильном транспорте осуществляется двумя способами [6]:

1. Путём сжигания в камере сгорания;

2. В качестве топливного элемента: водород направляется в электрохимический генератор, где преобразовывается в электрическую энергию для питания электродвигателя.

ДВС на водородном топливе имеет мало отличий от аналога на бензиновом топливе, но в ходе его эксплуатации возникает ряд сложностей:

– водород более энергоёмкий и имеет большую теплоту сгорания, которая почти в три раза больше бензина, из-за чего на повышенных оборотах происходит перегрев деталей двигателя, моторного масла и детонация;

– при этом, так как водород имеет хорошие характеристики на низких оборотах, для решения вышеуказанной проблемы применяется бензиново-водородная смесь. В этом случае концентрация газа уменьшается по мере увеличения оборотов двигателя, что приводит к падению мощностных и динамических показателей автомобиля [7].

Исходя из вышесказанного, применение водорода в качестве топлива для ДВС является не актуальным, поэтому наиболее перспективной является разработка автомобиля с электрохимическим генератором. Принцип его действия идентичен принципу функционирования электромобилей, питающихся от сети; главное отличие заключается в методе образования электроэнергии. В электромобилях с водородным топливным элементом энергия вырабатывается в процессе физико-химической реакции, происходящей непосредственно в силовом агрегате.

Большое количество ведущих мировых автомобильных компаний занимается разработками и проектированием более эффективных электромобилей. Так, компания Toyota в 2015 году представила водородный электромобиль Toyota Mirai. В данном автомобиле электроэнергия вырабатывается в генераторе за счёт взаимодействия водорода с кислородом. Автомобиль оснащён тяговым синхронным электродвигателем, который питается не только от топливных элементов, но и от никель-металлгидридной аккумуляторной батареи, которая подпитывается за счёт рекуперации энергии торможения [8].

Компания Tesla оснащает свои электромобили асинхронным электрическим двигателем, инвертором и блоком литий-ионных аккумуляторных батарей, зарядка которых производится от внешнего источника, либо от рекуперации энергии торможения. Работа силовой установки заключается в преобразовании постоянного тока от аккумуляторных батарей в переменный трёхфазный для питания электродвигателя, данную задачу выполняет инвертор [9].

Вследствие вышесказанного становится актуальным сравнение качественных характеристик электромобилей на водородном топливном элементе и аккумуляторной батарее в российских условиях эксплуатации.

Таким образом, *целью* исследования, изложенного в работе, является сравнительный анализ перспективности использования и недостатков двух типов электромобилей – аккумуляторного и водородного.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение рисков при эксплуатации. На данный момент в аккумуляторных электромобилях устанавливается литий-ионный аккумулятор, в котором при повреждении одной из ячеек возникает вероятность короткого замыкания, из-за чего воспламеняется электролит, что приводит к пожару. Потушить такой аккумулятор не представляется возможным: придётся ждать, пока электролит полностью не выгорит.

В электромобиле на водородном топливном элементе основную опасность представляет ёмкость со сжатым (сжатый) водородом, находящаяся под давлением в 700 атмосфер (вследствие химических свойств водорода у него самая низкая температура сжижения и плотность). На данный момент топливные баки изготавливают из углепластиковых материалов, лишенных возможности выброса осколков при повреждении ёмкости, что делает данный вид транспорта наиболее безопасным.

Сравнение «углеродного следа». Рассматриваемые в работе электромобили имеют схожие по характеру выбросы вредных веществ, которые при равных условиях приближаются к нулю. Тем не менее, оба типа автомобиля оставляют «углеродный след», основной объём которого формируется при выработке электроэнергии и производстве водорода.





Рис. 2. Мировое производство электроэнергии [12].

Анализ статистических данных показал, что порядка 26 % загрязняющих воздух выбросов приходится на энергетическую отрасль, поэтому рационально рассмотреть экологический эффект от электромобилей, учитывая выброс от выработки электроэнергии [10].

По данным международного энергетического агентства, на долю теплоэлектростанций приходится порядка 60 % от всей вырабатываемой электроэнергии, получаемой путем сжигания углеродных ископаемых: угля, газа, мазута (рис. 2). Следует отметить, что такой способ выработки электроэнергии оказывает наибольшее влияние на экологическую обстановку и является самым «грязным». Порядка 19 % электричества добывается на гидроэлектростанциях, которые в свою очередь, способствуют разрушению экосистемы в местах её дислокации [11]. Атомные электростанции вырабатывают 17,5 % электроэнергии от общего количества, а на долю электростанций, вырабатывающих электроэнергию за счёт альтернативных ис-

точников энергии, приходится порядка 1,5 %.

Следует отметить, что для получения более достоверных результатов при проведении расчётов необходимо учитывать основные компоненты, которые применяются для производства водорода. На сегодняшний день в качестве сырья для производства водорода преобладают углеводороды (рис. 3) [13]:

- 69 % – природный газ;
- 15 % – нефть;
- 11 % – уголь;
- 5 % – электролиз воды.

Кроме того, полученный водород бывает трёх типов [15]:

1. «Серый» – водород, произведённый посредством паровой конверсии метана. «Углеродный след» составляет 10 кг CO_2 на произведённый 1 кг H_2 . Себестоимость при производстве составляет 60–100 рублей.

2. «Голубой» – технология получения водорода полностью соответствует технологии производства «серого» водорода. Главное отличие заключается в технологии улавливания и хранения углекислого газа. Стоимость

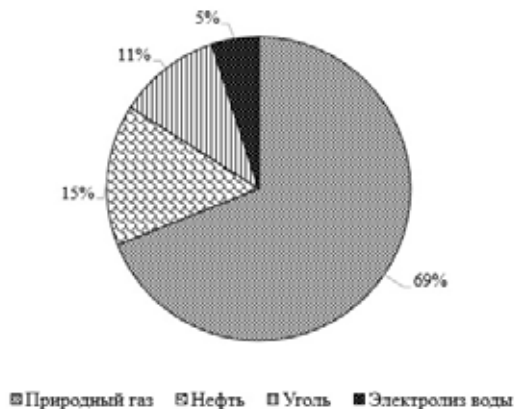


Рис. 3. Сырьё для производства водорода [14].

Таблица 1

Результаты оценки образования «углеродного следа» от электромобиля с аккумуляторной батареей и электромобиля с водородным электрохимическим двигателем [выполнено авторами]

Выброс при различных типах энергетической системы	Пробег электромобилей, тыс. км					
	50		100		200	
	Аккумулятор	H ₂	Аккумулятор	H ₂	Аккумулятор	H ₂
Российские условия эксплуатации, т	7	3,750	14	7,5	28	15
Ветроэнергетика и зелёный водород, т	1	0,01	2	0,02	4	0,04

возрастает до 150 рублей за килограмм водорода.

3. «Зелёный» – производится посредством электролиза воды при помощи энергии, полученной от возобновляемых источников энергии. Это наиболее предпочтительный метод получения при декарбонизации, так как «углеродный след» стремится к нулю. Недостатком является высокая стоимость производства, достигающая 1000 рублей за килограмм водорода.

Таким образом, любой тип электромобиля оставляет так называемый «углеродный след», который характеризуется количеством выбросов на стадии производства и эксплуатации транспортного средства и топлива для него. Поэтому с целью определения степени влияния электромобиля, с различными типами энергетической установки, стоит сравнить образование «углеродного следа» для электромобиля с аккумуляторной батареей и электромобилей на водородном топливном элементе в моменте эксплуатации транспортных средств, учитывая выброс при производстве топлива и самого электромобиля.

Для оценки степени воздействия электромобилей на окружающую среду были произведены расчёты, учитывающие КПД силовых установок, а также КПД преобразования энергетических носителей в топливо [16]. Эксплуатация аккумуляторного электромобиля на протяжении 200 тыс. км при использовании смешанных источников энергии вырабатывает выброс равный 23 тоннам эквивалента углекислого газа. При том же пробеге, если использовать только альтернативные источники энергии, выброс составит 0,4 тонны эквивалента [17].

Средний расход водорода электромобилем на водородном топливном элементе составляет 1 кг H₂/100 км². исходя из этого можем рассчитать выброс эквивалента углекислого газа, усреднив показания выброса при различных типах добычи водорода.

В табл. 1 представлены результаты оценки образования «углеродного следа» электромобилями с аккумуляторной батареей и на водородном топливном элементе в моменте эксплуатации транспортных средств. Также, можем заметить, что общий «углеродный след» в российских условиях эксплуатации от электромобиля на водородном топливном элементе ниже, чем у аккумуляторного электромобиля почти в два раза. Стоит отметить, что при использовании наиболее чистого способа добычи топлива для силовой установки выброс при производстве водорода стремится к нулю.

Эксплуатационные затраты. Проведём расчёт эксплуатационных затрат для электромобилей с аккумуляторной батареей и электромобилей с электрохимическим водородным двигателем.

Основой для движущей силы электромобиля является электроэнергия. Исходя из этого, для электромобиля с аккумуляторной батареей расчёт сводится к определению стоимости кВт•ч., а для водородного электромобиля к стоимости 1 кг водорода.

Стоимость кВт•ч. рассчитываем на основе среднего значения домашнего тарифа по всем регионам Российской Федерации: средний дневной тариф – 3.45 руб./кВт•ч., средний ночной тариф – 1.68 руб./кВт•ч. [18]. Среднее значение дневного и ночного тарифа – 2,57 руб./кВт•ч. Также учтём, что средний расход электроэнергии составляет 15 кВт•ч/100 км. Кроме того, электромобиль сильно подвержен уменьшению запаса хода при низких температурах, примерно в два раза от идеальных условий; учтём, что таких дней в году 50 %.

В настоящее время на территории Российской Федерации эксплуатируется лишь одна водородная автомобильная заправочная станция (АЗС), стоимость одного килограмма водорода на которой обходится в 250 руб./кг [19].



Таблица 2

Эксплуатационные затраты на топливо для электромобиля с аккумуляторной батареей и электромобиля с водородным электрохимическим двигателем
[выполнено авторами]

Тип силовой установки	Пробег электромобиля, тыс. км					
	50		100		200	
	Аккумулятор	H ₂	Аккумулятор	H ₂	Аккумулятор	H ₂
Расходы на топливо, тыс. руб.	26,8	125	53,7	250	107,4	500

Общие затраты на топливо представлены в табл. 2.

Можем заметить, что расходы на топливо для аккумуляторного электромобиля почти в шесть раз ниже, чем для водородного, это связано с неразвитостью инфраструктуры для водородных электромобилей. На момент подготовки статьи на территории Российской Федерации существовала лишь одна водородная АЗС. Данный фактор прямо влияет на ценообразование, завышенная стоимость формируется из отсутствия логистики и постоянного спроса [20]. Аккумуляторный электромобиль, в свою очередь, проще обслуживать, так как даже при отсутствии развитой инфраструктуры зарядных станций, сохраняется возможность зарядить автомобиль с помощью общественных электросетей.

Выводы

Исходя из вышесказанного, оба типа электромобилей имеют собственные достоинства.

Водородный электромобиль по ряду факторов превосходит аккумуляторный:

– *Время заправки.* Время заправки водородом сравнимо со временем заправки обычного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, в отличие от аккумуляторного электромобиля, где данный интервал может достигать 12 часов, при низкой мощности зарядного устройства.

– *Безопасность.* Безопасность формируется из химических свойств водорода, его масса в 14,5 раз легче воздуха, как следствие в 14,5 раз выше диффузионные свойства, что позволяет ему быстро удалиться из негерметичного помещения или резервуара, не накапливаясь.

– *Экологичность.* «Углеродный след» от использования водородного электромобиля почти в два раза ниже в российских условиях эксплуатации. Также, при добыче водорода

методом электролиза воды «углеродный след» будет стремиться к нулю.

– *Отсутствие потребности в дополнительных подогревателях.* КПД водородного электромобиля составляет 55–60 %. За счёт реакции водорода с кислородом выделяется большое количество теплоты способное подогревать автомобиль, не затрачивая дополнительной энергии. В российских условиях эксплуатации это является весомым достоинством, так как при применении аккумуляторного электромобиля в холодное время года его запас хода уменьшается почти в два раза.

Вместе с тем имеются приведённые ниже недостатки водородного электромобиля и возможные способы их решения:

– *Отсутствие инфраструктуры для водородного транспорта.* При этом наиболее экономически выгодным способом транспортировки водорода является трубопроводное сообщение. На данный момент трубопровод лишён явления водородного охрупчивания, что даёт возможность беспрепятственно транспортировать водород данным способом.

– *Экологичность.* На данный момент 95 % водорода производят из ископаемого сырья. Решение данной проблемы сводится к решению проблемы удешевления производства и популяризации зелёного водорода для автомобильного транспорта.

Эффективность эксплуатации электромобилей в значительной степени определяется территорией использования. На основе проведенных расчетов установлено, что в условиях Российской Федерации электромобиль на водородном топливном элементе имеет преимущество перед аккумуляторным. В большей степени это обусловлено способом добычи электроэнергии, где более 60 % приходится на сжигание углеводородов. Главным недостатком водородного электромобиля является отсутствие широкой сети водородных заправок. Отсутствие необходимой инфраструктуры приводит к существенному

росту стоимости водорода и, как следствие, эксплуатации автомобилей.

Обобщая сказанное, отметим, что электромобиль является лишь инструментом, имеющим высокий потенциал, который обуславливается косвенным воздействием на окружающую среду в процессе создания самого транспортного средства и топлива для него, поэтому декарбонизация автомобильного транспорта будет увеличиваться по мере совершенствования незагрязняющих методов производства электроэнергии или водорода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грушников В. А. Разумная автомобилизация. Электромобили // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сб. – 2017. – № 4. – С. 47–52. EDN: XXXZHT.
2. Хамад И., Абдуллаев Э. Г., Бутов А. В. Применение инновационных технологий на примере компании Tesla // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2022. – Т. 2. – № 3 (123). – С. 199–206. DOI: 10.36871/ek.up.r.2022.03.02.022. EDN: HMFYWQ.
3. Usmanov U., Yuldoshev Q. State of the art of fuel cell technology in automotive industry // Universum: технические науки. 2022, Iss. 5–11 (98), pp. 33–40. DOI: 10.32743/UniTech.2022.98.5.13575. EDN: JPYCWQ.
4. Лимарев А. С., Мезин И. Ю., Воротников М. Ю., Зотов С. В. Улучшение динамической характеристики электромобиля за счет применения многоступенчатой коробки передач // Наука и техника транспорта. – 2022. – № 4. – С. 61–67. EDN: DEDEJM.
5. Юсупова О. А. О проблемах и перспективах развития рынка электромобилей в России // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сб. – 2022. – № 2. – С. 38–42.
6. Назметдинов Н. Р. Перспективы применения водородного топлива на автомобилях // Энергетика и автоматизация в современном обществе: Материалы V Международной научно-практ. конференции обучающихся и преподавателей. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 20 мая 2022 года / Под общей редакцией Т. Ю. Коротковой. Том Часть I. – СПб.: Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД, 2022. – С. 171–174. EDN: WQZVUE.
7. Keller, A. V., Karpukhin, K. E., Kolbasov, A. F., Kozlov, V. N. Analysis of hydrogen use as an energy carrier in transport. International conference on digital solutions for automotive industry, roadway maintenance and traffic control (DS ART 2020), 2022, 012087. EDN: BPBWUP.
8. Каширин В. А., Мищенко Е. В. Toyota Mirai и принцип действия водородного двигателя // Научно-практ. конференции факультета агротехники и энергообеспечения кафедры инженерной графики и механики. – 2017. – С. 159–163. EDN: ZSLQZT.

9. Ларин В. Tesla-электромобиль // Энергия: экономика, техника, экология. – 2016. – № 1. – С. 69–72. EDN: VWHQQH.

10. Dyvak, M., Darmorost, I., Shevchuk, R. [et al]. Correlation analysis traffic intensity of the motor vehicles and the air pollution by their harmful emissions. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 855–858. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336331. EDN: YBSWRN.

11. Лагерева А. В., Ханаева В. Н. Возможные направления снижения выбросов парниковых газов от электростанции в России до 2050 г. // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2010. – № 1. – С. 50–58. EDN: KZDWMH.

12. Поспелов В. К., Чувахина Л. Г., Миронова В. Н. Современные тренды глобальной энергетической политики. – М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2022. – 220 с. ISBN 978-5-907497-59-7.

13. Белый Ю. И., Терегулов Т. А. Водородная энергетика: преимущества и недостатки // Вопросы философии. – 2016. – № 12. – С. 8. [Электронный ресурс]: <https://scientificjournal.ru/images/PDF/2016/VNO-24/vodorodnaya-energetika-preimushchestva-i-nedostatki.pdf?ysclid=lp9lm144li339240672>. Доступ 25.05.2023.

14. Прокопенко А. Н., Смирнов А. А. Производство водорода из углеводородного сырья для энергетических целей // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Технические науки. – 2010. – № 8. – С. 26–33. EDN: NCDSVR.

15. Лесюкова В. В. Характеристики водорода как топлива и накопителя энергии // Тинчурунские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». – 2021. – С. 528–531. EDN: INFIQK.

16. Лимарев А. С., Сомова Ю. В., Коваленко А. О., Очкова Е. А., Акманова З. С. Анализ возможностей снижения экологического воздействия автомобилей на окружающую среду // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т. 6. – № 1. – С. 47–50. EDN: XHSDSP.

17. Лимарев А. С., Мезин И. Ю., Воротников М. Ю., Сомова Ю. В., Москвина Е. А. Электромобиль как перспектива снижения воздействия на окружающую среду // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сб. – 2022. – № 8. – С. 55–59. EDN: VOAYNK.

18. Воротников М. Ю., Лимарев А. С., Мезин И. Ю. Сравнение эксплуатационных расходов электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 10. – С. 50–53. EDN: RJDKHU.

19. Филимонова А. А., Чичириков А. А., Чичирова Н. Д., Разакова Р. И. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 104–115. EDN: AZKNEE.

20. Тимергазин А. Р., Щелудяков А. М. Автомобильный транспорт с водородными топливными элементами // Master's Journal. – 2022. – № 1. – С. 111–118. EDN: OHUUQS.

Информация об авторах:

Лимарев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, aslimarev@mail.ru.

Воротников Михаил Юрьевич – студент Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, vorotnikov_1996@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 28.02.2023, одобрена после рецензирования 27.05.2023, принята к публикации 02.06.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.2:665.73:621.43:504

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>

Выбросы загрязняющих газов (CO и CO_2) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания



Яриан РЕЙЕС СУАРЕС



Валентин БАЛАБИН



Яной Морехон МЕСА

Яриан Рейес Суарес¹, Валентин Николаевич Балабин², Яной Морехон Меса³

¹ Гаванский аграрный университет, Майябеке, Куба.

² Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ yarianrs@gmail.com.

✉ ² vbbn2347@gmail.com.

✉ ³ ytm@unah.edu.cu.

АННОТАЦИЯ

Цель этого исследования – оценка выбросов загрязняющих газов (CO и CO_2) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания. Эксперименты проводились в двигательной лаборатории Факультета технических наук Аграрного университета Гаваны (УНАХ) с использованием двигателя модели JASTO. Чтобы определить количество токсичных газов, выбрасываемых в атмосферу (CO_2 и CO), было предложено сбалансировать уравнение сгорания для различных оцениваемых смесей с учетом установленных коэффициентов избытка воздуха.

Анализ процесса сгорания топлива на основе смесей 10-, 20-, 30-процентного этанола с гидратацией (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) и обычного бензина категории В-85 для богатых смесей ($\alpha = 0,85$) и для бедных смесей ($\alpha = 1,15$) показал, что выбросы вредных веществ CO_2 и CO в атмосферу снижаются до 17 % при использовании рассматриваемых смесей по сравнению с бензином. Несмотря на то, что при этом удельный расход смесей выше, чем бензина, достигается существенный экологический эффект.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, двигатель внутреннего сгорания, загрязняющие газы, бензин, смеси, этанол, топливо, сжигание

Для цитирования: Рейес Суарес Я., Балабин В. Н., Морехон Меса Я. Выбросы загрязняющих газов (CO и CO_2) при использовании топливных смесей (этанол-бензин) в двигателях внутреннего сгорания // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 106–110. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач на сегодня является уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу в процессе горения топлива, в том числе, в транспортных средствах.

В настоящее время 40 % от общего потребления энергии приходится на ископаемое топливо, и более 90 % этого потребления приходится на транспортный сектор [1; 2] Поэтому необходимо повысить экологическую эффективность устройств, основанных на сжигании этих видов топлива, и снизить их вредное воздействие [3].

Проведённый анализ показал, что при работе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на природном газе, выбросы CO₂ уменьшаются на 23–38 %. При работе ДВС на природном газе, смешанном с синтез-газом, полученным из основного топлива, выбросы CO₂ в атмосферу могут быть сокращены на 52 % за счёт снижения токсичности выхлопных газов до требуемого уровня [4–7].

Еще одним из способом решения проблемы уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу является использование биотоплива, которое в определённых объёмных пределах можно комбинировать с традиционным «ископаемым» топливом и использовать в существующих энергетических системах, таких как двигатели легковых и грузовых автомобилей [8].

В целях определения количества выбрасываемых загрязняющих газов в атмосферу при использовании топливных смесей (этанол-бензин) авторами проводились исследования, позволившие получить количественные показатели токсичных газов (CO₂ и CO) и затем сравнить их со сходными параметрами, получаемыми при использовании традиционного топлива (бензина).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика исследования

Чтобы определить количество CO₂ и CO, выбрасываемых при использовании различных смесей в процессе сжигания, была использована методология, основанная на работах ряда авторов [9, С. 351–399; 10; 11, С. 232–282; 12; 13], в соответствии с которой было необходимо:

– установить коэффициенты избытка используемого воздуха (количество подаваемого воздуха α) в различных тестируемых смесях;

– определить количество вещества в горючей смеси (этанол-бензин или чистый бензин), участвующего в процессе горения, это можно определить по выражению (1) ниже;

– сбалансировать химическое уравнение сгорания для различных тестируемых смесей с учётом установленных коэффициентов избыточного воздуха (α), например:
для α = 1,5, $x C_7 H_{17} + y O_2 + z N_2 \leftrightarrow m H_2 O + n CO_2 + w O_2 + l N_2$,
для α = 0,85, $x C_7 H_{17} + y O_2 + z N_2 \leftrightarrow m H_2 O + n CO_2 + w CO + l N_2$,
где x, y, z, n, m, w и l – количество вещества в каждом веществе (кмоль).

– После выполнения балансировки химического уравнения для случаев, когда коэффициент избытка воздуха отличается от единицы α = 1, указанный коэффициент умножается на количество вещества в компонентах воздуха в реагентах (O₂; N₂), при этом изменяется количество вещества, выделяющегося в продуктах сгорания.

Для определения количества вещества в горючей смеси (n) использовалась формула:
 $n = M / \mu_c$, кмоль, (1)
где μ_c – молекулярная масса топлива, кг/кмоль (табл. 1);

M – масса топлива, кг, которая определяется выражением (2):
 $M = \rho \cdot G_h$, кг, (2)
где ρ – плотность горючей смеси, кг/л (табл. 2);

G_h – ежечасный расход топливной смеси, л / ч.

Для определения расхода топлива бралось по одному литру каждой смеси и с помощью

Таблица 1
Молекулярная масса веществ, участвующих в процессе сгорания*

Элементы	Номенклатура	Молекулярная масса, кг/кмоль
Бензин	C ₇ H ₁₇	101
Этанол-Бензин	C ₉ H ₂₃ O	147
Диоксид кислорода	O ₂	32
Вода	H ₂ O	18
Динитроген	N ₂	28
Окись углерода	CO	28
Углекислый газ	CO ₂	44

* PLANETCALC: Онлайн калькуляторы; Молярная масса соединений; Copyright © PlanetCalc. Версия: 3.0.4240.0; 2023. https://planetcalc.ru/329/?language_select=ru.



Таблица 2

Плотность топливной смеси [выполнено авторами]

Топливо	Этанол	Бензин	Этанол 10 % + Бензин	Этанол 20 % + Бензин	Этанол 30 %+ Бензин
Плотность, кг/л	0,789	0,680	0,789	0,7018	0,7073



Рис. 1. Цифровой секундомер с точностью ±0,01 с.

Таблица 3

Ежечасный расход топливной смеси
[выполнено авторами]

Топливо	Удельный часовой расход топливной смеси, при различных значениях α , л/ч	
	$\alpha=0,85$	$\alpha=1,15$
E-0	0,675	0,667
E-10-ЕН95 %	0,716	0,783
E-10-ЕН90 %	0,774	0,837
E-10-ЕН85 %	0,861	1,029
E-10-ЕН80 %	0,921	0,994
E-20-ЕН95 %	0,779	0,923
E-20-ЕН90 %	0,911	0,986
E-20-ЕН85 %	0,968	1,020
E-20-ЕН80 %	1,032	1,169
E-30-ЕН95 %	0,828	0,986
E-30-ЕН90 %	0,970	1,029
E-30-ЕН85 %	1,037	1,078
E-30-ЕН80 %	1,118	1,250

секундомера с точностью ±0,01 с (рис. 1) определялось время, за которое этот литр был израсходован.

Экспериментальные исследования

Эксперименты проводились в Двигательной лаборатории Факультета технических наук Гаванского аграрного университета (УНАХ). Использовался одноцилиндровый

двигатель модели JASTO. Анализ процесса сгорания проводился на основе смесей 10-, 20-, 30-процентного этанола и обычного бензина категории В-85 (Е-10, Е-20 и Е-30). Перед сжиганием определяли степень гидратации этанола (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) и тип смешивания. Исходя из того, что стехиометрическая гоппливая смесь называется богатой при $\alpha < 1$ и бедной при $\alpha > 1$, богатая смесь использовалась при $\alpha = 0,85$, бедная смесь при $\alpha = 1,15$.

Используемый двигатель имеет эффективную мощность 1,2 кВт, частоту вращения – 580 об/мин, объём камеры сгорания – 34 см³.

Были приготовлены следующие смеси: 10 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (Е-10-ЕН-95 %); 10 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (Е-10-ЕН-90 %); 10 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (Е-10-ЕН-85 %); 10 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (Е-10-ЕН-80 %); 20 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (Е-20 -ЕН-95 %); 20 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (Е-20-ЕН-90 %); 20 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (Е-20-ЕН-85 %); 20 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (Е-20-ЕН-80 %); 30 % этанол с гидратацией 95 % + бензин (Е-30-Э-95 %); 30 % этанол с гидратацией 90 % + бензин (Е-30-ЕН-90 %); 30 % этанол с гидратацией 85 % + бензин (Е-30-ЕН-85 %) и 30 % этанол с гидратацией 80 % + бензин (Е-30-ЕН-80 %).

В табл. 3 приведены результаты расхода топлива для каждой из смесей и для бензина (Е-0). Замечено, что с увеличением концентрации этанола и степени его гидратации расход топлива увеличивается на 0,583 л/ч. К тому же в смесях при $\alpha = 1,15$ увеличивается расход топлива, так как в смеси содержится больше воздуха, и топливо сгорает быстрее.

Экологический анализ по результатам экспериментов

В отношении топлива (в расчёте на 1 кг), использованного в процессе сгорания для богатых смесей с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 0,85$, получен график (рис. 2), который позволяет наблюдать выбросы CO₂ и СО для различных исследуемых смесей.

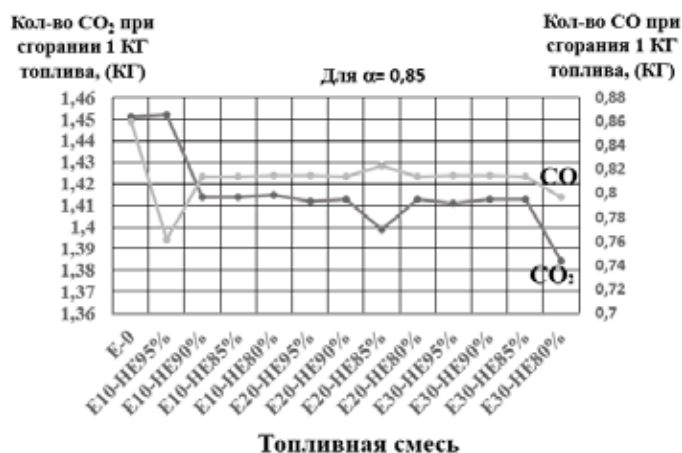


Рис. 2. Количество CO₂ и CO, выбрасываемых в окружающую среду в процессе сгорания, для богатых смесей [выполнено авторами].

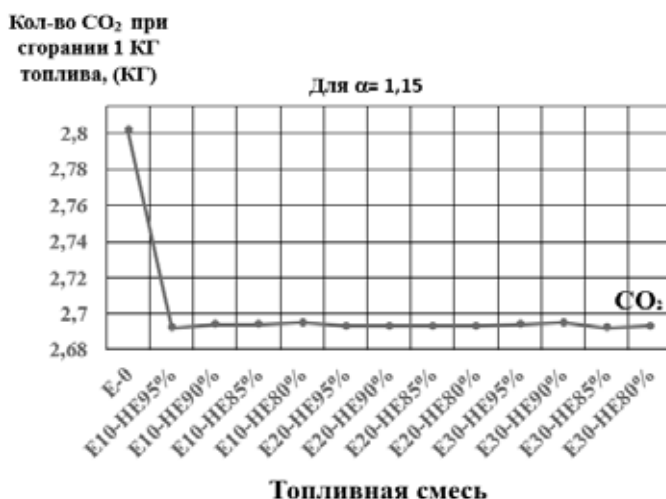


Рис. 3. Количество CO₂, выбрасываемого в окружающую среду при сгорании бедных смесей [выполнено авторами].

На приведенном выше графике показано количество диоксида углерода (CO₂) и монооксида углерода (CO), выбрасываемых в окружающую среду в результате сгорания различных исследуемых смесей при $\alpha = 0,85$. Как можно видеть, при использовании этанол-бензиновых смесей наибольшее количество CO₂ выделяется в смеси E-10-ЕН-95 %, достигая значения 1,452 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,001 кг больше, чем при использовании бензина (E-0).

В остальных смесях получены значения ниже, чем у E-0 и E-10-ЕН-95 %. Например, значения, находящиеся в диапазоне от 1,384 кг (смесь E-30-ЕН-80 %) до 1,412 кг (смесь E-20-ЕН-95 %), показали результаты ниже E-0 на 0,067 кг и 0,039 кг соответственно.

С другой стороны, наибольшее количество CO, выбрасываемого на 1 кг использованного топлива, было зафиксировано при исполь-

зовании бензина E-0 (0,860 кг), за которым следует смесь E-20-ЕН-85 % (0,823 кг). Определено, что использование смеси E-10-ЕН-95 % наиболее экологично, выбросы достигают наименьших значений (0,762 кг).

Если принять во внимание оба газа (CO и CO₂), смесью с наименьшими выбросами будет E10-ЕН95 %.

Аналогичным образом был проведен анализ газов при сжигании бедных смесей с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,15$, в результате чего был получен график, представленный на рис. 3.

Таким образом, на рис. 3 показаны количества углекислого газа (CO₂), выбрасываемые в окружающую среду при сгорании различных исследуемых смесей при $\alpha = 1,15$. Как можно видеть, при использовании этанол-бензиновых смесей наименьшее количество CO₂ выделяется при использовании смесей





Е-10-ЕН-95 % и Е-30-ЕН-85 %, достигая значения 2,692 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,11 кг меньше, чем у Е-0. В то же время в остальных смесях показатели были ниже, чем у Е-0, приобретая значения от 2,693 кг до 2,695 кг.

ВЫВОДЫ

В работе удалось подтвердить, что использование биотоплива снижает выброс токсичных газов (CO_2 и CO) в атмосферу, способствуя защите окружающей среды и, следовательно, улучшению жизни человека, что согласуется с различными исследованиями по этому вопросу [5; 14].

В частности:

1. Для богатых смесей наибольшее количество CO_2 выделяется при использовании смеси Е-10-ЕН-95 %, достигая значения 1,452 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,001 кг больше, чем при использовании бензина (Е-0), для остальных смесей были получены результаты ниже, чем для Е0, на 0,067–0,039 кг выброса CO_2 .

2. Для богатых смесей наименьшее количество CO , выделяемого на 1 кг использованного топлива, было достигнуто при использовании Е-10-ЕН95 % со значением 0,762 кг.

3. Для бедных смесей наименьшее количество CO_2 выделяется в смесях Е-10-ЕН-80 % и Е-30-ЕН-90 %, достигая значения 2,692 кг на килограмм сжигаемого топлива, что на 0,11 кг меньше, чем у Е-0, в то время как в остальных смесях значения были на 2,693–2,695 кг ниже, чем у Е-0.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Martins, F., Felgueiras, C., Smítková, M., Caetano, N. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, 2019, Vol 12, Iss. 6, 964. DOI: 10.3390/en12060964.
2. Алиева А. В., Ахмедханова З. Б., Белов А. В., Гаджиханов А. С. Определение основных показателей техногенного воздействия при ликвидации шахт добычи твердого ископаемого топлива и устойчивости экологического состояния окружающей среды // *Науки о Земле*. – 2017. – № 3 (32). – С. 37–45. [Электронный ресурс]: <http://csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2017-3-04&ysclid=ineo1tlpnk954171432>. Доступ 28.04.2023.

3. Бегалы З. Д., Рыспаева М. Ж. Исследование образования продуктов реакции при горении жидкого топлива различной массы // *Молодой учёный*. – 2022. – № 2 (397). – С. 30–32. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47703877&ysclid=ineo4v272d672406209>. Доступ 28.04.2023.

4. Баранов М. Е., Герасимова Л. А., Герасимова В. Е., Хижняк С. В. Анализ экологической обстановки на объектах хранения ракетного топлива // *Вестник СибГАУ*. – 2016. – Т. 17. – № 4. – С. 1044–1052. [Электронный ресурс]: <https://vestnik.sibsau.ru/vestnik/874/>. Доступ 28.04.2023. [Полный текст вестника].

5. Захаров Е. А., Шевякова О. А., Ширшов Д. Б. Оценка экологической эффективности использования горючих газов как топлива для ДВС с искровым зажиганием // *Молодой учёный*. – 2012. – № 2 (37). – С. 29–32. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17711262&ysclid=ineobn9jzs161312980>. Доступ 28.04.2023.

6. Иванова Л. А. Влияние ракетного топлива на организм человека на объектах его использования, хранения и утилизации // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. – 2015. – № 4. – С. 153–158. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24913235&ysclid=ineof4itwe43331517>. Доступ 28.04.2023.

7. Осико С. М. Экологические проблемы ракетно-космической деятельности: влияние ракетного топлива на состояние окружающей среды в районах падения отработавших ступеней // *Молодой учёный*. – 2020. – № 23 (313). – С. 482–485. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42969347&ysclid=ineogp5dw6163159008>. Доступ 28.04.2023.

8. Сляднев Г. Е., Литвинов П. В., Руменко С. О., Польшкая А. А. Перспективы использования биодизельного и дизельного топлива в виде смесей и при ультразвуковой обработке // *Молодой учёный*. – 2017. – № 11 (145). – С. 108–111. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28840609&ysclid=ineoi3fjhy13251666>. Доступ 28.04.2023.

9. Faires, V. M., Simmang, C. M. *Thermodynamics*. Editorial Macmillan. 1978, 680 p., pp. 351–399. ISBN 968-438-029-1.

10. Fayette, C. T. *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice, Vol. I: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance*. Second Edition. Massachusetts Institute of Technology PRESS and London, England, 1985, pp. 67–265. ISBN 978-0-262-20051-6.

11. Kurt, C. R. *Thermodynamics and Heat Power*. Sexta edición. University of Wisconsin-Platteville, 2006, 768 p., pp. 232–282. ISBN 0131139282.

12. Swendsen, R. H. *An Introduction to Statistical Mechanics and Thermodynamics*. 2020, 496, pp. 132–146. ISBN 978-9-19-8853327. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198853327.003.0011>.

13. Yunus, A. Ç., Michael, A. B. *Thermodynamics. An Engineering Approach*. Sixth edition, 2008, pp. 767–842. ISBN 978-0-07-352921-9.

14. Manienian, V., Thambidurai Muthuvelan, Selvakumar, R. Study on energy crisis and the future of fossil fuels. *Proceedings of SHEE*, 2009. DOI: 10.13140/2.1.2234.3689.

Информация об авторах:

Рейес Суарес Яриан – аспирант Российского университета транспорта, преподаватель Гаванского аграрного университета, Майябеке, Куба, varianrs@gmail.com.

Балабин Валентин Николаевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, vbbn2347@gmail.com.

Морехон Меса Яной – доктор технических наук, профессор Гаванского аграрного университета, Майябеке, Куба, ymt@unah.edu.cu.

Статья поступила в редакцию 19.04.2023, одобрена после рецензирования 06.09.2023, принята к публикации 19.09.2023.



ТРАНСПОРТНЫЙ ФАКТОР В ИСТОРИИ

112

Анализ предложенного эффекта «выдвижения» для оценки влияния географического расположения и развитости транспортных связей и систем на социально-экономическое положение городов, стран, регионов на протяжении длительного исторического периода.



ИСТОРИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТНОЕ НАСЛЕДИЕ

122

Анализ развития деятельности по сохранению транспортных раритетов в период «перестройки».



ГАЛЕРЕЯ ИМЁН

133

Биография видного учёного-мостостроителя Н. А. Белелюбского, представленная в 1892 году.

КОЛЕСО ИСТОРИИ





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656:<652> <653>:008:339:504

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-13>

Роль транспорта в формировании «эффекта выдвигения» в древних и средневековых обществах



Дмитрий Александрович Мачерет^{1,2}

¹ Объединённый учёный совет ОАО «РЖД», Москва, Россия.

² Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

✉ macheretda@rambler.ru.

Дмитрий МАЧЕРЕТ

АННОТАЦИЯ

Транспорт сыграл очень значимую роль в становлении и развитии древних и средневековых цивилизаций. При этом транспортный фактор уже с древнейших времен способствовал выдвигению различных социумов (проявлявшемуся в достижении лидерства соответствующими городами, регионами, странами) и формированию при этом «эффекта выдвигения», сущность которого состоит в возможности более эффективного использования имеющихся ресурсов и реализации имеющихся преимуществ для обеспечения успешного развития.

Влияние транспорта на формирование «эффекта выдвигения» социумов базируется на широком спектре социально-экономических эффектов, которые генерируются при перемещении товаров и пассажиров. К ним, в частности, относятся повышение ценности товаров в результате перемещения, стимулирование роста объемов, масштаба и эффективности производства товаров, распространение знаний, идей и стимулирование инноваций.

Благодаря эффектам, формируемым транспортной деятельностью, центры этой деятельности развиваются ускоренно и достигают экономического, а, зачастую, так-

же политического и культурного лидерства. При этом транспортное лидерство связано как с географическим положением, так и с социально-экономическими (прежде всего – институциональными) условиями, обеспечивающими возможность реализации выгод географического положения.

Проведённый анализ, охватывающий примерно пять тысячелетий существования древних и средневековых цивилизаций, на множестве примеров показал, что транспорт действительно играл важную роль в выдвигении тех или иных социумов, локализованных в рамках городов, регионов и стран. Их выдвигение на лидерские позиции достигалось благодаря синергии выгодного географического положения, инновационного развития технических средств транспорта и институтов, благоприятствующих эффективному ведению транспортной деятельности и развитию транспортно-коммерческих экосистем. В свою очередь, прекращение или существенное ослабление благотворного воздействия транспортного фактора приводило к потере социумами лидерских позиций и упадку соответствующих экономических центров.

Ключевые слова: транспорт, «эффект выдвигения», древние цивилизации, Средневековье, экономические центры, транспортно-коммерческая экосистема, торгово-транспортная деятельность.

Для цитирования: Мачерет Д. А. Роль транспорта в формировании «эффекта выдвигения» в древних и средневековых обществах // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 112–121. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-13>.

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.

ВВЕДЕНИЕ

Для понимания долгосрочного развития транспорта, оценки его роли в современном обществе и будущих перспектив, весьма продуктивен исторический анализ [1–11].

Транспорт сыграл весьма значимую роль в становлении и развитии древних цивилизаций [3; 12], а затем, в эпоху Средневековья, стал фактором преодоления деструктивных социально-экономических явлений (таких как натурализация хозяйства и дезурбанизация), поиска новых вариантов торгово-экономических связей [13–15], и, достигнув высокого уровня развития, способствовал вступлению человечества в эпоху Нового времени, а затем – в эпоху современного экономического роста [7; 14; 16].

Наряду с рассмотрением роли транспорта в глобальной социально-экономической истории, представляет интерес её анализ в конкретных исторических периоды и в определенных регионах мира. Такое «восхождение к конкретному» позволяет лучше уяснить значение транспортного фактора социально-экономического развития. Для решения этой задачи весьма наглядным представляется раскрыть роль транспорта в реализации «эффекта выдвижения» в процессе социально-экономического развития.

Целью данного исследования является выявление роли транспорта в формировании «эффекта выдвижения» в древних и средневековых обществах с использованием метода исторического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сущность «эффекта выдвижения»

Сущность «эффекта выдвижения» состоит в том, что, под влиянием возникновения такого выгодного сочетания внутренних характеристик индивида или социума, которое можно интерпретировать как относительное преимущество, происходит выдвижение такого индивида на лидерские позиции в социуме или социума (т. е. индивидов, объединенных в рамках той или иной организации либо географически локализованной общности – города, региона, страны) среди других подобных социумов.

В результате выдвижения у индивида «проявляются ранее скрытые (невостребованные) способности и появляются, развиваются новые» [17, с. 71].

При выдвижении социума, в свою очередь, появляется возможность более эффективного использования имеющихся ресурсов и реали-

зации тех преимуществ, которыми он располагает, что позволяет обеспечить его лидерство и способствует развитию, сопряженному с формированием широкого спектра эффектов. В совокупности это может быть определено как «эффект выдвижения» социума.

При анализе выдвижения тех или иных социумов (проявляющегося в достижении лидерства соответствующими центрами экономической деятельности, регионами, странами) выделяется роль различных факторов, однако внимание на роли транспорта, зачастую, не акцентируется [18–22].

В то же время, именно транспортный фактор играл важную роль в выдвижении различных социумов уже с древнейших времен [6; 7; 12] и формировании при этом «эффекта выдвижения», что заслуживает предметного рассмотрения.

Экономические основы влияния транспорта на формирование «эффекта выдвижения»

Влияние транспорта на формирование «эффекта выдвижения» социумов базируется на тех социально-экономических эффектах, которые вообще генерируются при перемещении товаров и пассажиров.

При перемещении товаров их ценность возрастает [23]. Это может быть связано со следующими причинами.

Первая причина – большая редкость товара в регионе назначения по сравнению с регионом отправления, в результате чего этот товар в регионе назначения используется для удовлетворения более важных потребностей и, следовательно, обладает большей ценностью. Эту причину можно определить как «фактор редкости товара».

Вторая причина («фактор эффективного использования товара») состоит в возможности более эффективного использования товара в регионе назначения по сравнению с регионом отправления. Например, для сырья это может быть возможность более глубокой переработки и получения готовой продукции, обладающей большей стоимостью, чем в регионе отправления. А так как ценность ресурса определяется ценностью вырабатываемого с его использованием продукта [24], увеличение стоимости получаемого продукта повышает и ценность ресурса.

Третья возможная причина – более высокий уровень подушевого дохода в регионе назначе-



ния («фактор платежеспособности потребителя»), в результате чего товар, используемый даже для удовлетворения не более значимых потребностей, чем в регионе отправления, может иметь более высокую денежную стоимость.

В каждом конкретном случае превышение ценности товара в пункте назначения над ценностью в пункте отправления может объясняться как одним из указанных факторов, так и их взаимодействием. Причем, в последнем варианте, действие отдельных факторов может быть противоположно направленным. Например, товар может перевозиться из региона с высоким уровнем подушевого дохода в регион, где уровень дохода существенно ниже. Но, вследствие его редкости в регионе назначения, он может иметь там гораздо большую ценность, чем в регионе отправления, несмотря на более низкую платежеспособность потребителей.

Особый случай – когда какое-то благо в данном регионе до открытия транспортного сообщения вообще не являлось экономическим. В этом случае транспортное сообщение придает неэкономическому ранее благу экономический характер и формирует его ценность, базой для которой является ценность данного блага в регионе назначения.

При развитии транспортного сообщения ценность и редкость благ в обменивающихся товарами регионах, как и подушевые доходы, не остаются неизменными. «Запускаются» «долгосрочные взаимосвязанные процессы расширения географической зоны сбыта товаров, роста объемов, масштаба и эффективности производства» [25, с. 6], в результате которых все указанные параметры изменяются и формируется широкий спектр социально-экономических эффектов.

«В результате пассажирских перевозок также формируются экономические эффекты, зависящие от цели поездки» [26, с. 16]. Следует отметить, что, помимо достижения собственных целей людей, совершающих поездки, эти поездки, так или иначе, сопряжены с распространением знаний, идей и стимулированием инноваций [7; 12; 27], что важно для социально-экономического развития.

Благодаря эффектам, формируемым транспортной деятельностью, центры этой деятельности развиваются ускоренно и достигают экономического, а, зачастую, и тесно связанного с ним политического, а также культурного, лидерства.

В свою очередь, транспортное лидерство связано не только с географическим положением, но и с социально-экономическими (и прежде всего – институциональными [27]) условиями, обеспечивающими возможность реализации выгод географического положения. Другими словами, выгодное географическое положение создает предпосылки для формирования «эффекта выдвижения», основанного на транспортной деятельности, но не гарантирует его.

Роль транспорта в формировании «эффекта выдвижения» в Древнем мире

В современном мире ключевое значение для успешного, лидирующего развития городов и регионов имеет их включенность в глобальные цепи транспортно-логистических коммуникаций [28]. Однако влияние транспортных коммуникаций на экономический, социальный и культурный прогресс обнаруживается уже в древности. Причем ряд авторов аргументированно отмечает главенство транспортных факторов в формировании древнейших «речных» цивилизаций [29; 30] в долинах «великих рек» (Нила, Тигра и Евфрата, Инда, Ганга, Хуанхэ, Янцзы) [31].

Так, выдвижение в древнейший период истории египетской цивилизации (конец IV тысячелетия до н. э.) Верхнего Египта и его важнейшего города Фивы (Луксор) есть основание связывать с выгодным географическим положением Фив «в большой излучине Нила, где реку отделяет от Красного моря всего сто миль» [12, с. 232], что создавало возможность контактов с развивавшейся в тот же период в Южной Месопотамии шумерской цивилизацией. В свою очередь, последующее объединение Верхнего и Нижнего Египта под главенством первого может объясняться тем, что именно в Верхнем Египте был освоен парус, что дало ему ключевое коммуникационное преимущество [32].

Основу «речных» цивилизаций древности составляло сельское хозяйство. Развитие транспорта давало им возможность реализации своих сравнительных преимуществ на основе обмена излишков сельскохозяйственной продукции на другие необходимые ресурсы (металлы, лес и др.), что способствовало выдвижению в рамках тогдашней Ойкумены.

Использование же морских коммуникаций позволило сформироваться центрам, основу существования и процветания которых составлял симбиоз транспорта и коммерции, который

можно определить как транспортно-коммерческую экосистему.

В III тысячелетии до н. э. произошло выдвижение города Дильмун, расположенного на острове Бахрейн в Персидском заливе, который процветал благодаря транзитной торговле металлами и предметами роскоши и импорту сотен тонн продовольствия, доставляемого за сотни километров [33; 34]. По существу, Дильмун представлял собой порт-хаб в транспортно-коммерческой системе, связывавшей регионы, имеющие выход к Персидскому заливу и Аравийскому морю. Последующее нарушение межрегиональных товаропотоков привело к упадку Дильмуна.

Еще более ярким и важным примером выдвижения на основе морских коммуникаций в эту же эпоху является минойская цивилизация на Крите, которая «возникла и существовала именно благодаря посреднической международной торговле» [35, с. 265]. Минойцам удалось установить «талассократию» («морское владычество»), что означало «полное господство критского флота в Восточном Средиземноморье» и «ставило Крит в один ряд с другими великими державами древности» [36, с. 215].

Осуществляя с различными регионами Средиземноморья и Передней Азии интенсивный «обмен не только товарами, но и идеями» [37, с. 341], минойцы добились выдающихся достижений в развитии экономики и культуры. Когда около 1450 года до н. э., в результате извержения вулкана и сильнейшего землетрясения, минойскую цивилизацию постигла катастрофа, морское лидерство примерно на два столетия перешло к ахейцам, обитавшим на материковом побережье Эгейского моря [37], «чи корабли сберегли от гибели безопасные бухты и гавани Пелопонеса и Малой Азии» [35, с. 266]. Это примечательный пример выдвижения на освободившуюся лидерскую позицию, которое стало возможным не просто благодаря тому, что она стала вакантной, а благодаря имевшимся предпосылкам – развитию у ахейцев мореходства и выгодному географическому положению их поселений.

Впрочем, выдвижение ахейцев не было очень долговременным по историческим меркам. Оно завершилось в XIII–XII веках до н. э., когда нарушилось равновесие на Ближнем Востоке, исчезли благоприятные условия для торговли, и ахейцы были вынуждены перейти к автаркии, в ходе которой усиливалась внутренняя борьба за ограниченные ресурсы, что

повлекло «упадок культуры, забвение прежних источников вдохновения и достижений» [38, с. 27].

Гораздо большую историческую роль сыграло выдвижение на роль лидеров в средиземноморском мореплавании и торговле конкурирующих друг с другом финикийских и греческих городов и основанных ими колоний в I тысячелетии до н. э. [12; 39]. При этом выдвижению финикийских городов особо способствовало их географическое положение на стыке средиземноморских морских и ближневосточных сухопутных торговых путей [39].

Что касается древнегреческих полисов, то среди них самыми успешными и внешне наибольший вклад в мировую цивилизацию были именно те, развитие которых связано с морем. Например, Коринф [39], который был расположен на узком перешейке, благодаря чему «имел уникальную возможность с одинаковой легкостью развивать морские связи как с Восточным, так и с Западным Средиземноморьем» [35, с. 319]. И, безусловно, Афины, венцом выдвижения которых стало создание под их эгидой политического союза греческих государств (так называемого «Афинского морского союза»), который обеспечил Афинам на определенное время лидерство в большей части Греции [35; 38].

Эффективное использование сухопутных коммуникаций также способствовало выдвижению городов и регионов уже с древнейших времен.

Так, уже в III тысячелетии до н. э. быстро развивались города на торговых маршрутах в Северной Месопотамии и Сирии, наиболее значительным из которых был город Эбла [40]. Транспортные возможности сухопутных маршрутов существенно возросли после того, как в качестве вьючных животных стали использовать верблюдов (вместо ослов), что позволяло перевозить вдвое больше грузов и делать это вдвое быстрее [34].

Использование верблюжьих караванов кардинально повысило эффективность использования сухопутных торговых маршрутов, и даже, в некоторых случаях, позволяло успешно конкурировать с морскими перевозками [12; 34]. Это один из самых ранних примеров изменения структуры рынка перевозок благодаря транспортным инновациям. Это также наглядный пример того, что социально-экономическое значение перспективных транспортных инноваций [41] проявлялось уже в древности, в том



числе – и в формировании «эффекта выдвижения». Так, в I тысячелетии до н. э. происходит выдвижение государств Южной Аравии (Сабейское царство и др.), активно участвовавших в международной торговле с использованием караванов [39]. Тогда же в Южной Сирии на роль лидера выдвигается Дамаск, который был «центром скрещения торговых путей» [39, с. 73].

Исторический интерес представляют примеры транспортно-коммерческой основы зарождения государств, в будущем превратившихся в крупные и воинственные империи.

В начале II тысячелетия до н. э. в Северной Месопотамии выдвигается город Ашшур – ядро будущего ассирийского государства, расположенный на пересечении ключевых торговых путей, соединявших основные регионы Ближнего Востока [37; 40]. «Ассирия играла роль передаточного пункта... в обмене между ... различными районами Передней Азии. Ассирия была государством, лежащим на пересечении караванных путей, этим и объяснялось то значение, какое Ассирия приобрела в истории древнего мира» [37, с. 151].

Выдвижение Ассирии в течение примерно тысячи лет происходило нелинейно, периоды успехов сменялись ослаблением и упадком [42]. Но, даже в периоды ослабления, страна продолжала существовать. В I тысячелетии до н. э., в так называемый новоассирийский период, началось перерастание торгового государства, в котором изначально значительные права принадлежали органам общинно-городского самоуправления, в военно-бюрократическую деспотию [42; 43]. Это сопровождалось активной завоевательной политикой, в результате которой на рубеже VIII–VII веков до н. э. Ассирия превратилась в «мировую» империю [40; 42]. В период максимального могущества, в середине VII века до н. э., «границы ее простирались от Египта ... и ... Средиземноморья до Персидского залива» [42, с. 126]. В это время максимизирована была и централизация власти, регламентация всех сторон жизни людей; в экономике преобладало государственное хозяйство; проводились массовые депортации покоренных народов [42; 43]. Всё это порождало социальную напряженность, приводило к восстаниям и дворцовым переворотам. В конце VII века до н. э., ослабленная внутренними конфликтами, Ассирийская империя рухнула под ударами поспешивших воспользоваться этим соседних государств и навсегда исчезла

из мировой истории. Пример Ассирии показывает, что в ходе выдвижения, первоначально имевшего транспортно-коммерческую основу, эта основа может кардинально меняться, что приводит к возрастанию «хрупкости» (по Н. Талебу) социальной системы и вероятности её быстрого крушения при появлении «чёрных лебедей» (внезапных катаклизмов) [44; 45].

Через два с половиной столетия после падения Ассирии, на другом краю Ойкумены – в Китае – началось выдвижение царства Цинь, одного из семи существовавших тогда в стране государств [46]. Первоначально оно имело экономическую, в том числе, транспортно-коммерческую основу. «По территории Цинь проходили важные торговые пути, и торговля с соседними племенами явилась одним из источников его обогащения» [46, с. 33]. (Другим ключевым источником были самые плодородные в Китае земли.)

В середине IV в. до н. э. были проведены радикальные реформы, призванные «сделать из Цинь военный лагерь». «Все сферы деятельности, которые не вели к увеличению зернового продукта, численности населения и армии, были объявлены вредными, как не приносящие непосредственной пользы государству. В эти сферы входили торговля, ремесло, наука и развлечения» [47, с. 20]. После проведения реформ и укрепления армии, страна приступила к экспансии, которая завершилась созданием объединившей весь Китай империи Цинь. Отработанные ранее принципы управления были распространены на всю территорию Китая и получили дальнейшее развитие. При этом предпринимались и меры, способствующие совершенствованию транспорта. «Для того, чтобы связать столицу со всеми областями государства [император] Цинь Шихуанди приказал сооружать дороги и транспортные каналы. Для сохранения дорог были унифицированы оси телег, так как повозки с длинными осями выходили из колеи и портили дороги, проведённые в мягкой лессовой почве» [46, с. 192]. Эти меры, проводившиеся в сочетании с установлением единой системы мер и весов, единой монеты, безусловно, способствовали развитию транспортных сообщений, торговли, экономики в целом, и, соответственно, укрепляли империю.

Но главными в империи Цинь были не они, а система «тотального контроля», которая «не предусматривала никакой инициативы, была рассчитана на слепое точное исполнение спущенных сверху указаний ...» [35, с. 233]

и подкреплялась жесточайшими наказаниями. Широкое распространение получили трудовые повинности – людей массово направляли на строительство Великой стены, каналов, дорог и дворцов. «На всех этих работах гибло множество людей, безжалостно истощались силы страны» [47, с. 26]. Всё это вызывало растущее напряжение как в народе, так и в элитах. Империя Цинь рухнула в результате восстаний в 207 году до н. э., лишь на три года пережив своего основателя. Это еще один исторический пример возникновения «хрупкости» при замене транспортно-коммерческих предпосылок выдвижения на совсем иные начала.

Если в выдвижении одних обществ в Древнем мире ведущую роль играли морские коммуникации, других – сухопутные или (и) речные, то успешное развитие и многовековое, достаточно устойчивое, существование Римского государства (сначала – республики, затем – империи) поддерживалось синергией тех и других, что подробно рассмотрено в [7; 12]. В настоящей работе внимание сконцентрировано на показательных примерах, касающихся отдельных городов и провинций Римской империи, а также связанных с ними регионов за пределами империи.

В I веке н. э. развитие как морской, так и караванной торговли способствовало процветанию таких городов в восточных провинциях Римской империи, как Эфес, Пергам, Антиохия и, особенно – Александрия, через которую велась крупная торговля с Индией. В результате «в этот период Александрия становится крупнейшим портом империи» [48, с. 130]. (Однако в условиях империи развитие транспорта несло не только благо, но и тяготы: выполнение транспортной и дорожной повинностей ложилось тяжёлым гнѐтом на население римских провинций).

Сочетание морских и караванных коммуникаций в рамках римско-индийской торговли обеспечивало процветание государств Южной Аравии. Однако последующая переориентация торговых связей на использование портовой инфраструктуры Аксума, находившегося на противоположном, африканском, берегу Красного моря, стало фактором их упадка [48].

Во II веке н. э., когда экономика Римской империи была на пике своего развития, и торговля достигла наибольшего размаха [7], процветали восточные города империи Пальмира, Дамаск, Петра, расположенные на оживленных караванных путях. В западных провинциях

«город Августа Треворов [нынешний Трир на западе Германии] процветал благодаря торговле с германскими племенами и Восточной Европой; город Карнунт богател потому, что через него проходила, так называемая, янтарная дорога [торговый путь, связывавший балтийское побережье с Южной Европой]» [48, с. 215].

В IV веке, когда происходили натурализация экономики и общий упадок Римской империи, эти процессы по-разному протекали в западных и восточных провинциях. «... В то время как торговые связи населения западных городов с зарейнскими и задунайскими народами почти совершенно прервались, торговые отношения восточных провинций с Персией, Аравией и другими соседними странами ... вновь оживились» [48, с. 453]. В результате восточные провинции избежали такого упадка городской культуры, дезурбанизации и общей социально-экономической деградации, какой произошёл на западе империи. В этом можно видеть одну из ключевых причин различной судьбы Западной и Восточной частей Римской империи в будущем: если первая потерпела крушение в конце V века, то вторая (вошедшая в историю как Византия) просуществовала после этого почти тысячу лет. Таким образом, транспортно-коммерческая экосистема является не только фактором выдвижения социума, но и страхует его от регресса, который неминуемо наступает в условиях упадка торгово-транспортной деятельности.

В свою очередь, отсутствие условий для динамичного развития коммуникаций и торгово-транспортной деятельности в конкретных регионах ведѐт к их длительному социально-экономическому отставанию. Наглядным примером является Африка к югу от Сахары, отставание которой от северной части материка, Азии и Южной Европы стало проявляться уже в древности. После образования пустыни Сахара в III тысячелетии до н. э., большая часть Африки, находящаяся к югу от Сахары, оказалась в полуизолированном мире, который имел чрезвычайно ограниченные внешние связи и плохие внутренние коммуникации: природно-климатические условия были непригодны для верблюдов и мало пригодны для лошадей, так что грузы по суше перемещали носильщики, возможности перевозки по рекам были также ограничены, колесный транспорт – практически невозможен [16; 40]. Это означало чрезвычайно высокие транспортные издержки, практически являвшиеся экономическим барьером для мас-



штабного товарообмена и специализации производства [49]. Соответственно, в условиях крайне ограниченных возможностей обмена не было стимула производить что-то сверх необходимого для собственного потребления [40; 49], а значит – совершенствовать методы производства и орудия труда. Складывающиеся в этих условиях институты также не стимулировали развитие. Последствия этих, сформировавшихся ещё в древности, проблем отражались на всей истории континента, вплоть до сегодняшнего времени.

Роль транспорта в формировании «эффекта выдвижения» в Средневековье

В период Средневековья, начало которого принято относить к середине I тысячелетия н. э., происходила серьёзная трансформация торгово-транспортных связей [13], что вело к выдвижению новых экономических центров как на ранее существовавших, так и на вновь возникавших маршрутах коммуникаций – сухопутных, речных, морских и, используя (насколько это допустимо) современную терминологию [50], мультимодальных.

Уже в раннем Средневековье крупнейшим центром Средиземноморья становится Константинополь [35; 51], и эту роль он сохранял на протяжении многих веков, в том числе благодаря своему крайне выгодному географическому положению на пересечении важнейших морских и сухопутных торговых маршрутов: в Константинополь стекались «для торговли купцы со всех стран морем и сухим путем» [52, с. 169].

В новой конфигурации торгово-транспортных связей, сложившейся в связи выдвижением Константинополя, возросла роль маршрутов, пролежавших через Аравийский полуостров. «... Это новое положение дел выдвинуло на первые роли Мекку, торговый город, находившийся на полпути из Йемена в Сирию» [35, с. 466], которому предстояло впоследствии сыграть очень важную роль в истории не только Аравии, но и всего человечества.

В VIII веке в Южной Месопотамии происходит выдвижение Басры, через которую проходили важные торговые пути, связывающие «Месопотамию и провинции Южного Ирана с Аравией и далекими берегами Индии и Африки» [53, с. 394]. Следует отметить, что «Басра благодаря своему выгодному географическому положению ... сохраняла свое значение в течение всего средневекового периода...» [53, с. 400–401].

В этот же период, благодаря развитию морской торговли между Ближним Востоком, Индией и Китаем, в Юго-Восточной Азии выдвигается государство Шривиджая, обеспечивающее обслуживание транзитных товаропотоков и контроль морских коммуникаций, проходящих через проливы между Индийским океаном и Южно-Китайским морем [32; 52]. Оно контролировало ключевые прибрежные зоны нынешних Западной Индонезии и Малайзии вплоть до XIII века [54].

Примечательно, что после ухода Шривиджайи с исторической арены, на рубеже XIV–XV веков в этом же регионе в качестве доминирующего центра транзитной торговли выдвигается Малакка, которая превращается в крупный мультикультурный город, где говорили на 84 языках [34]. Не менее примечательно, что примерно в 130 морских милях к Юго-Востоку от Малакки находится Сингапур – нынешний крупнейший экономический центр региона. Этот пример показывает, сколь устойчивым могут быть географические факторы выдвижения, связанного с транспортно-коммерческими коммуникациями.

В Европе переход от Древности к Средневековью был сопряжён с кардинальными трансформациями, связанными с «Великим переселением народов», крушением крупнейшего государства – Западной Римской империи – и образованием ряда новых государств. Естественно, что при этом трансформировались «транспортные и торговые связи на всем пространстве от Пиренейского полуострова до ... Черного моря» [14, с. 72]. Эти изменения способствовали потере значимости многих транспортно-коммерческих центров, но, впоследствии, и выдвижению новых. В результате упадка римской дорожной системы в раннем Средневековье «сухопутное сообщение уступает место водному, вызывая соответствующее перемещение городских центров ... В упадок приходят города, расположенные на перекрестках путей сообщения, за исключением речных путей» [55, с. 36].

В VIII–IX веках формируются трансконтинентальные водные торговые пути, связавшие «Западную Европу через Балтийское море и реки Восточной Европы с арабским Востоком и, позднее, с Византией» [56, с. 372–373].

Сначала, в VIII веке, формируется Балтийско-Волжский путь («из варяг в персы»), соединивший балтийские регионы и Северное Поволжье с прикаспийскими регионами. На про-

тяжении IX века формируется Балтийско-Днепровский путь («из варяг в греки»), обеспечивший кратчайший выход на рынки Византии и Ближнего Востока [13; 15; 56]. «Трансконтинентальные пути определили преимущества геополитического положения восточнославянских земель – на пересечении мощных потоков ценностей, разнотипных импульсов и влияний» [56, с. 374].

В конце IX века Балтийско-Днепровский путь «превращается в крупнейшую магистраль Восточной Европы» [56, с. 375]. Именно в это время «на территории, прилегающей к ... пути “из варяг в греки”» [51, с. 554] складывается Древняя Русь – крупная, динамично развивающаяся страна, в развитии которой «приоритет внешней торговли» [56, с. 376] сохранялся до середины X века. Таким образом, использование протяженных речных коммуникаций в Средневековье могло способствовать выдвижению на авансцену истории не только отдельных центров, но и новых, занимающих обширные территории, государств.

Что касается европейского мореплавания в Средние века, то оно развивалось, в основном, в двух главных регионах морской торговли – Северном и Южном. Северный охватывал акватории Северного и Балтийского морей, а Южный – Средиземноморье [52; 57]. Связи между этими регионами осуществлялись по меридиональным маршрутам с максимальным использованием речного сообщения, а там, где оно невозможно – сухопутного [57]. Эпоха развития атлантических, океанских, коммуникаций была еще впереди. В Средиземноморье, благодаря эффективному развитию морской транспортировки и коммерции, в лидеры вышли «северные морские республики Италии: Венеция, Генуя и Пиза...» [56, с. 523], конкурировавшие между собой. В Северном регионе морской торговли в первой половине XIII века стал складываться союз торговых городов, выдвижению которых способствовало эффективное использование транспортных коммуникаций в условиях развития производства и торговли в Европе – Ганзейский союз (Ганза) [35; 56; 57]. У истоков его создания стояли вольные¹ северогерманские города Любек и Гамбург, а в период своего расцвета, в середине XIV века, Ганзейский союз объединял около 80 горо-

дов [57]. Так как «для партнеров по внешней торговле Ганзейский союз выступал как единое целое» (что не мешало его членам быть самостоятельными во всех остальных отношениях с конкурировать друг с другом) [35, с. 565], участие в Ганзе способствовало развитию торговых городов Северной Европы. На этом примере видна синергия транспортно-коммерческих и институциональных факторов, которая более подробно раскрыта в [7; 27].

Ряд крупных североευропейских торгово-коммерческих центров были партнерами Ганзы, там размещались представительства союза. Среди них – Великий Новгород, Лондон и Брюгге, ставшие крупнейшими экономическими центрами в своих регионах, во многом – благодаря транспортному фактору.

Выдвижение Великого Новгорода началось еще в X веке, чему способствовало его географическое положение – он находился на общем, северном, участке Балтийско-Волжского и Балтийско-Днепровского транспортных путей [15]. В XII веке транспортный фактор был дополнен институциональным – в Великом Новгороде сложилась «форма вольной городской общины» [57, с. 143]. Благодаря синергии этих факторов, «Новгород несколько веков был связующим звеном между русскими землями и Западной Европой, центром экономического и культурного обмена», достиг больших успехов «в торговле, строительстве, ремесле, распространении грамотности» [58, с. 3–5].

Лондон становится мощным экономическим центром в XIII веке, благодаря развитию торгово-транспортных связей с одним из передовых европейских регионов – Фландрией, и городами Ганзейского союза [59].

В свою очередь, во Фландрии в XIII–XIV веках в качестве одного из крупнейших европейских рыночных центров выдвигается Брюгге, благодаря своему географическому положению тесно связанный с рынками Ганзейского союза, Англии, Германии и Франции [60]. Однако последующая утрата связи с морем из-за того, что залив, на берегу которого был расположен порт Брюгге, занесло песком, привела к многовековому упадку города [6]. История Брюгге весьма наглядно демонстрирует роль транспортного фактора как в выдвижении экономических центров, так и в их угасании.

В XV веке произошел коммуникационный прорыв благодаря усовершенствованию конструкции парусных судов – теперь стали возможны плавания в Атлантике [13; 14]. Это

¹ Любек получил статус «вольного имперского города» в 1226 году. Гамбург обладал значительными правами уже с конца XII века, а статус «вольного имперского города» получил в начале XVI века.



привело к потере экономического лидерства центрами, расположенными на берегах внутренних морей (такими как Венеция, Генуя, города Ганзейского союза), и выдвигению в лидеры стран, расположенных на побережье Атлантического океана – сначала Португалии и Испании, затем – Голландии, а позднее – Англии, в чём, в свою очередь, важную роль играли социально-экономические институты [7; 27; 61; 62]. При этом «стала очевидной определяющая роль морской торговли, что вело к упадку традиционных сухопутных путей и, как следствие, к упадку стран, по которым проходили эти пути» [61, с. 150–151].

Хотя, согласно концепции «долгого Средневековья» [63], оно продолжалось до середины XVIII века, в последние два столетия этого периода – в начавшуюся эпоху Нового времени – происходили кардинальные изменения, в которых ключевую роль играло развитие транспортных коммуникаций [7; 14; 16]. Поэтому значение транспорта для формирования «эффекта выдвигания» в этот период требует отдельного рассмотрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении примерно пяти тысячелетий существования древних и средневековых цивилизаций транспорт играл важную роль в выдвигании тех или иных социумов, локализованных в рамках городов, регионов и стран. Их выдвигание на лидерские позиции достигалось благодаря синергии выгодного географического положения, инновационного развития технических средств транспорта и институтов, благоприятствующих эффективному ведению транспортной деятельности и развитию транспортно-коммерческих экосистем.

В свою очередь, прекращение (по тем или иным причинам) благотворного воздействия транспортного фактора приводило к потере социумами лидерских позиций, упадку соответствующих экономических центров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галахов В. И. Эволюция средств передвижения // Мир транспорта. – 2007. – Т. 5. – № 4 (20). – С. 132–141. EDN: KLTQRL.
2. Устинова Л. С., Шевченко В. Н. Биография дорог и мостов // Мир транспорта. – 2008. – Т. 6. – № 3 (23). – С. 154–161. EDN: KDSYXL
3. Галахов В. И. Транспорт рабовладельческой цивилизации // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – № 6 (44). – С. 196–206. EDN: PJTUAL
4. Бологин М. М., Андриянов С. С. Методология исследования истории транспортной техники // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 4 (53). – С. 160–169. EDN: SKXFLR.
5. Измайкова А. В. Волны инновационного развития железных дорог // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 5 (60). – С. 26–38. EDN: VMBPWD.
6. Мачерет Д. А. Социально-экономическая оценка транспорта на основе исторических сравнений // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 1 (62). – С. 256–271. EDN: VWEINB.
7. Мачерет Д. А. Транспортный фактор формирования эпохи современного экономического роста // Экономическая политика. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 154–179. DOI: 10.18288/1994-5124-2019-1-154-179. EDN: YYFXCP.
8. Разуваев А. Д. Экономическая оценка создания, эволюции и стратегического развития транспортной инфраструктуры (на примере железнодорожного транспорта): Монография. – М.: Прометей, 2021. – 286 с. ISBN: 978-5-00172-251-9.
9. Мельников А. История колеса. От гончарного круга до шасси авиалайнера. – М.: Центрполиграф, 2021. – 351 с. ISBN: 978-5-227-09364-6.
10. Разуваев А. Д. История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 1 // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 6 (97). – С. 92–102. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-6-11. EDN: ZRVLXG.
11. Разуваев А. Д. История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 2 // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 1 (98). – С. 106–112. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-1-12. EDN: GQMLSS.
12. Мачерет Д. А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 2 (51). – С. 230–241. EDN: SFRIKL.
13. Мачерет Д. А. Социально-экономическая роль транспорта в Средние века // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 2 (57). – С. 228–237. EDN: UHOIEL.
14. Могилевкин И. М. Транспорт и коммуникации: прошлое, настоящее, будущее. – М.: Наука, 2005. – 357 с. ISBN 5-02-033425-1.
15. Цветков С. В., Черников И. И. Торговые пути, корабли кельтов и славян. – СПб.: Русско-Балтийский информационный центр «БЛИЦ», 2008. – 344 с. ISBN: 867891756-3.
16. Мэддисон Э. Контуры мировой экономики в 1–2030 гг. Очерки по макроэкономической истории / пер. с англ. Ю. Каптуревского; под ред. О. Филатовой. – М.: Изд. Института Гайдара, 2012. – 584 с. ISBN 978-5-93255-350-3.
17. Мачерет Д. А. «Эффект выдвигания» и повышение ценности человеческого капитала // Экономика железных дорог. – 2013. – № 1. – С. 70–75. EDN: RAAGQF.
18. Бармин Н. Ю. Образование взрослых как путь к лидерским позициям страны в мировом сообществе // Научный потенциал. – 2011. – № 3 (4). – С. 18–25. EDN: OIGVUP.
19. Огородникова Ю. В. Лояльность работников как основа достижения лидерских позиций компании // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2019. – № 10 (97). – С. 4. [Электронный ресурс]: <https://ekonomika.snauka.ru/2019/10/16719>. Доступ 17.04.2023.
20. Джумадылов И. М., Антонова Н. Л. Влияние системы качества на лидерские позиции на рынке // Наукосфера. – 2021. – № 6–1. – С. 353–358. EDN: GQWBDE.
21. Шевченко М. В., Попкова М. А. Оценка преимуществ региона в достижении инновационного лидерства // Белгородский экономический вестник. – 2019. – № 2 (94). – С. 62–66. EDN: ZTGQXR.
22. Голофастова Н. Н., Дубинкин Д. М., Григорьева Е. А. Роль инноваций технических университетов в обеспечении технологического лидерства регионов // Вопросы региональной экономики. – 2021. – № 3 (48). – С. 25–30. EDN: UUGATN.

23. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Макроэкономическое значение транспорта: сущностный анализ // Экономика железных дорог. – 2011. – № 1. – С. 13–19. EDN: NYHEFB.
24. Мизес Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории: Пер. с англ. – Челябинск: Социум, 2012. – 875 с. ISBN 978-5-91603-071-6.
25. Мачерет Д. А. Теоретическое осмысление роли транспорта в обеспечении долгосрочного экономического развития // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 6–33. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-06-33.
26. Мачерет Д. А. Стратегические перспективы роста железнодорожных перевозок в России с учетом мировых тенденций // Экономика железных дорог. – 2017. – № 6. – С. 13–22.
27. Мачерет Д. А., Епишкин И. А. Взаимное влияние институциональных и транспортных факторов экономического развития: ретроспективный анализ // Journal of Institutional Studies. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 80–100. DOI: 10.17835/2076-6297.2017.9.4.080-100.
28. Khanna, P. Connectography: Mapping the Future of Global Civilization. New York: Random House, 2016, 496 p.
29. Braudel, F. Grammaire des civilisations. Paris, Flammarion, 2013, 752 p. ISBN-13:978-2081307933.
30. Scott, J. C. Against the Grain. A Deep History of the Earliest States. New Haven and London, Yale University Press, 2017, 312 p. ISBN 978-0-300-18291-0.
31. Мечников Л. И. Цивилизация и великие исторические реки. – М.: Ониск, 2011. – 236 с.
32. Paine, L. The Sea and Civilization. A Maritime History of the World. New York, Vintage Books, 2015, 784 p. ISBN-13: 978-1101970355/
33. Бадак А. Н., Войнич И. Е., Волчэк Н. М. [и др.]. Всемирная история: В 24 т. Т. 1. Каменный век. – Мн.: Литература, 1997. – 528 с. ISBN 985-13-0065-9.
34. Bernstein, W. A Splendid Exchange: How Trade Shaped The World. London, Atlantic Books, 2008, 400 p. ISBN 978-0-802-14416-4.
35. Дедков Н. И., Бордюгов Г. А., Щербакова Е. И. [и др.]. История для экономистов / Под общ. ред. А. Д. Некипелова и С. Н. Кагырина. Т. 1. – М.: АИРО–XXI, 2016. – 928 с. ISBN 978-5-91022-406-7.
36. Всемирная история: В 6 т. Т. 1. Древний мир / отв. ред. В. А. Головина, В. И. Уколова. – М.: Наука, 2011. – 822 с. ISBN 978-5-02-036725-8.
37. Бадак А. Н., Войнич И. Е., Волчэк Н. М. [и др.]. Всемирная история: В 24 т. Т. 2. Бронзовый век. – Мн.: Литература, 1996. – 512 с. ISBN: 985-13-0064-0.
38. Шаму Ф. Цивилизация Древней Греции / Пер. с фр. – Екатеринбург: У-Фактория; М.: АСТ МОСКВА, 2009. – 368 с. ISBN 978-5-9757-0444-3.
39. Бадак А. Н., Войнич И. Е., Волчэк Н. М. [и др.]. Всемирная история: В 24 т. Т. 3. Век железа. – Мн.: Литература, 1997. – 512 с. ISBN: 985-13-1430-7.
40. Ponting, C. World History. A New Perspective. London, Chatto & Windus, 2000, 944 p. ISBN 978-1-409-04639-4.
41. Кудрявцева А. В. Социально-экономические перспективы транспортных инноваций // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 2 (69). – С. 34–39. EDN: YLPVMB.
42. Васильев Л. С. История Востока: В 2 т. Т. 1. – М.: Высшая школа, 2005. – 512 с. ISBN 5-06-004593-5.
43. Гребенюк А. В. Курс лекций по истории мировых цивилизаций. – Часть 1. Цивилизации Древнего Востока. – М.: Издательский дом «Рубежи XXI». – 2006. – 312 с.
44. Taleb, N. N. The Black Swan. Second edition: The Impact of the Highly Improbable. New York, Random House, 2010, 444 p.
45. Taleb, N. N. Antifragile: Things That Gain From Disorder. – New York, Random House, 2012, 519 p.
46. Всемирная история: В 24 т. Т. 5. Становление государств Азии / А. Н. Бадак, И. Е. Войнич, Н. М. Волчэк [и др.]. – Мн.: Литература, 1997. – 544 с.
47. Уваров П. Ю., Рябинин А. Л. Китай в Средневековом мире. Взгляд из всемирной истории. – СПб.: Наука, 2019. – 286 с.
48. Всемирная история: В 24 т. Т. 6. Римский период / А. Н. Бадак, И. Е. Войнич, Н. М. Волчэк [и др.]. – Мн.: Литература, 1997. – 512 с.
49. Allen R. Global Economic History. A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2011, XVI+170 p. ISBN 978-5-93255-370-1.
50. Баранова Ю. О. Интермодальные и мультимодальные перевозки грузов: проблемы терминологии // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. – 2012. – № 6 (78). – С. 85–88.
51. Всемирная история: В 24 т. Т. 7. Раннее Средневековье / А. Н. Бадак, И. Е. Войнич, Н. М. Волчэк [и др.]. – Мн.: Литература, 1997. – 592 с.
52. Всемирная история: В 24 т. Т. 8. Крестоносцы и монголы / А. Н. Бадак, И. Е. Войнич, Н. М. Волчэк [и др.]. – Мн.: Литература, 1997. – 528 с.
53. Сурдель Д., Сурдель Ж. Цивилизация классического ислама: Пер. с фр. – Екатеринбург: У-Фактория, 2006. – 544 с.
54. Атлас всемирной истории: Пер. с англ. Афанасьев С. Д., Климова О. И., Позднякова Н. А. – М.: Астрель, АСТ, 2004. – 480 с.
55. Ле Гофф Ж. Цивилизация средневекового Запада: Пер. с фр. – Екатеринбург: У-Фактория, 2005. – 560 с.
56. Всемирная история: В 6 т. Т. 2. Средневековые цивилизации Запада и Востока / отв. ред. П. Ю. Уваров. – М.: Наука, 2012. – 894 с.
57. Максаковский В. П. Историческая география мира. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 624 с.
58. Мартышин О. В. Вольный Новгород. Общественно-политический строй и право феодальной республики. – М.: Российское право, 1992. – 384 с.
59. Mortimer, I. Centuries of Change: Which Century Saw The Most Change? London, Bodley Head, 2014, XII+403 p.
60. Attali, J. Une brève histoire de l'avenir. Paris, Fayard, 2009, 432 p.
61. Уваров П. Ю. Мир накануне раннего Нового времени. – СПб.: Евразия, 2022. – 160 с.
62. Acemogly, D., Robinson, J. A. Economics versus Politics: Pitfalls of Policy Advice. Journal of Economic Perspectives, 2013, Vol. 27, Iss. 2, pp. 173-192. DOI: 10.1257/jep.27.2.173.
63. Le Goff, J. Faut-il vraiment découper l'histoire en tranches? Paris: Seuil, 2014, 207 p. ●

Информация об авторе:

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, первый заместитель председателя Объединённого учёного совета ОАО «РЖД», профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, macheretda@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2023, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 04.09.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.926.2

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-14>

Как сохраняли раритеты транспорта

**Николай Михайлович Семенов***Институт истории естествознания и техники**им. С. И. Вавилова РАН (ИИЕТ РАН), Москва, Россия.*✉ attmg@mail.ru.**Николай СЕМЕНОВ**

АННОТАЦИЯ

В статье систематизирована и проанализирована информация, отражающая основные подходы к сохранению и представлению памятников истории транспорта в период перестройки. Именно в этот период сложились различные социальные практики в области сохранения памятников

техники, ставшие в дальнейшем традиционными. Автор рассматривает ряд важных юбилейных событий, связанных с историей транспорта, в рамках которых были выявлены и сохранены многочисленные исторические раритеты, созданы новые музеи и выставки.

Ключевые слова: история транспорта, «перестройка», техника, транспорт, материальное наследие, музейная деятельность.

Для цитирования: Семенов Н. М. Как сохраняли раритеты транспорта // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 122–132. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-21-4-14>.

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

Методология

Для раскрытия темы использовались базовые принципы современной исторической науки, прежде всего принципы объективности и историзма, а также специальные исторические методы (сравнительно-исторический и проблемно-хронологический), позволяющие выявить общие и особенные черты описываемых событий, основные тенденции и подходы к сохранению и показу памятников истории транспорта. Тема исследования обусловила и широкое привлечение в качестве источниковой базы материалов центральных и местных СМИ, для анализа которых применялись методы источниковедческого анализа. Кроме того, исходные данные для настоящей статьи были получены методом полевых исследований, т. е. в результате личного присутствия автора на местах рассматриваемых событий, часто – и непосредственного в них участия.

Историография

Интерес исследователей к теме изучения, выявления и сохранения памятников истории науки и техники, в том числе и памятников истории транспорта претерпевал взлёты и падения, во многом зависящие от социально-политических процессов в нашей стране [1–6]. Провозглашенный в 1986 году XXVII съездом КПСС курс на ускорение социально-экономического развития страны на основе достижений научно-технического прогресса и внедрения в практику новых достижений науки и техники, способствовал возрастанию в обществе интереса к научно-техническому наследию, проблемам его сохранения и популяризации. К этому периоду относятся первые работы, направленные на разработку теоретических и методических вопросов, связанных с проблемами выявления памятников науки и техники и введением их в научный оборот [7; 8]. Большая часть исследований и публикаций, касающихся памятников истории транспорта, посвящена конкретным раритетам, хранящимся в федеральных и ведомственных музеях [10; 11]. Большую роль в выявлении и популяризации таких объектов сыграл Политехнический музей, с 1992 г. реализующий программу «Памятники науки и техники в музеях России», результаты которой представлены в серии изданий, содержащих информацию и о памятниках истории транспорта [12]. Начиная с 1990-х годов, по-

рождённая «перестройкой» заметная демократизация отечественной жизни способствовала появлению неформальных профессиональных сообществ, в том числе и в рассматриваемой области. Издававшиеся этими сообществами на более или менее регулярной основе журналы «Железнодорожное дело» (Москва), «Локотранс» (Ставрополь, затем – Московская область), «Омнибус» (Санкт-Петербург), «Пантограф» (Тула) и др. также содержат информацию по рассматриваемым вопросам.

Цели и задачи работы

Целью данной работы является выявление и анализ событий, связанных с сохранением и показом крупных вещественных памятников истории отечественного транспорта в период 1986–1991 гг. Многое из рассматриваемого осталось, к сожалению, незаслуженно забытым вместо того, чтобы найти практическое применение в наши дни, когда отечественный транспорт переживает очередные заметные трансформации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

«День Города» как повод вспомнить историю

Одной из позитивных традиций, привнесённых в российскую жизнь «перестройкой», стало ежегодное празднование Дней Города (Родного края или др.). Впервые такой праздник был отмечен ещё в 1976 году в широко известном своим богатым индустриальным наследием Нижнем Тагиле Свердловской области [9]. Однако повсеместную известность начинание получило после масштабного празднования 5 сентября 1987 года 850-летия Москвы. Среди множества разнообразных мероприятий уже тогда нашлось место и историко-транспортному наследию. По закрытому для обычного движения Садовому кольцу состоялся масштабный пробег автомобилей-экспонатов Музея истории производственного объединения «Москвич» (ныне большинство тех машин сохраняются муниципальным «Музеем Московского транспорта»), к сожалению, закрытым для посетителей до 2024 года и демонстрируются только в ходе эпизодических автопробегов, временных выставок типа «Мечта москвича» на ВДНХ в 2021–2022 гг. и др.). На Бульварном кольце по сохранившемуся фрагменту любимого многими поколениями москвичей кольцевого трамвайного маршрута «А» – «Аннушки» – были впервые проведены экскурсии в комплексно реста-



вированном специально к той дате отечественном четырёхосном трамвайном вагоне КМ № 2170 1929 года выпуска. Обширная территория ВДНХ стала местом показа исторических легковых автомобилей, сохранившихся и реставрированных собственными силами «автолюбителей», большинство которых объединял основанный еще в 1976 году московский клуб САМС – «Следопыты авто-мотостарины». Один из его членов – М. В. Атаманов – специально к этому событию завершил реставрацию до ходового состояния одного из немногих экземпляров автомобиля-прототипа «Мерседес-Бенц 540К», изготовленного в Германии в 1935 году и попавшего в СССР в качестве военного трофея. А музыкантов на концертную эстраду у Южного входа ВДНХ доставлял, к немалому удивлению и восторгу зрителей, «старый извозчик» в пролетке, воссозданной на основании архивных фотографий, о полном и давнем исчезновении которых с московских улиц так сожалел тогда в одной из своих лирических песен Булат Окуджава.

Еще более масштабной и разноплановой стала историко-транспортная компонента Дней Города Калинина (как на протяжении 1930–1991 годов именовалась древняя Тверь) 1988 и 1989 годов. Состоялся парад автомобилей и мотоциклов прошлых лет, сохранённых местными умельцами в ходовом состоянии. Среди них был тяжёлый «Харлей Дэвидсон» с боковым прицепом-«коляской», полученный по ленд-лизу из США во время Великой Отечественной войны и сохранивший номерной знак Калининской области образца 1960-х гг. Во время экскурсии в воссозданном на базе служебного вагона трамвае-ретро по существовавшей тогда кольцевой линии вокруг центра города, калининцам и их гостям предлагался ещё и полёт над городом в самолёте-биплане Ан-2 с простейшего грунтового аэродрома [13–14].

Первый опыт создания Музея городского электротранспорта в Ленинграде

29 сентября 1987 года исполнилось 80 лет со дня появления в Ленинграде первой трамвайной линии современного типа: с вагонами, оснащёнными тяговыми электродвигателями, которые питались энергией от верхней контактной сети. Трамвайно-троллейбусное управление Ленгорисполкома (ТТУЛ, ныне ГУП «Горэлектротранс») выдвинуло инициативу отметить юбилей созданием Музея натур-

ных вагонов в ленинградском Трамвайном парке имени Володарского (ныне № 7)¹. За короткое время на открытых путях этого предприятия недалеко от станции метро «Пролетарская» предстали реставрированные хотя бы косметически: двухосный прицепной вагон середины XX в. для зимнего посыпания путей песком; пережившие блокаду четырёхосные трамваи-«американки» ЛМ+ЛП-33; два элегантных послевоенных четырёхосных ЛМ-57 (№ 5148 и № 7176); подъёмные краны и грузовые вагоны на различной базе. Отведённые Музеем четыре боковых пути вместимостью каждый по 4 типичных тогда для Ленинграда четырёхосных трамвая 15-метровой длины и еще один путь покороче оставались заполненными не до конца. Между ними сложили бульжник и кубики брусчатки, извлечённые при капитальных ремонтах и модернизациях старейших ленинградских линий, предполагая воссоздать летом следующего 1988 года фрагменты дорожных покрытий, наиболее типичных для периода службы в городе каждого конкретного вагона-экспоната. Формального штата Музей не получил: вагоны находились под круглосуточным наблюдением вахтёров трамвайного парка. В дневное «межпиковое» время те же вахтёры допускали к вагонам-экспонатам одиночных посетителей, а организованные группы любителей транспортной истории предполагалось доставлять на «музейную площадку» в исторических или, по контрасту, новейших вагонах. Работавший тогда в системе ТТУЛ видный ленинградский коллекционер открыток транспортной тематики М. В. Нарциссов сконструировал легкий металлический навес для защиты экспонатов [15]. «Перестройка», однако, развивалась стремительно и спустя несколько лет создание Музея в трамвайном парке имени Володарского прекратилось, часть вагонов-экспонатов была утрачена. Ныне существующий крупный Музей городского наземного транспорта в бывшем Василеостровском «трампарке» 1907 года постройки на Среднем проспекте Васильевского острова начал формироваться лишь спустя десятилетие: уже в совершенно иных социальных и экономических условиях России 1990-х годов.

¹ Эксплуатационные предприятия Санкт-Петербургского трамвая с момента их основания в XIX в. и до настоящего времени продолжают именоваться трамвайными парками, сокращенно «трампарками», тогда как аналогичные предприятия большинства иных городов СССР ещё в начале 1930-х годов были переименованы в «депо».

150-летие отечественных железных дорог

Наиболее масштабным, весомым историко-транспортным событием СССР всей «перестроечной эпохи» следует бесспорно признать празднование 150-летия открытия первой в стране общедоступной железной дороги с механической тягой. Та связала в ноябре 1837 года Санкт-Петербург и Царское Село (ныне станция Детское Село в черте города Пушкина), а ещё через год была продлена до Павловска. Пережив неоднократные модернизации, 26-километровая линия продолжает функционировать вплоть до настоящего времени, с 1920-х гг. – в составе Октябрьской железной дороги. Неудивительно, что именно возглавлявший ее в 1970-е годы В. В. Чубаров выступил инициатором создания Центрального музея Октябрьской железной дороги (ЦМОЖД), открытого в 1978 году. Однако, помещения, выделенные музею в дорожном Доме культуры недалеко от исторического комплекса Варшавского вокзала 1850-х годов, были достаточными для сохранения и экспонирования лишь документальных, изобразительных и мелких вещественных памятников, тогда как железная дорога по определению ассоциировалась для широкой общественности прежде всего с локомотивами, вагонами, семафорами и т. п., многочисленные и разнообразные, часто уже ставшие уникальными натурные образцы которых были выявлены сотрудниками ЦМОЖД и активом добровольных помощников на различных участках магистрали. Поэтому В. В. Чубаров и сотрудница музея В. И. Мисаилова выступили с инициативой отметить 150-летие «Царскосельской чугунки» устройством у остановочного пункта «16-й километр» её исторической трассы площадки с несколькими рельсовыми путями для экспонирования хотя бы под открытым небом выявленных образцов исторического подвижного состава. К сожалению, тот участок оказался сильно заболоченным, требовалась его отсыпка, и вскоре стало очевидно, что завершить проект к исторически достоверной знаменательной дате не удастся [16].

«Царскосельская чугунка» начала действовать 30 октября 1837 года по «старому», юлианскому календарю, однако ее 150-летие постановили отметить торжественной церемонией 14 ноября 1987 года. Первоначальный – Царскосельский – вокзал, открытый в 1837 году, был к началу XX века заменён

более просторным и монументальным, получившим затем наименование Витебского. К юбилейной дате его дополнили стеклянным павильоном с моделью-репликой в натуральную величину самого первого поезда 1837 года. Этот оригинальный замысел был реализован по инициативе студентов-дипломников Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта В. Дмитриева и П. Иминова под руководством преподавателя Б. Януша. Котел, топку, дымовую коробку паровоза «Проворный» воссоздали опытные мастера локомотивного депо Ленинград-Сортировочный-Витебский; кованые колёсные пары поступили из Ленинграда-Финляндского; двухосный тендер – из Выборга; литой бронзовый сухопарник с – Канонерского судоремонтного завода; окончательно собрали локомотив в депо Ленинград-Балтийский [17]. Состав из четырех вагонов был сформирован по принципу убывания их классности, начиная от паровоза: по-кадетному роскошно отделанная «берлина», чуть более аскетичный «дилижанс», простонародные «шарабан» и «линейка». Ограниченный участок вокзальной территории, выделенный для установки поезда-памятника, не позволил, к сожалению, воспроизвести ещё и открытую двухосную платформу, на которую полтора века назад желающие могли заехать прямо в собственном конном экипаже. Тогда подобная, забытая впоследствии, услуга пользовалась спросом, и возрождается теперь силами современного АО «Российские железные дороги (РЖД)» применительно к легковым автомобилям и мотоциклам [10].

Эта полномасштабная модель-реплика первого поезда «Царскосельской чугунки» была задумана и выполнена для неподвижного экспонирования, т. к. колея её, в соответствии с историческим прототипом, заметно превышала принятую сегодня в России 1520 мм (5 английских футов). Обеспечивая длительное сохранение модели под открытым небом, коллектив строительно-монтажного поезда № 707 Дорстройтреста возвёл над ней остеклённый павильон из лёгких металлических конструкций. К сожалению, при этом не удалось обеспечить удобство не только фотографирования, но и просто осмотра уникального состава: слишком частые металлические переплеты витражей буквально дробили единый образ на отдельные фрагменты, полностью перекрывали видимость целого ряда



любовно воссозданных колоритных деталей, затрудняли частую очистку стёкол от неизбежных в городских условиях пыли и грязи. Спустя три десятилетия, при подготовке Витебского вокзала к приему многочисленных участников и гостей проводившихся в Санкт-Петербурге матчей чемпионата мира по футболу 2018 года, павильон пришлось демонтировать, и с тех пор модель первого поезда находилась во вновь созданном уже в первой четверти XXI века Южном комплексе Малой Октябрьской (в просторечии – «Детской») железной дороги у станции Царскосельская исторической трассы на Царское Село.

В рамках юбилея в здании Витебского вокзала была развёрнута выставка открыток с железнодорожными пейзажами различных эпох и регионов, предоставленных ленинградскими коллекционерами, в частности Михаилом Викторовичем Нарциссовым. А у перрона, эффектно подсвечивая клёпанные металлоконструкции дебаркадера начала XX века сполохами огня из топки, дымил и шумно выпускал пар приведённый в рабочее состояние паровоз О^в 324 с трёхосным тендером и составом из восьми двухосных вагонов «дачного» (пригородного) типа той же исторической эпохи. Правда, паровоз был «товарным», предназначенным для вождения грузовых поездов, но исторической достоверности это отнюдь не противоречило: в отечественной военно-революционной суматохе первой половины XX века специализированного пассажирского локомотива вполне могло не отыскаться, и для обслуживания короткого пригородного рейса тогда задействовали бы именно грузовой. Котёл «овечки», как любовно именовали данную разновидность локомотива железнодорожники, незадолго перед юбилейной церемонией вновь освидетельствовали на полное рабочее давление пара, предусмотренное заводом-изготовителем в 1903 г., а собранные по нескольким путевым машинным станциям (ПМС) вагоны рубежа XIX–XX веков прошли капитально-восстановительные ремонты в депо Москва-Октябрьская (5 вагонов) и Великие Луки (3 вагона) [10]. Тем не менее, этот поезд-ретро сочли за благо так и оставить на всё время проведения торжеств неподвижным, приняв во внимание его «почтенный возраст» и ненастно-снежную погоду.

В полдень 14 ноября 1987 года, после трёх ударов сигнального колокола, возвращённого по такому случаю из музейных фондов на перрон Витебского вокзала, официальные гости юбилея отправились по исторической трассе в Павловск другим поездом-ретро, напоминавшем о гораздо более близкой эпохе. Один из последних отечественных пассажирских паровозов ПЗБ–0249 1956 года выпуска, прибывший из депо Сосногорск Северной железной дороги, встал во главе состава из выпущенных по проекту 1962 года цельнометаллических вагонов (ЦМВ) «межобластного типа» с креслами самолетного вида в общих салонах. Это был первый в отечественной практике поезд-ретро, организованный именно в историко-просветительских целях, а не для съёмок исторического кинофильма. Несмотря на ненастную погоду на вокзале собралось гораздо больше желающих совершить поездку, чем могли бы вместить вагоны. На перроне в направлении эффектно дымившего и свистевшего паровоза ПЗБ–0249 был выстроен подлинный «живой коридор», в процессе движения по которому предъявители официальных приглашений оказывались в вагонах поезда-ретро, а гораздо более многочисленная «неорганизованная публика» – в стоявшем на параллельном пути электропоезде новейшего тогда типа ЭР2Т (№ 7090). Изготовленный в конце октября 1987 года и окрашенный в непривычный для СССР голубой цвет, он предназначался для эксплуатации на гораздо более оживленном Московском железнодорожном узле, и, прибыв в Ленинград ради участия в праздничной программе, удивлял местных пассажиров расклеенными в вагонах схемами подмосковных перегонных.

Та «голубая электричка», отправившись с минимальным интервалом вслед за паровым поездом, проследовала всю историческую трассу до Павловска без остановок. Оставалось лишь пожалеть, что эта юбилейная поездка не сопровождалась даже кратким рассказом по поездной радиосети об истории железных дорог и/или, допустим, трансляцией широко известной «Попутной песни» Михаила Глинки: «В чистом поле мчится поезд...». С ещё большим огорчением многие гости праздника обнаружили, что из исторических недвижимых памятников этой линии сохранился только фрагмент дебаркадера на станции Детское (до весны 1917 года – Цар-

ское) Село. Между тем некоторые ленинградские художники предлагали оперативно изготовить и расставить вдоль трассы к празднику хотя бы фанерные силуэты утраченных строений, развесить холсты с увеличенными изображениями тех же, экспонировавшихся на Витебском вокзале, старых открыток, но поддержки в этом они не нашли [17].

Прибыв всего через 20 минут к высокой «островной» платформе станции Павловск, пассажиры обоих юбилейных поездов оказались в окружении исторического подвижного состава. Здесь замерли внушительной колонной:

- паровозы Эр 762–90 1950 г. (депо базирования Сортавала), Эм 730–31 1931 г. (Ржев), СОм 17–515 1938 г. (Ленинград-Сортировочный), ТЭ 5694 1943 г. (Дно; многие гости осуждали включение этой «трофейной немки» в экспозицию!), ПЗ6–0001 954 г. (Ленинград-Финляндский);

- тепловозы: ТЭ1, ТЭ2, ТЭ3, ТЭМ1, ВМЭ1, ТЭ7, ТЭП60;

- электровоз ВЛ23;

- почтово-багажный вагон, в котором, судя по табличке, доставили для захоронения в Москву тело С. М. Кирова;

- современные четырехосные крытый грузовой вагон и платформа;

- дореволюционные двухосные цистерна грузоподъемностью 15 т;

- нетормозной «Нормальный Товарный Вагон (НТВ)»;

- редкая даже в эпоху её использования 1930–40-х гг. двухосная «бронеплощадка» для прикрытия поездов от вероятного воздушного противника огнём зенитных пулемётов.

Вторую, более короткую, колонну составили: паровозы Л-2112 1949 года (Псков), 9П-15387 1954 года (Дно), ФД20–763 1933 г. (Малая Вишера), Су 253–82 1947 года (Выборг), а также Вагон-музей Октябрьской железной дороги. Последний, обычный с виду ЦМВ (пассажирский цельнометаллический вагон по отечественному проекту 1946 года, оказавшемуся чрезвычайно удачным и применяемому, с самыми минимальными модернизациями, вплоть до настоящего времени) служил на празднике импровизированным кинозалом, где демонстрировался документальный фильм о современных памятниках Октябрьской железной дороги.

Из выставлявшихся паровозов наивысшим качеством реставрации и подготовки к показу

отличался миниатюрный промышленный 9П-15387: только на нём были навешены дышла, полностью удалены рубероид и деревянные крышки консервации.

В Павловском парке, где завершалась, вплоть до гитлеровской оккупации осенью 1941 года, тупиковой станцией Павловск-1 первая российская «чугунка», под сводами «Круглого зала» середины XIX века была развёрнута экспозиция об утраченном перегоне и его знаменитых пассажирах. Среди них был «король вальса» Иоганн Штраус-младший: он выступал в специально устроенном концертном зале вокзала Павловск-1 с 1856 по 1865 годы и в 1869 году, что было увековечено художественным кинофильмом советского режиссера Яна Фрида «Прощание с Петербургом».

Отметим, что в программу юбилейных торжеств вошла также экспозиция новейшей для 1987 года железнодорожной техники, развёрнутая на путях ещё одного ленинградского вокзала – Финляндского, который был сильно разрушен в годы Великой Отечественной войны и, единственным в городе, восстановлен затем в модернистском стиле. Ну а в целом, организация торжеств и полнота представления натурной исторической техники ничем не уступали увиденному лично автором этой статьи при праздновании в 1997 году аналогичного, 150-летнего юбилея железных дорог Швейцарии [18].

Описанные торжества к 150-летию отечественных железных дорог вдохновили известного кинорежиссера Аллу Сурикову на создание комедии «Чокнутые». Для съёмки нескольких эпизодов модель поезда 1837 года извлекалась из павильона и приводилась в движение невидимым для зрителей буксирным тросом, дым и пар от локомотива имитировали средствами пиротехники. К сожалению, всё это не помогло добиться полной исторической достоверности, фильм не произвёл заметного впечатления на специалистов в области истории.

Между тем, явно недостаточные продуманность и последовательность осуществления «перестройки» вскоре же обернулись заметным ухудшением социально-экономического положения СССР. Достроить упоминавшуюся выше сравнительно небольшую, с тремя путями, музейную площадку железнодорожной техники на 16-м километре исторической трассы в Павловск удалось лишь



ко Дню Железнодорожника в первое воскресенье августа 1989 года, а открыть там первую экспозицию – ещё через два года. Все это время, по окончании юбилейных торжеств, скрупулезно реставрированные локомотивы и вагоны хранились рассредоточенными и недоступными для посещения, часто в далеко не лучших условиях, в различных депо, а то и просто на запасных путях станций. Долгожданному открытию экспозиции во многом способствовал личный энтузиазм сотрудника ЦМОЖД М. М. Рязанцева, который и стал первым заведующим этой музейной площадкой. Для дополнительного привлечения посетителей, ближайший остановочный пункт пригородных электропоездов переименовали из безликого «16-й километр» в «Паровозный музей», хотя экспозиция включала практически все разновидности подвижного состава.

Важным, но оставшимся почти незамеченным событием стало открытие 4 августа 1989 года (к очередному Дню Железнодорожника) первого в СССР музея с обширной экспозицией натуральных образцов крупной железнодорожной техники на вокзале Ташкент-Северный (он же Ташкент-Центральный) в Узбекистане. Создание музейной экспозиции стало возможным благодаря инициативе и энтузиазму Николая Белогузова, железнодорожника в четвёртом поколении, командированного в начале 1980-х годов из центрального аппарата МПС СССР для улучшения работы Среднеазиатской железной дороги [19]. Он нашёл выход в максимальном обновлении и унификации тягового подвижного состава. На магистрали эксплуатировалось 40 серий паровозов и тепловозов, включая выпущенные ещё в начале XX века, все чаще выходившие из строя, испытывавшие проблемы в снабжении запасными частями и расходными материалами. Н. Белогузов, сумев заручиться поддержкой Гейдара Алиева, Владимира Долгих и Егора Лигачёва, в короткие сроки заменил подвижной состав немногочисленными современными локомотивами, а наиболее выдающиеся экземпляры устаревшей техники выставил на специально оборудованной площадке в Ташкенте. Сегодня эта экспозиция насчитывает 13 паровозов, 17 тепловозов, 3 электровоза, 10 вагонов различных модификаций, а также образцы дорожной и строительной техники, расположенные на столь обширной территории, что для проведения экскурсий там даже проложена узкоко-

лейка с собственным миниатюрным поездом. Ну а своеобразной «визитной карточкой» Музея служит установленный при входе на территорию узкоколейный паровоз типа Кч4, выпущенный в 1950-х гг. известным заводом «Шкода» в Чехословакии.

100-летие городского транспорта в Таллине

Август 1988 года был отмечен масштабными торжествами по случаю столетия городского транспорта Таллина. За точку отсчета при этом приняли пуск конного трамвая. Эстония 1988 года уже активно боролась за «суверенитет от СССР», и выставленные натурные образцы трамвайных вагонов различных исторических эпох были окрашены не в соответствии с правилами времен их эксплуатации, а белыми, черными и синими полосами государственного флага независимой Эстонской Республики 1920–1930-х гг. [11].

Юбилею предшествовали достаточно долгие поиски, увенчавшиеся обнаружением в одном из подсобных помещений колёсных пар трамвайного вагона конной тяги, изготовленных, судя по клеймам в 1914 году. На них водрузили воссозданный с использованием архивных документов деревянный кузов «летнего», открытого по бортам, вагона № 10. Вечером исторически достоверной даты пуска конного трамвая – 22 августа 1988 года – один из современных трамвайных вагонов доставил эту «конку» на буксире к конечной станции «КадрIORг», где размещалось когда-то первое городское трамвайное депо конной, а с 28 октября 1925 года – электрической тяги. Самодеятельные актёры из числа транспортников воспроизвели церемонию вековой давности: после придирчивого осмотра вагончика «генерал-губернатором» и освящения его «духовным лицом», кучер в аутентичной униформе запряг коня по кличке Пат, была разрезана красная ленточка и заполненный одетыми по моде 1888 года пассажирами вагон неспешно двинулся через бурно ликовавшую толпу прежним своим маршрутом к центру города. Следом отправились трамваи электрической тяги: двухосный, изготовленный совместными усилиями нескольких предприятий суверенной Эстонии в 1935 году, и дважды шарнирно-сочленённый (электротранспортники многих стран неофициально именуют данную разновидность

подвижного состава «две комнаты с ванной») G4–61. Крупная партия последних поступила в уже советский Таллин в 1960-х гг. с завода-изготовителя Gotha («Гота») из ГДР, и к столетию пуска трамвая решили приурочить их окончательное списание.

Уникальной для СССР и редкой даже в мировом масштабе особенностью истории Таллинского трамвая было то, что на смену конной тяге там, вскоре после Первой Мировой войны, были внедрены отнюдь не электрические, а сначала автомобильные двигатели. Такой, используя местную терминологию, «бензомоторный» подвижной состав использовался затем вплоть до середины 1952 года, а последний вагон – ещё тремя десятилетиями более в качестве служебно-разъездного. К сожалению, всего за пять лет до описываемого трамвайного юбилея, в ставшем уникальным вагоне произошло возгорание, сильно повредившее его внешний облик, и никто из современных транспортников не попытался организовать реставрацию хотя бы внешнего облика столь необычного транспортного средства. Символом «бензомоторной эпохи» в истории трамвая стал на юбилейном параде двухосный вагон типа Т-57, закупленный в ГДР много позже, в конце 1950-х гг., и, после двух десятилетий пассажирской службы, оснащённый двигателем внутреннего сгорания для обслуживания ремонта трамвайных линий с отключением напряжения в контактной сети.

Поскольку точная дата столетия таллинской «конки» пришлась на понедельник, парад повторили затем в ближайшую субботу, даже несколько расширив программу, чтобы познакомить с транспортной историей и современностью как можно больше таллинцев и туристов. Достойными творческого заимствования представлялись включение в парадную колонну, наряду с реставрированными историческими вагонами, редко наблюдаемого рядовыми горожанами всевозможного специализированного подвижного состава и проведение Дня открытых дверей в трамвайном и троллейбусном депо Таллина.

На транспорте водном

В июне 1966 года было организовано Всероссийское Общество охраны памятников истории и культуры (ВООПИК), призванное вовлечь широкие массы неравнодушных граждан в процесс сохранения и пропаганды

материального наследия отечественной старины. С началом «перестройки» ВООПИК попыталось распространить свою деятельность не только на традиционные архитектурные, мемориальные, но и на научно-технические памятники. Наибольший, пожалуй, успех был достигнут в сохранении и музеефикации крупного и своеобразного раритета не только водного, но и железнодорожного транспорта – парома ледового класса «Ангара». Наряду с утраченным ещё в 1920-е годы аналогичным паромом «Байкал» он был заказан корабелам Ньюкасла (Великобритания) для ускорения достройки знаменитой Транссибирской железнодорожной магистрали, поезда которой начали переправлять паромами через озеро Байкал, не дожидаясь долгого и трудоёмкого сооружения многочисленных береговых тоннелей и виадуков по трассе. К навигации 1900 года паром «Ангара» был собран из доставленных британцами заготовок и агрегатов в прибайкальском посёлке Лиственичное, достигнув внушительных даже и по современным меркам водоизмещения 1400 тонн и регистрового тоннажа 250 тонн, при габаритных размерах 61 x 10,7 x 4,7 метра. После достройки шесть лет спустя Кругобайкальской железной дороги по южному берегу озера, такое крупное судно оказалось фактически невостребованным, три раза ставилось на длительную консервацию (1906–1916, 1929 – середина 1930-х, 1949–1960) и, в конце концов, было списано как физически и морально устаревшее в 1975 году. Однако достаточно многие речники и просто неравнодушные жители Иркутска, где базировался паром, выступили за сохранение реликвии.

В 1982 году «Ангару» постановили ошвартовать к технологическому причалу, сооружённому ещё в 1950-х гг. для возведения Иркутской гидроэлектростанции и впоследствии не использовавшемуся. Решение вопросов с выделением охраны, не говоря уже о реставрации и музеефикации затянулось и в 1983 году обветшавшие швартовы не выдержали, судно «сорвалось в неуправляемый дрейф», частично затонув перед самой плотиной ГЭС. И лишь в уже «перестроечном» 1987 году, когда профессиональные речники, да и многие рядовые советские граждане были немало напуганы трагической гибелью на Черном море пассажирского парохода «Адмирал Нахимов» [20], именно Иркутскому областному отделению ВООПИК





удалось решить все проблемы. 5 ноября 1990 года, вопреки заметно ухудшившейся экономической и социально-политической ситуации в СССР, музеефицированный, пусть и не без досадных утрат, паром «Ангара» принял первых посетителей как плавучий музей. Ныне – это старейшее судно ледового класса в Российской Федерации, и одно из трёх старейших в мире (наряду с сохраняемыми в Финляндии BERE 1894 года и TARMO 1907 года); его планируется сделать центром создаваемого масштабного культурно-туристского комплекса «Ворота на Байкал» [21].

На гораздо более доступной для массового туризма «главной улице России» – реке Волге – весь «перестроечный» период, по навигацию 1990 года включительно, продолжали курсировать, наряду с современными лайнерами, последние два колёсные парохода из числа созданных расположенным в Нижнем Новгороде Сормовским заводом в ознаменование празднования в 1913 году 300-летия императорской династии Романовых: «Володарский», вышедший в свой первый рейс как «Великая княгиня Ольга Николаевна» 14 июля 1914 г., и «Спартак» – под именем «Великой княгини Татианы Николаевны» 30 июля 1914 года. На момент постройки эти лайнеры рекламировались как лучшие в мире речные суда [22]. Однако, к концу XX в. понятия россиян о комфорте и совершенстве водного транспорта коренным образом изменились. Попытка уже в условиях «перестройки» летом 1988 г. задействовать эти суда не для обычных «транзитных» грузопассажирских рейсов, а в ностальгических круизах с организованными туристскими группами

вызвала множество жалоб на тесноту кают и салонов, отсутствие кондиционеров, плавательных бассейнов и прочего [23]. Владевшее тогда уникальными судами Волжское объединенное речное пароходство (ВОРП) приступило к разработке плана их технической модернизации, при максимально возможном сохранении колоритных внешних особенностей, в расчёте на дальнейшую регулярную эксплуатацию как минимум до 2000 года. В дальнейшем пароходы обещали сделать уже неподвижными плавучими гостиницами с обширными музейными экспозициями и обеспечением безопасного доступа посетителей к сохраняемому бортовому оборудованию: котлам, паровым машинам, электрическим генераторам, многому иному. К сожалению, в наступившую затем противоречивую эпоху 1990-х годов сохранить уникальные пароходы не удалось. Остается лишь посмертно благодарить известного кинорежиссера Эльдара Рязанова, подробно, включая капитанские мостики и машинные отделения, запечатлевшего оба судна в художественном фильме 1983 года «Жестокий романс».

«Финальные аккорды»

Важным достижением «перестройки» следует признать развитие и усиление международного сотрудничества. Летом 1989 года Каталонский автомобильный клуб из Испании организовал автомобильный «Олдтаймер-пробег» по внушительному даже и для современной техники трансконтинентальному маршруту Барселона – Москва – Барселона. Участники, прибывшие на уникальных экземплярах легковых машин Essex, Nash, Hotchkiss, Hispano-Suiza, были приятно удив-

лены, в частности, качеством реставрации московских Mercedes-Benz 130 X и ALPHA-ROMEO 6C2500C. Московских любителей пригласили совершить ответный пробег в Барселону, состоявшийся летом следующего 1990 года. Тем временем, в ноябре 1989 г. через территорию СССР из Западной Европы на Дальний Восток впервые проследовал ностальгический «Восточный экспресс», комфортабельные четырёхосные вагоны которого, изготовленные в период между двумя мировыми войнами в расчёте на «стефенсовскую» ширину колеи в 1435 мм, были достаточно оперативно переставлены для этого на тележки КВЗ отечественной колеи 1520 мм.

25 июля 1990 года Указанием МПС СССР № 185.У было создано Всесоюзное (после распада СССР Всероссийское) общество любителей железных дорог (ВОЛЖД). Его основные цели и задачи в соответствии с Уставом и Программой: сохранение и пропаганда исторического наследия железнодорожного транспорта, создание положительного образа железных дорог в глазах широкой общественности, удовлетворение познавательного интереса к железной дороге, просвещение и профориентация, развитие железнодорожного моделизма, справочно-информационная деятельность. Изначально в ВОЛЖД предполагалось также создание Секции детских железных дорог, но те учреждения раннего профессионального образования, получившие широкое распространение именно в СССР ещё со второй половины 1930-х годов, управлялись достаточным количеством профессионального персонала, ориентируясь не на сохранение исторического наследия, а, напротив, на перспективное развитие отрасли.

Летом 1990 года один из порождённых «перестройкой» многопрофильных кооперативов – «ДЕКОР» – приобрел утратившую к тому времени утилитарное значение сеть узкоколейных (750 мм) железных дорог Переяславского торфопредприятия Ярославской области с перспективой превращения линии в музейно-заповедную. Этот проект получил далеко не однозначное развитие уже в «постперестроечную эпоху».

В конце 1980-х годов для совершенствования и координации деятельности по выявлению и сохранению памятников науки и техники Всесоюзный НИИ культуры, Госу-

дарственный исторический музей, Секция памятников науки и техники при Президиуме Центрального совета ВООПИК; Министерство культуры РСФСР и Политехнический музей разработали серию методических рекомендаций, ставя своей целью создание сводных научных каталогов памятников по различным направлениям науки и техники, находящихся в музейных фондах. Один из выпусков методических рекомендаций был посвящён паровозам и подготовлен А. С. Никольским – доцентом Московского инженерно-строительного института (ныне – Технический университет), внёсшим исключительно большой вклад в дело сохранения и пропаганды материального наследия истории отечественных железных дорог на протяжении 1960–2000-х годов. Он писал: «Паровозы как памятники науки и техники могут характеризовать различные этапы машиностроения, развития механики, промышленности, металлургии, приборостроения, электро- и теплотехники, связи и других научно-технических дисциплин. Многие памятники паровозостроения являются одновременно мемориальными памятниками, так как причастны к выдающимся историческим деятелям и событиям... Каждый сохранившийся паровоз и любая его деталь в принципе являются памятниками техники, поскольку паровозостроение в СССР закончилось достаточно давно, а ценность памятника определяется не только научной и технической значимостью, но и его возрастом. Историческая техника должна шире использоваться в работе по воспитанию подрастающего поколения. Однако, нет возможности и необходимости музеефицировать все отслужившие машины. Металл паровозов, исключаемых из инвентарных списков, большей частью должен возвращаться в фонд государства путем переплавки. Вместе с тем совершенно недопустимо уничтожение редких, иногда уникальных образцов. В принципе, каждая распространённая серия локомотивов должна быть сохранена в виде нескольких или, по крайней мере, одного паровоза-памятника... Каждый паровоз состоит из 5–6 тысяч деталей, значительная часть которых доступна для осмотра» [24, с. 5–6].

«Создание центрального музея натуральных образцов локомотивов или даже нескольких таких музеев в стране не сможет заменить работ по сохранению отдельных памятников



на местах. Местные памятники развития техники призваны играть большую роль в пропаганде исторического наследия и привлечения новых поколений к техническим специальностям. К сожалению, в настоящее время есть много крупных железнодорожных узлов, где не осталось практически никакого зримого напоминания о недавнем прошлом, например, об эпохе первых пятилеток» [24, с. 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, совсем краткая историческая эпоха «перестройки», оборвавшаяся в конце 1991 года распадом СССР с резким дальнейшим изменением социально-политического курса практических всех бывших союзных республик, оказалась в целом более чем благодатной для поиска, сохранения и пропаганды материального движимого и недвижимого наследия истории отечественного транспорта. И, хотя эту деятельность еще не удалось вывести тогда на уровень лучших мировых стандартов, были накоплены, а в целом ряде случаев и спасены от неоправданных утрат заметные первоначальные фонды, ставшие прочным базисом для достижений уже следующего, принципиально нового исторического этапа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородов А. Б., Елисеева Н. В., Шестаков В. А. Перестройка и крах СССР. 1985–1993. – СПб.: Норма, 2010. – 216 с. ISBN 978-5-87857-162-3.
2. Шубин А. В. Парадоксы перестройки: упущенный шанс СССР. – М.: Вече, 2005. – 480 с. ISBN 5-9533-0706-3.
3. Шлеева М. В. Памятники науки и техники в культурном пространстве России // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2019. – М.: ИИЕТ РАН, 2019. – С. 703–706. EDN: NDVZQP. ISBN 978-5-00140-342-5.
4. Шлеева М. В. Работы по истории техники и изучение памятников науки и техники // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, посвященная 85-летию ИИЕТ РАН (2017). – М.: ИИЕТ РАН, 2017. – С. 359–362. EDN: ZXCUDB. ISBN: 978-5-8037-0712-7

5. Шлеева М. В. Памятники судостроения в культурном пространстве России XVIII–XIX вв. // История техники и музейное дело: Материалы международной конференции. – М.: Политехнический музей, 2014. – С. 56–57.

6. Шлеева М. В. Музеефикация памятников науки и техники в СССР // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2014. Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. – М.: ИИЕТ РАН, 2014. – С. 565–569. EDN: WXYOQZ.

7. Памятниковедение науки и техники: теория, методика, практика. Сб. науч. тр. – М., 1988. – 214 с. EDN: YWGUIE.

8. Методические рекомендации по выявлению, отбору и научному описанию памятников науки и техники в собраниях музеев: (Общ. вопр. классификации, отбора и методики паспортизации памятников) / ИИИ культуры, ГИМ, АН СССР. Ин-т истории естествознания и техники. – М., 1986. – 155 с.

9. Национальный горнозаводской парк. Структура, задачи, перспективы создания: Сб. научн. статей / Под ред. И. Г. Семенова. – Нижний Тагил, 1998. – 96 с.

10. Берзин А. А. 150 лет железных дорог СССР. Опыт историко-технической экспозиции // Памятники науки и техники. 1989. – М., ИИЕТ АН ССР, 1990. – С. 172–180.

11. Оландер А. Демонстрация исторической техники к 100-летию Таллинского трамвая 1988 г. // Памятники науки и техники. 1990. – М., ИИЕТ РАН, 1992. – С. 178–186.

12. Памятники науки и техники в музеях России: альбом / Науч. ред. Г. Г. Григорян. – М., 1992–2014. – Вып. 1–5.

13. Семенов Н. М. Тверитянский «перспективы» // Русский Турист. – 1995. – № 3. – С. 2.

14. Семенов Н. М. Памятники истории Отечественного транспорта в облике города Твери // Вопросы истории естествознания и техники. – 2019. – Т. 40. – № 3. – С. 482–497. EDN: WMKAVK.

15. Семенов Н. М. Музеи наших коллег // Ленинградские магистраль. – 1990. – 27 июня.

16. Погодин С. Л. Музей железнодорожной техники в Шушарах // Железные дороги. Музеи. Моделизм. – Житомир, 1994. – С. 7–15.

17. Семенов Н. М. Услуга пушкинских времён // Гудок. – 1988. – 14 декабря.

18. Семенов Н. М. Юбилей швейцарских магистралей // Железнодорожное дело. – 2003. – № 44. – С. 21–24.

19. Иванова А. От Заполярья до Афганистана. История о человеке, создавшем Северный Артек и крупнейший в СССР Музей паровоза // Гудок. – 2015. – 26 февраля. – С. 7.

20. Кулишкина И. В. Пароход «Адмирал «Нахимов» от А до Я. – Одесса: Оптимум, 2011. – 105 с.

21. Докукина К. Ледокол и паровоз // Иркутский репортёр. – 2011. – 4 июня.

22. Богданов Б. В. 70 навигаций ветерана. – Горький, 1985. – 141 с.

23. Семенов Н. М. Куда держишь курс, «Володарский»? // Турист. – 1988. – № 10. – С. 15.

24. Никольский А. С. Методические рекомендации по выявлению, отбору и научному описанию памятников науки и техники. Паровозы. – М., 1990. – 19 с. ●

Информация об авторе:

Семенов Николай Михайлович – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Отдела истории техники и технических наук Института истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН (ИИЕТ РАН), attmg@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.02.2023, одобрена после рецензирования 17.05.2023, принята к публикации 21.05.2023.



Двадцатипятилетие инженерной и учёной деятельности Н. А. Белелюбского

(доклад А. Н. Горчакова в Императорском Русском техническом обществе в 1892 году)



Пресс-архив

Воспроизводимый доклад в Императорском Русском техническом обществе был впервые опубликован в журнале «Железнодорожное дело» в 1892 году. Он посвящён деятельности Н. А. Белелюбского, известного инженера-мостостроителя, внёсшего значительный вклад в развитие инженерного транспортного дела в России, и по биографии которого можно отследить эволюцию российского железнодорожного мостостроения в XIX веке.

Автором доклада являлся Андрей Николаевич Горчаков (1836–1914), занимавший должности заведующего военно-дорожным отделом полевое управления военными сообщениями действующей армии, инженера министерства путей сообщения, входил в руководство управления казённых железных дорог, работал на частных железных дорогах, был директором департамента железных дорог. В тексте максимально сохранены пунктуация и лексика автора.

Ключевые слова: история науки и техники, транспорт, Н. А. Белелюбский, мостостроение, строительная механика.

Доклад, прочитанный 29 мая 1892 года,
в экстренном заседании членов
III и VIII отделов И. Р. Т. Общества,
председателем VIII Отдела
А. Н. Горчаковым

Милостивые государи! Имя нашего сочлена Н. А. Белелюбского пользуется в инженерном мире, у нас и за границей, такую всеобщую известностью, какая приобретает только многоплодными трудами, а потому мы считаем долгом, в честь уважаемого юбиляра, сегодня, при самом завершении его 25-ти-летней деятельности, сказать, что мы знаем как о нем самом, так и об его трудах.

Николай Аполлонович родился 1-го марта 1845 года в г. Харькове; отец его, инженер путей сообщения Аполлон Васильевич, из дворян Пензенской губернии, известен среди техников, как составитель проекта и строитель водопровода в г. Новочеркасске. Начальное образование Н. А. получил дома, в Ростове-на-Дону, а затем он поступил в 4-й класс таганрогской гимназии, в которой окончил курс с золотой медалью в 1862 году. В том же году Н. А. поступил в Институт инженеров путей сообщения, где дальнейшее образование его шло под сильным влиянием

того общественного направления, которое создавалось у нас после Крымской войны и которое выразилось, между прочим, литературным движением по естественным наукам. Рядом с изучением специально-инженерных наук Н. А. проявил особый интерес к общеобразовательным предметам и с живостью следил за движением вопросов общей культуры. В 1867 году он окончил курс в Институте инженеров путей сообщения с отличием, удостоившись записи на мраморной доске, и оставлен в том же Институте в качестве репетитора; в 1873 году он был избран экстраординарным профессором по кафедре строительной механики, а затем ординарным профессором, которым и состоит поныне. В первые годы своей преподавательской деятельности Н. А. читал, кроме того, лекции в Горном институте, а в настоящее время он преподаёт также курс мостов в Институте гражданских инженеров. С 1881 года он состоит при Министерстве путей сообщения в качестве совещательного инженера.

Техническую свою деятельность Н. А. посвятил преимущественно вопросам по сооружению мостов и по исследованию строительных материалов. Начало её замечательным образом

Благодарность: редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Для цитирования: Двадцатипятилетие инженерной и учёной деятельности Н. А. Белелюбского (доклад А. Н. Горчакова в Императорском Русском техническом обществе в 1892 году) // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 133–140. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-15>.

Текст архивной статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The text of the archival article in English is published in the second part of the issue.

совпадает с началом развития железных мостов раскосной и решетчатой систем, так что, для правильной характеристики Н. А. в этой области, полезно вспомнить, в каком положении находилось искусство сооружения мостов в конце шестидесятых годов.

Известно, что первые балочные железные мосты получили применение в начале развития железных дорог, т. е. в двадцатых годах. Их строили сплошной стенкою, причём размеры назначались путём непосредственного предварительного опыта так как в то время теория распределения усилий в частях балок была ещё мало исследована.

Первые железные мосты со сквозною стенкою построены в сороковых годах по идее деревянных мостов системы Тауна, т. е. решетчатые с плоскими раскосами; этим раскосам приписывалась лишь роль заполнения промежутка между поясами, поэтому размеры раскосов не определялись расчётом, а их назначали одинакового сечения по всей длине ферм (1845 г.). В мостах С.-Петербург-Варшавской железной дороги размеры раскосов уже увеличиваются по мере приближения от середины к опорам, хотя остаются ещё плоского сечения (1864 г.); впрочем в то время уже сознавалась отчасти польза применения жёстких раскосов.

Одновременно с развитием мостов решётчатой системы появились фермы Невилля (1846 г.) и Варрена (1848 г.), состоящие из простых треугольников, а в 1853 году был построен по этой системе известный в литературе Круmlinский виадук. В 1858 году Mobic предложил раскосные фермы с вертикальными стойками, которые получили наибольшее развитие в шестидесятых годах; затем появились видоизменения этих типов, каковы фермы Шведлера, параболические, полупараболические (Лек у Квиленбурга) и др.

Теоретическая сторона мостового искусства находилась в сороковых годах лишь в зародыше и получила слабое развитие после опытов Ферберна, Стефенсона, Годжкинсона, Журавского и др., произведенных ими почти одновременно и преимущественно над моделями мостов. У нас были сделаны первые опыты покойным Журавским в 1845 году и при том прежде, чем были опубликованы английские исследования. Вскоре литература обогатилась сообщением Кульмана, в журнале австрийских инженеров (1851 г.), о распределении усилий в частях однопролётных ферм; в 1855 году явилось сочинение Журавского о мостах системы Гау¹, затем опубликованы были способы расчёта мостов, предложенные

Риттером (1861 г.), Рехневским (1861 г.), Кульманом (1864 г.), и наконец в то же время появилось сочинение Лессли и Шюблера, переведённое на русский язык Н. А. Белелюбским в первый же год по окончании им курса в Институте инженеров путей сообщения. Книга эта получила значительное распространение в России, выдержав два издания, а изложенные в ней способы расчёта применялись для большинства железных мостов, и в настоящее время пользуются тем же сочинением при составлении проектов всякого рода ферм, руководствуясь одновременно результатами дальнейших исследований, которыми так много наградило техников минувшее десятилетие.

При таком положении дела, Н. А. начал первую свою работу участвием в перестройке деревянных мостов Николаевской ж. д., требовавшей подробного выяснения условий возможно быстрой замены их железными мостами и при том без прекращения движения по дороге. Работа эта, по существу своему весьма многосложная, нуждалась в особой заботливости и требовала значительных упрощений; последнее достигнуто приведением всех мостов первой серии, перестроенных в период времени с 1868 по 1872 г., к пяти типам преимущественно раскосных и решетчатых систем. Подробное сообщение по этому вопросу изложено в статье Н. А., напечатанной в журнале Министерства п. с. за 1872 год, из которой усматривается, между прочим, что для перестройки 48-ми мостов потребовалось составить 26 отдельных проектов пролётных частей, не считая каменных и металлических опор. При сравнительной бедности технической литературы в то время, Н. А. предстояло много потрудиться для выяснения условий правильной детализации проектов, что подтверждается рядом статей, напечатанных им тогда в журнале Министерства п. с., например, в 1868 году «Внешняя сила, действующая на мостовые сооружения», в 1871 году «Заметки по поводу построенных и строящихся мостов» и др.

В тот же период времени составлено Н. А. сочинение «Новочеркасский водопровод и данные для проектирования водоснабжений в 1869 году», которое долгое время служило лучшим руководством в этой области техники², а затем в 1870 году, издана им 2-я часть сочинения Лессли и Шюблера, с приложением способа расчёта ферм по Риттеру и со многими добавлениями переводчика.

Далее, в хронологическом порядке, следуют работы Н. А. по составлению проектов мостов системы Шведлера на Московско-Брестской

¹ Исследования и вычисления, относящиеся к раскосым мостам, были сделаны Журавским раньше, чем заграницею. В означенном сочинении рассмотрен впервые вопрос о скалывающих напряжениях при изгибе балок.

² По тому же предмету напечатана Н. А. заметка в Инженерных заметках за 1875 год «Статистика городского водоснабжения».

ж. д. (через р. Березину, 3 пролёта по 25 саж., и через р. Неман, 2 пролёта по 22½ саж.) и на Козлово-Воронежско-Ростовской ж. д. (через р. Калитву, 1 пролёт 30 саж.). Проекты эти показывают, что Н. А. стремился распространить в России некоторое разнообразие конструкций верхнего строения мостов; такое намерение усматривается также из упомянутой выше брошюры о перестройке мостов Николаевской ж. д., где Н. А. сообщает, что исключительно местные условия помешали применить для этих мостов систему ферм с криволинейными поясами, дающую сбережение веса.

Тогда же были изготовлены проекты мостов через р. Оку на Ряжско-Вяземской ж. д. (4 пролёта по 37 саж.), через р. Прут на Кишинёвской ветви Одесской дороги, а ныне Юго-Западных ж. д. (2 пролёта по 32 саж.) и через р. Чусовую на Уральской ж. д. (3 пролёта по 40 саж.). Проект первого из этих мостов, построенного в 1872–1874 г., применён после для моста через р. Ранову по Рязанско-Козловской ж. д. (1879–1884 г.) и в 1882 году он издан Н. А. в виде альбома. Другие проекты также применялись при последующей постройке мостов и в настоящее время почти невозможно указать, в каком числе повторилось сооружение мостов по первоначальным проектам Н. А.

Далее по времени составления следуют: а) вторая серия мостов, перестроенных на Николаевской жел. дор. с 1872 по 1880 год, для них потребовалось составить разнообразные проекты, числом свыше 30-ти; б) Александровский через р. Волгу мост на Оренбургской ж. д., и в) городские мосты в Орле через рр. Оку и Орлик, проекты коих составлены Н. А. совместно с профессором Николаи, в 1877 году. О первых мостах сделаны Н. А. сообщения в Императорском Русском Техническом Обществе в 1874 году. По составлении проектов всех этих мостов, Н. А. принимал непосредственное участие и по выяснению разных вопросов самой постройки их.

Программа настоящей заметки не позволяет останавливаться подробно на оценке трудов Н. А. по составлению проектов мостовых сооружений; количество их в полном смысле поражающее, и не легко указать другого человека, в какой бы то ни было сфере деятельности, который понёс столько же тяжёлых трудов. Известны имена многих публицистов и талантливых писателей, которые также издали многочисленные сочинения, но они увековечили свои имена благодаря только тому, что, по популярности самих вопросов или предметов, ими описанных, труды их доступны всей читающей публике. Специалисты находятся в этом отношении в значительно менее выгодных условиях, круг их деятельности доступен ограниченному числу



Н. А. Белелюбский

людей, и если тем не менее Н. А. приобрел всеобщую известность, то это, без сомнения, объясняется тем громадным числом сооружений, которые исполнены по его проектам и которые представляют вещественные результаты его неутомимой деятельности.

Из перечисленных выше трудов Н. А. мы упомянем только о Веребинском обходе, о Ярославском виадуке в Москве и об Александровском мосте. Первый, как известно, предполагалось первоначально вовсе не строить, а имелось в виду деревянные Мстинский и Веребинский мосты заменить железными и при том без прекращения движения. С этой целью был объявлен конкурс на составление соответственных проектов, а Н. А. поручено было независимо разработать вне конкурса проекты перестройки тех же мостов. Впоследствии однако выяснилась вновь необходимость сооружения обхода и тогда же было решено исполнить Мстинский мост и построить Веребинскую каменную трубу по проектам Н. А., хотя представленные к конкурсу проекты удостоились премий. О конкурсных проектах имеется сообщение Н. А. в Техническом Обществе (1874 г.).

Лучшей оценкой этих проектов Н. А. служит то, что покойный профессор Винклер нашёл целесообразным поместить некоторые детали из проекта Мстинского моста в известном своём сочинении «Quercon-structionen». Подробности же устройства Ярославского виадука помещены в курсе мостов профессора Николаи.

Александровский через р. Волгу мост, занимавший до конца минувшего десятилетия первое по величине своей (около 700 саж.) место во всей



Европе, построен по проекту Н. А. (в 1875–1880 г.) из 13-ти пролётов по 52 саж. Первоначально предполагалось 7 пролётов сделать с ездой по низу, а остальные с ездой по верху; в таком виде были разработаны проекты и по ним заказаны металлические части на бельгийском заводе. Впоследствии, когда часть железа была уже доставлена на место работы, выяснилась необходимость устройства всех пролётов с ездой по низу; тогда Н. А. был командирован в Бельгию для выработки и решения на заводе вопроса о переделке изготовленных частей. В то же время Н. А. обратил особенное внимание на неудовлетворительность предложенных заводу для руководства при изготовлении металлических частей технических условий, которыми вовсе не обуславливалось относительное удлинение железа при разрывной пробе. Таким образом изменены были и технические условия, причем до 10 000 пудов железа, находившегося уже частью на месте работ, найдено было непригодным для моста.

Случай этот положил начало правильной постановке у нас технических условий на изготовление мостовых сооружений, и всем известно, что по этому вопросу Н. А. во всю свою дальнейшую деятельность оказал громадную услугу как личной разработкой этих условий, так и последовательным развитием их путём обмена мыслей в международных конгрессах и многочисленных совещаниях.

Постройка такого большого моста, как Волжский, неминуемо должна была сопровождаться рядом осложнений; они разрешались почти постоянно при непосредственном участии Н. А. или по его личной инициативе; сюда относится, между прочим, предложенный Н. А. способ удлинения быка на кессон, находившегося уже в постройке. Описание этих работ напечатано в журнале Министерства п. с. кессонщиком Рейнером с дополнительной заметкой Н. А. о кессоне-туфле (1881 г.). Подробности устройства Волжского моста помещены в «Engineering» за 1880 год, в курсе мостов профессора Николаи, в статье г. Buzzi «Le pont sur le Wolga pres Batraki 1887» и в других изданиях иностранной литературы.

Производившиеся почти одновременно работы по устройству мостов Мстинского и Волжского, а также Литейного через р. Неву моста и Веребинского обхода дали толчок к развитию цементного дела. С того времени получило у нас начало систематическое исследование свойств цемента, которому Н. А. посвятил много трудов; с особенной энергией он стремился к изысканию способов, обеспечивающих возможность развития отечественного производства цемента лучших качеств. Независимо от технической разработки вопроса, Н. А. много содействовал инициативе об установлении у нас пошлины на

иностранный цемент, которая оказала столь благоприятное влияние на улучшение выработки русского цемента, что производство этого продукта занимает видное место в заводской промышленности Европы. Заслуга Н. А. в цементном деле несомненно велика и сама по себе могла бы служить венцом славы инженерной его деятельности. Труды Н. А. по цементному делу удостоились почётного диплома ещё в 1882 году на Всероссийской промышленной выставке в Москве.

В заключение обзора деятельности Н. А. за период времени до восьмидесятых годов необходимо указать, что беглый просмотр составленных им проектов в последовательном порядке даёт ясное представление об историческом ходе развития мостового дела в России, причём, конечно, легко уловить постепенность улучшения конструкций и стремление Н. А. к достижению наиболее рациональной детализировки.

Обстоятельство это имеет весьма существенное значение, так как оно отмечает совершенно определённое направление, выразившееся в том, чтобы целесообразным устройством мостов достигнуть напряжения частей, отвечающего теоретическим расчётам, и по возможности освободить их от так называемых добавочных напряжений. Ещё в 1871 году, в предисловии от переводчика к соч. Лессли и Шюблера, Н. А. обратил внимание на то, что к числу основных условий, влияющих на вес мостового сооружения, а следовательно и на стоимость его, относится тщательность проектирования и выбор целесообразных сопряжений.

Условие это Н. А. старался выполнить с надлежащей строгостью, а в позднейших проектах применены им для этой цели особенности конструкций.

Мосты, спроектированные Н. А. в течение описанного периода времени, заключают более или менее ограниченное число разнообразных типов. В издании своём «Верхнее строение моста отв. 20,00 саж. раскосной системы 1881 г.» Н. А. сообщает по этому поводу, что «эти условия, при которых приходилось большею частью проектировать верхнее строение мостов, отразились на некотором однообразии в типах, сравнительно с заграничною мостовою практикою, где было больше удобств и простора к пробному выполнению всяких видоизменений основных систем; но зато, с другой стороны, повторяемость типов и стремление упростить выполнение содействовали более строгой выработке деталей, вполне пригодных на деле».

Начало восьмидесятых годов ознаменовалось в инженерном мире наиболее интенсивным движением теоретических исследований мостовых сооружений, причём в основание расчётов

распределения усилий в их составных частях стали принимать не только законы статики, но и общее положение по теории упругости, начало наименьших работ, принципы возможных перемещений при деформации. Исследования Кастильяно (1879), Мора, Винклера (1881), Френкеля (1882) открыли возможность подробного выяснения разнообразных условий, сопровождающих существование мостов, но не принимаемых в расчёт явным образом при составлении проектов. Другие труды учёных техников Вейрауха, Лаундгарта, Гербера, Винклера, Черепашинского и др. выяснили влияние, какое имеет на прочность частей изменчивость напряжений, проявляющихся в них под действием переменной величины внешних усилий. Об этих исследованиях составлена Н. А. в 1888 году брошюра под названием «Расчёт напряжений, подвергающихся действию переменной нагрузки и проч.» Далее следуют изучения вопросов о влиянии динамической нагрузки на мостовые сооружения (Резаль), о добавочных напряжениях в частях ферм, зависящих от жесткости соединения узлов от допускаемой часто инцентренности [нарушений центровки] их (Азимонт, Мандерла, Винклер и др.), от глухого и нецентрального прикрепления поперечных балок, от изменения температуры и пр. и пр. Все эти исследования указали на то, что непринимавшие во внимание при составлении проектов сквозных ферм обстоятельства сопровождаются проявлением добавочных напряжений, которые по величине своей часто превосходят основные напряжения, соответствующие статическим расчётам. Вместе с тем выяснилось, что применение новых методов расчёта для повседневной практики почти невозможно, вследствие чрезвычайной сложности требующихся для того вычислений. Это обстоятельство, а равно и то, что как бы ни были основательны методы, предложенные для таких расчётов известными учеными, методы эти всё-таки не отличаются безусловной точностью, побудило Н. А. в дальнейшем проектировании отнестись с ещё большею строгостью к избранному им более практическому пути, выразившемуся в выработке таких конструкций, в которых были бы устранены причины, вызывающие добавочные напряжения.

Составленные таким образом, в период времени с 1881 по 1884 год, Н. А. проекты мостов – Екатеринославского через р. Днепр, через р. Ингулец на Екатерининской железной дороге и через р. Удовь, на Шуйско-Ивановской железной дороге, – отличаются уже точным соблюдением центральных сопряжений частей ферм и связей. Первый из этих мостов, длиною около 590 саж., устроен в два яруса, для экипажного проезда и для железнодорожного сообщения, состоит из 15 пролётов по 38 саж. и металличе-

ских вьездов. Описание этого и Ингулецкого мостов помещено в «Engineering» за 1881 г.; в «Vochenschr. d. osterr. Ing. und Arch-Ver.» 1884 г., вкратце в сочинении профессора Haseler'a «der Bruckenbau» и в некоторых других изданиях. Мост через р. Удовь, однопролётный в 50 саж., косою, с верхним криво-линейным поясом; подробное описание его издано Н. А. в брошюре с атласом чертежей, под названием «Возобновление моста через р. Удовь 1884 г.», в которой помещены, между прочим, интересные данные о строительных коэффициентах этого моста, сообщённые Н. А. также в «Rigasche Ind. Zeitg.» за 1884 г.

Одновременно с проектами этих трёх мостов были составлены Н. А. проект моста чрез Обводный канал Николаевской железной дороги и эскизы продолжения Киевского через р. Днепр цепного моста для шоссейного ведомства, но проекты эти не были исполнены по местным соображениям. Затем, при непосредственном участии Н. А. изготовлены проекты других мостов на Екатерининской железной дороге, а также на Полесских железных дорогах и через р. Псел на Харьковско-Николаевской железной дороге, системы Шведлера, и им же разъяснялись всякие осложнения, которыми в большинстве случаев сопровождаются работы по сооружению мостов.

С этой целью Н. А. совершал неоднократные поездки на место работ и на заводы, в России и за границей, где он получил возможность изучить, между прочим, свойства нарождавшегося в то время нового материала под названием литого железа, который Н. А. с удивительною настойчивостью старался затем распространить для применения в мостовых сооружениях. В этом деле Н. А. принадлежит несомненно полная инициатива и, благодаря ему, свойства литого железа обследованы у нас многочисленными испытаниями и обсуждениями в разнообразных комиссиях из специалистов настолько подробно, что достигнутые в России результаты дали весьма существенные указания для правильной выработки условий изготовления и обработки литого железа. В настоящее время материал этот почти вытеснил у нас сварочное железо, имевшее прежде исключительное распространение, а по качеству наше литое железо, обладающее значительною мягкостью, превосходит иностранное. Развитие вопроса столь серьёзной важности, как распространение нового материала, породило обширную переписку по условиям применения литого железа, в которую много ценного вклада внесено Н. А. В 1882 году он напечатал по тому же вопросу статью в «Техническом Сборнике» «Об употреблении литого железа, взамен сварочного», в 1884 г. в «Железнодорожном Деле» «Прирейнские заводы. Разгрузная платформа. Опыты над балками из ли-



того и сварочного железа», и в 1885 г. помещена Н. А. в «Журнале Министерства путей сообщения» статья «Литое железо. Опасаться ли его и как должно с ним обращаться».

В том же 1885 году Н. А. окончил печатание своего «Курса строительной механики», в котором теоретическая сторона предмета разработана с критической оценкой разных исследований до новейшего времени, а практические указания служат ценным пособием для применения к делу. Вообще курс этот представляет собою не только руководство для учащихся, но и настольную книгу для инженеров. Такое же положение занимают и изданные Н. А. в 1886 году труды под названием «Механическая лаборатория», заключающие в себе многочисленные результаты произведенных им лично, или при его непосредственном участии, испытаний строительных материалов за период времени с 1875 по 1886 г. Книга эта, оцениваемая специалистами достойным образом, заключает в себе обильный материал для руководства при составлении технических условий и для проверки научных исследований (труды Черепашинского и др.).

Деятельность свою по Механической лаборатории Института инженеров путей сообщения, как заведывающий ею, Н. А. начал спустя 20 лет по её устройству, а именно, в 1873 году; оборудование её было в то время весьма скудное, а самое сознание о необходимости производства испытаний строительных материалов было ещё очень слабое. Ныне лаборатория оканчивает второе 20-летие своего существования. Простое сопоставление степени развития её в эти два периода достаточно, чтобы оценить силу неутомимой энергии почтенного юбиляра и на этой части его поприща. Н. А. поставил лабораторию на высоту современного положения лучших испытательных станций Европы, с которыми она в то же время находится в непосредственной связи путём периодических сношений Н. А. с известнейшими их представителями (Тетмайером, Баушингером и друг.). Популяризацией трудов лаборатории Н. А. сумел придать ей значение школы, около которой группируются наши заводские и другие местные лаборатории и которая распространила всеобщее сознание о необходимости правильной постановки пробных исследований материалов на месте, при всякой сколько-нибудь выдающейся постройке. В этой своей деятельности Н. А. не пропускал ни одного случая, которым можно было воспользоваться для развития вопроса о нормировке условий пригодности строительных материалов. Таким образом он принимал живейшее участие в обмене мыслей на международных конгрессах по выработке однообразных приёмов испытаний: в Мюнхене, Дрездене, Берлине и в Париже; результаты совещаний были своевременно

опубликованы им во многих отчётах, к числу коих относится его «Однообразное испытание строительных материалов 1887 г.». Затем результаты совещаний, со свойственной Н. А. живостью характера, он настойчиво проводил в дело. О деятельности Механической лаборатории сообщались Н. А. ежегодно интересные отчёты и многочисленные заметки в разных изданиях, как, например, об испытании железа и чугуна для моста через р. Ранову, о цементном вопросе, о пробе каменных материалов на мороз и пр.

Далее, в хронологическом порядке, следует работа Н. А. в 1885–89 гг. по составлению проектов мостов через р. Волгу на Николаевской железной дороге и через р. Белую на Самаро-Уфимской жел. дороге. Особенность этих мостов заключается в устройстве шарнирного сопряжения поперечных балок с фермами, чем достигается полное устранение добавочных напряжений в фермах от влияния прогиба поперечных балок; кроме того, и другие детали разработаны, сообразуясь с условиями возможного устранения второстепенных напряжений (отсутствие широких раскосов, централизация узлов и пр.). Модель шарнирного соединения поперечных балок на этих мостах удостоилась медали на Эдинбургской выставке в 1890 году, а полный проект моста через р. Волгу издан Н. А. с кратким описанием.

К тому же периоду следует отнести составленные Н. А. проекты верхнего строения мостов с ездой поверху, отв. 10, 25 и 30 саж., для Ржево-Вяземской железной дороги, применённые также на Самаро-Златоустовской железной дороге, а затем, они получили распространение как типы. Фермы этих мостов относятся к решетчатой системе, в которой некоторые раскосы работают на сжатие и вытягивание; размеры этих раскосов сообразованы с указанными, выше теоретическими исследованиями, основанными на опытах Веллера.

Достигнутая Н. А. для мостов через р. Волгу Николаевской железной дороги, через р. Белую и др. тщательность разработки проектов, при получившем в восьмидесятых годах оживлённое движение вопросе об усовершенствовании мостовых сооружений, казалась ему не вполне достаточной, если принять в соображение, что за устройством целесообразных сопряжений частей, многораскосные фермы, заключающие излишество связывающих узлы элементов, не могут сами по себе быть свободными от добавочных напряжений, непредвидимых статическими расчётами. Вследствии этого Н. А. занялся в 1887 году разработкой фермы, в которой число частей, будучи достаточным, не было бы более того количества, которое соответствует возможности правильного определения в них усилий, но основным условием статического

равновесия. Такая система ферм была составлена им и применена при выработке проекта городского моста через р. Волгу в Твери, к постройке которого ещё не приступлено.

По сказанному проекту фермы предполагаемы параболические, с двумя рабочими системами раскосов, заканчивающимися по середине пролёта единственной во всей ферме стойкою. Система эта явилась как результат самостоятельного выяснения у нас намеченной Н. А. задачи. Впоследствии в иностранной технической литературе напечатаны были исследования ферм совершенно такой же системы, которая, как оказалось, была уже известна за границей. В 1888 г. в «*Rigasche Ind. Zeit.*» Н. А. посвятил памяти покойного Винклера заметку «*Aus der Praxis des Baues eisernen Brucken*», в которой, вместе с описаниями более замечательных мостов России, сделано сообщение о проекте Тверского через р. Волгу моста со статически-определёнными фермами. В том же году помещено Н. А. сообщение об этом мосте в журнале «Инженер» под заглавием «Из мостовой практики». Наброски эти, по словам автора, представляют результат воспоминаний его на Кавказе «у подножия Бештау, где, вдали от ежедневных, не терпящих отсрочки суетливых занятий, невольно тянуло его оглянуться на прошлое и разобраться немного в нём, вспомнить свой путь, пройденный через период лихорадочной железнодорожной деятельности в России, и помянуть тех, которые весь свой земной путь уже прошли».

Указанная выше система ферм даёт возможность вполне точного представления о распределении усилий в частях их, но самый расчёт таких ферм требует многочисленных вычислений, вследствие того, что во всяком разрезе, сделанном в этой ферме, встречается более трёх частей. Обстоятельство это побудило Н. А., при последующей разработке ближайшего проекта, применить другой тип статически-определённой фермы возможно простой системы. Случай скоро представился: в 1890–91 г. разработан им проект шоссейного моста через р. Неман у м. Олиты, в котором фермы состоят из простых равнобедренных треугольников без всяких стоек, с криволинейным верхним поясом; поперечные балки проезжей части уложены, при помощи шарниров, нижним поясом в промежутке между раскосами; распорками связей служат решетчатые треугольного сечения трубы, укрепленные в плоскостях раскосов у их концов.

Как раз к концу изготовления этого проекта случилась катастрофа с Менхенштейнским мостом в Швейцарии, построенным, как известно, из ферм подобной же системы. Очевидно, у Н. А. должна была явиться мысль о необходимости тщательного выяснения условий,

обеспечивающих прочность сооружения по составляемому им в то время проекту, в зависимости от указаний, внесённых в инженерную науку крушением Менхенштейнского моста, как бы в вознаграждение за многочисленные жертвы этого несчастного случая. При ближайшем сопоставлении обоих проектов и подробном изучении разработанных в них деталей, обнаружилась полнейшая несостоятельность последнего моста, между тем как в проекте Неманского моста Н. А., чуткий ко всякого рода улучшениям конструкции, не нашёл нужным сделать какое бы то ни было изменение.

Как на дальнейший пример применения статически определенной фермы, можно указать на участие Н. А. в обсуждении вопроса о выборе системы для городского моста в Смоленске, при чем Н. А. разработал, в числе некоторых вариантов, эскиз устройства этого моста по системе Гербера; но, по местным условиям, Н. А. полагает, что не представится выгодным осуществление этого эскиза. Впрочем и вообще, по-видимому, не следует ещё делать заключения, что за статически определёнными фермами надлежит установить исключительное право гражданства. Так, в настоящее время Н. А. разрабатывает проект городского моста через р. Вилию в Вильне [Вильнюс], к которому предполагается применить систему верхнего строения, подобного мостам через р. Белую на Самаро-Уфимской железной дороге и через р. Волгу на Николаевской железной дороге, т. е. с двураскосными полупараболическими фермами. Отдавая полную справедливость статически-определённым фермам в отношении правильного распределения в них усилий, Н. А. находит в то же время возможным дальнейшее применение правильно спроектированных статически-неопределённых ферм, обладающих испытанной прочностью.

Остаётся ещё упомянуть, что в рассматриваемый последний период времени родился у нас и за границей вопрос о приспособлении железнодорожных мостов для возможности обращения по ним тяжёлых восьмиколёсных паровозов. С этой целью, как показали расчёты, выяснилась необходимость усиления многих частей мостов. Подобного рода работы, при условии сохранения движения без перерыва, конечно, представляют многочисленные затруднения и обходятся дорого. Обстоятельство это не могло ускользнуть от внимания Н. А., и он занялся выяснением возможных упрощений в этом деле. Тогда появилась заметка его в журнале Министерства путей сообщения под названием «Мостовые этюды» и сообщение его, напечатанное в «Известиях собрания инженеров путей сообщения» за 1890 год под заглавием «Напряжение в балках и усиление мостов».



В трудах этих Н. А., выяснив значение косых напряжений в балках сплошной стенкой, обратил внимание на возможность облегчения требований по усилению мостов.

В заключение отчёта об участии Н. А. в мостовом деле необходимо ещё раз напомнить, что построенные у нас в последние 25 лет железнодорожные мосты исполнены большей частью по проектам Н. А., причём по настоящее время в их фермах не обнаружено никаких существенных повреждений. Сравнительная статистика данных о крушениях мостов убеждает, что наши мосты сооружены в этом отношении вообще при лучших условиях, чем за границей. Случившиеся же у нас в указанный период времени капитальные повреждения пролётных частей мостов относятся лишь к тем мостам, которые сооружались без участия Н. А.

После изложения о трудах Н. А., выразившихся в составлении проектов мостовых сооружений и в разработках разных, сопряжённых с этим делом условий, необходимо сказать несколько слов о деятельности Н. А. в других родственных этому делу сферах.

Как профессор Института инженеров путей сообщения, он стяжал себе славу первоклассного учителя и проявил свою деятельность на этом поприще мало практикуемым у нас методом преподавания, вытекающим, впрочем, из особенностей живой отзывчивой натуры Н. А. Относительно Н. А. можно положительно утверждать, что он непрерывно поучает и при том не одних только учащихся. Всякую новинку, особенность или интересное соображение, выясняющееся при совместном обсуждении технических вопросов в специальных совещаниях, он распространяет с удивительною быстротою, делая таким образом доступным другим всё, что известно ему и выдающимся техникам по инженерному искусству. Многочисленные запросы, делаемые Н. А. разными лицами по поводу встречаемых технических сомнений, разясняются им, по мере сил и возможности, с живейшим участием, и при том с полным уважением к заявленному ему замечанию. Это достойная, светлая черта, отличающая почтенного профессора, но, по-видимому, ещё мало оцениваемая у нас. В более трудных невыясненных вопросах Н. А. прибегает к совещанию с иностранными корифеями инженерного искусства, и по этому поводу у него имеется с ними обширная переписка, заключающая в себе весьма ценные мнения современных авторитетов по наиболее интересовавшим русских техников вопросам мостового дела.

Много услуг оказал Н. А. и Императорскому Русскому Техническому Обществу, в котором он состоит членом с 1867 года, т. е. также 25 лет. В последние пятнадцать лет им ежегодно дела-

лись доклады из отрасли мостовой практики и исследования строительных материалов; многие из этих докладов напечатаны в «Записках Технического Общества»; кроме того он занимался в образованных при Обществе комиссиях по исследованию рельсовой и бандажной стали, по цементному вопросу и др. Многочисленные доклады делал и в других обществах, например, в Собрании инженеров п. с., в Обществе архитекторов, в разных провинциальных и иностранных технических обществах; из числа этих докладов можно назвать сообщение о новом материале ксилолите, о произведённых Н. А. опытах над железом, находившимся долгое время в употреблении, о производившихся под его наблюдением опытах над бетоном Монье и пр. С 1889 года Н. А. состоит почётным членом немецкого технического общества в Риге, а с 1890 года членом-корреспондентом и почётным членом общества гражданских инженеров в Париже.

Наконец Н. А., отзываясь с сердечной чуткостью на все нужды учащегося юношества, принимает деятельное участие в комитете общества вспомоществования нуждающимся студентам института инженеров п. с. и состоит членом такого же общества при высших женских курсах.

Милостивые государи! При многочисленности работ, при столь многосторонней деятельности Н. А., конечно, затруднительно в беглом докладе или в журнальной заметке представить сколько-нибудь обстоятельный обзор этой деятельности; о многом приходится упомянуть вскользь или же вовсе ничего не сказать, за недостаточностью времени и сведений. Таким образом представленные вам теперь сведения, без сомнения, недостаточно напоминают об известных, многочисленных трудах неугоминого Н. А. Отдавая себе отчёт в этих трудах, совокупно со счастливым благополучием всех исполненных по его проектам сооружений, нельзя не придти к заключению, что заслуги Н. А. велики. Будущие биографы, конечно, будут иметь более средств отнестись с должной оценкой к его работам и, без сомнения, укажут настоящее положение этого учёного среди выдающихся людей последнего времени. Нам же остаётся горячо приветствовать уважаемого юбиляра, выразить ему наше, его сочленов по Техническому Обществу, глубокое уважение и пожелать ему на многие годы сохранить свойственную ему неустанную энергию для продолжения драгоценной деятельности его на пользу, гордость и славу нашего Отечества.

**«Железнодорожное Дело»,
1892 год, № 19–20, С. 192–197 ●**



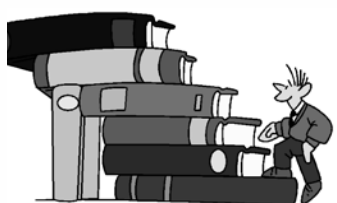
РЕЦЕНЗИЯ

142

Инструментальные и информационные методы в экономике: городской транспорт и дорожное движение.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

146

- Комфортная и безопасная для человека среда обитания в условиях функционирования транспортных систем.
- Организация контейнерных поездов и их обработка на терминалах.
- Пневматические системы пескоподачи локомотивов.
- Тестирование при анализе защищённости объекта информатизации на транспорте.

НОВЫЕ КНИГИ

150

Новые монографии и учебники, вышедшие в российских книжных издательствах.





Управление дорогами с математической точностью



Лариса Андреевна Каргина

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ kargina_larissa@hotmail.com.

Лариса КАРГИНА

АННОТАЦИЯ

Параскевов А. В. Совершенствование управления дорожным движением на основе использования математических и инструментальных методов экономики / А. В. Параскевов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 84 с. ISBN 978-5-9729-1283-4.

Настоящая статья представляет собой рецензию на монографию «Совершенствование управления дорожным движением на основе использования математических и инструментальных методов экономики», подготовленную

старшим преподавателем кафедры компьютерных технологий и систем Кубанского государственного аграрного университета им И. Т. Трубилина Параскевовым А. В., вышедшую в издательстве «Инфра-Инженерия». В работе обобщён и систематизирован обширный материал по инновационным методам совершенствования управлением уровня транспортной загруженностью. Также рассматривается приложение для автомобилистов, которое призвано строить оптимальные маршруты с учётом актуальной ситуации на дорогах города.

Ключевые слова: управление дорожным движением, экономико-математические методы.

Для цитирования: Каргина Л. А. Управление дорогами с математической точностью // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 4 (107). С. 142–145. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-16>.

Полный текст 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.

Вопросы транспортных потоков являются актуальными на протяжении многих десятилетий – уже в 1950-х годах американские исследователи рассматривали возможность возникновения заторов на дорогах. Глубокие исследования по рассматриваемой тематике были выполнены такими учёными, как С. Дрю, Р. Дональд, Т. Метсон, Х. Иносэ, Т. Хамада, – они всесторонне изучали аспекты управления транспортными потоками, привнося в решение проблемы собственное видение. В настоящее время заторы на дорогах являются глобальной проблемой больших городов – в большинстве своём они застраивались стихийно, бессистемно, а во время строительства дорог не производился расчёт наличия автотранспорта в перспективе. Действительно, на текущий момент существуют меры борьбы с пробками, автор монографии перечисляет основные:

- 1) работа светофоров в режиме «зелёной волны»;
- 2) организация движения большегрузных автомобилей по объездным дорогам;
- 3) строительство дублёров городских дорог;
- 4) обеспечение максимальной видимости дорожных знаков для водителей;
- 5) организация обсуживающих работ в ночное время;
- 6) улучшение качества дорожного полотна;
- 7) установление дополнительных сигналов светофора для поворотов;
- 8) регулирование дорог при помощи ввода тарифов.

Монография «Совершенствование управления дорожным движением на основе использования математических и инструментальных методов экономики» посвящена решению вопроса регулирования трафика с помощью введения оплаты дорожного проезда, однако, в то же время, автор отмечает необходимость комплексного подхода. Ключевая позиция заключается в том, что после того, как потенциальный спрос на поездки будет настолько высок, чтобы стать причиной пробок, то будут расти и расходы на поездку, в результате чего произойдет снижение результативного спроса на поездки и затраты будут уравновешены, что приведёт к равновесию очередей на транспортной сети. Создание замещающих платных маршрутов обеспечивает водителю проезд без пробок (т. е. без потери времени), однако этого недостаточно для того, чтобы удерживать величину потока в пределах пропускной способности (количество автомобилей, которое может пропустить конкретный участок дороги за единицу времени, обеспе-

чивая при этом заданную скорость и безопасность движения).

В первой части монографии подробно рассматривается история развития дорожного движения на примере города Краснодар. Автор приводит анализ (данные на основе наблюдений за проблемными участками) временных рамок, в которые трафик наиболее загружен; так, два самых пиковых периода – утро и вечер. Вопреки тому, что вывод о том, что пробки возникают из-за графика работы, казалось бы, очевиден, автор акцентирует внимание на ошибочности данного суждения – проблема в действительности является совокупностью многих факторов и может быть решена исключительно системным подходом и введением целого комплекса мер. Для наглядности в монографию не только карты включены с территориальным делением наиболее проблемных в плане дорожного трафика районов и жилых массивов Краснодара – автор «разбивает» их на графы и подграфы, на которых отчетливо видны транспортные потоки, возможные маршруты. Проблемы и стоп-факторы сигнализируют о том, что текущее состояние дорожного движения едва ли можно назвать удовлетворительным, а их наличие в целом становится причиной упущения возможной прибыли как городом, государством, так и участниками движения. Кроме того, речь идёт о моральном и экологическом уроне, наносимым некачественным распределением дорожного трафика; исследования показывают, что частое пребывание в пробках может нанести серьёзный вред здоровью человека. Приемлемая городская среда – сложное понятие, которое напрямую зависит от удовлетворенности потребителей, достижение которого в условиях крупных городов едва ли представляется возможным – показатели пропускной способности будут различаться в населенных пунктах свыше миллиона человек и ниже ста тысяч. В монографии приводятся различные меры по уменьшению пробок с учётом специфики города: в Краснодаре действительно функционирует система управления дорожным трафиком, однако меры, реализуемые в её рамках, недостаточны для обеспечения бесперебойной работы.

Для равномерного развития и стабильного функционирования всех элементов инфраструктуры, а также повышения её эффективности требуется внедрение качественных, экономически обоснованных и системных решений. Введение платы на определённых участках дороги приведёт к тому, что водители будут либо искать альтернативный маршрут, либо оплачивать проезд.



Вторая часть исследования посвящена современному состоянию городской транспортной инфраструктуры. Автор монографии предлагает собственную методику совершенствования управления дорожным движением на основе классификации по двум компонентам – кластеризации и поясняющему. Результатом такого моделирования и введения тарифов становится значительное уменьшение пробок благодаря «замене» потери времени эквивалентной платой за её снижение. Сама методика включает пять этапов:

- 1) определение переменных для дорожных сегментов;
- 2) генерацию кластеров сегментов в пределах дорожной сети;
- 3) классификацию всех сегментов дорожной сети на кластеры;
- 4) присвоение категории уровня загруженности каждому кластеру;
- 5) масштабирование кластерного подхода в пределах всей городской инфраструктуры.

Верхний уровень анализа заключается в сборе информации об уровне транспортной загруженности, он зависит главным образом от данных геоинформационных систем – именно из них в дальнейшем строится набор сегментов и пересечений; они становятся переменными для кластеризации компонентов. Факторами загруженности являются восемь переменных: ширина проезжей части, количество полос для движения, наличие велосипедной инфраструктуры, присутствие грузовых транспортных средств, средняя скорость движения, плавность потока, перегруженность, размер транспортного потока (для их расчета автор предоставляет формулы). После необходимо провести кластеризацию с репрезентативным подмножеством сети для определения сегментов с аналогичными характеристиками. По результатам классификации сегментов устанавливается вероятность принадлежности сформированного сегмента к конкретному кластеру. В дальнейшем кластеру присваивается категория уровня транспортной загруженности (важным аспектом является учет контекста и статистики конкретного места).

К безусловному достоинству монографии можно отнести большое количество иллюстрационного материала – в работе приведено достаточное количество карт, схем, графиков. Так, методика представлена схематично для её наибольшего понимания, а переменные – в табличном виде.

Наибольший интерес представляет кластерный анализ. Его ключевая цель – найти группи-

ровки сегментов дорог на основе выше указанных переменных. Главная характеристика сегментов внутри кластеров – схожесть между собой при отличии от составляющих других кластеров. Первый шаг кластерного анализа – нормализация переменных отрезков дороги (автор предлагает использовать метод скорнинга для преобразования непрерывных переменных). Далее необходимо составить матрицу близости, которая определяет степень схожести между сегментами дороги. В методике используется алгоритм «K-medoids», который атрибутирует все рассматриваемые элементы с использованием разбиения – один из самых надёжных алгоритмов, который работает с непрерывными и дискретными переменными. Подсчёт среднего проверяет корректность классификации внутри кластеров, так, наибольшие значения указывают на правильность произведенных ранее действий. Оптимальное количество кластеров может быть разным.

В монографии рассматриваются важные аспекты предлагаемой методики. С учетом большого количества сегментов дорожной сети, требуется масштабирование (возможность работать под большой нагрузкой). Методика позволяет не только масштабировать модель, но и прогнозировать влияние колебаний переменных на классификацию уровней загруженности того или иного сегмента. Также изучен способ интерпретации кластеров через рассмотрение уровня транспортной загруженности – анализ показателей.

Кроме того, автор рассматривает международный опыт управления транспортным движением. На основе большого количества собранной информации получено подтверждение состоятельности предлагаемой методики.

В заключительном разделе монографии приводится обзор организационно- и экономико-математических методов решения рассматриваемой проблемы. В первую очередь описан спрос на каждом отрезке «отправление-прибытие» – он представляет собой функцию общих затрат на поездку. Также вводится уравнение ограничения пропускной способности, которое учитывает ограничение спроса, ограничение для сохранения потока транспортной сети, ограничение пропускной способности и условие неотрицательности транспортного потока.

Для внедрения предлагаемой модели необходимо соответствующее программное обеспечение, работающее в режиме реального времени. Так, автор монографии определяет перечень требований к нему:

- 1) определение максимального времени отклика системы и обеспечение реакции;
- 2) определение приоритетности обрабатываемых задач;
- 3) многозадачность, допускающая переключение между задачами по мере необходимости;
- 4) непрерывная работа в течение длительного времени.

Пользовательский интерфейс также должен отвечать ряду требований, чтобы быть максимально удобным в использовании:

- 1) удобство в использовании водителем (неброские цвета, не отвлекающий внимание, интуитивно понятный интерфейс, возможность голосового управления);
- 2) схожесть с интерфейсом других приложений-навигаторов для наиболее удобного ориентирования пользователя.

Главное отличие предлагаемого автором приложения – расчёт максимального лимита машин для каждой улицы в режиме реального времени: таким образом, навигатор будет предлагать водителю оптимальный маршрут. Построение маршрута строится на трех показателях в соответствии с их приоритетностью: в первую очередь – прогнозируемое время пути, во вторую – уровень транспортной загруженности в текущий момент, в третью – достижение допустимого лимита загруженности. В таком случае, пробки и время стремятся к минимуму, а загруженность дорожного движения достигает оптимального значения. Безусловно, для функционирования такого приложения требуется сбор данных. Автор монографии перечисляет необходимые источники, среди которых – актуальные карты города и трафика, информация о текущих и возможных ремонтных работах, количестве автомобилей на дорогах, камерах, знаках дорожного движения. Автор предполагает, что в дальнейшем приложение будет напрямую влиять на дорожную систему города путем распределения нагрузки между улицами города. В работе смоделировано взаимодействие потенциального пользователя с приложением, подробно описан пример построения маршрута, сравнение с предлагаемым «Яндекс.Навигатором».

Кроме того, для наглядности демонстрации эффективности внедряемой модели построен график изменения скорости по рассматриваемым

маршрутам на примере города Краснодар. При их сравнении становится очевидным – интуитивный маршрут, а также предлагаемый навигатором, не являются оптимальными с точки зрения затрачиваемого на дорогу времени. Преимуществом внедрения предлагаемого решения может стать не только разгрузка дорог, но и возможность прогнозирования времени, что является важным преимуществом, ведь время – важнейший ресурс, который каждый человек старается минимизировать.

Предлагаемый автором сервис по управлению загруженностью призван не только качественно улучшить транспортную ситуацию на дорогах, но и повысить безопасность поездок и значительно сократить время, затрачиваемое водителями на передвижение. Важно отметить, что методика поможет выявить слабые места городской инфраструктуры, проанализировать влияние новых элементов на динамику движения.

Монография представляет собой законченный научный труд, в котором предложена актуальная методика регулирования транспортного движения. Методика рассмотрена на примере Краснодара; дискуссионным является вопрос масштабирования метода на другие города – следовало бы более подробно остановиться на алгоритме подготовки к сбору данных при внедрении методики в других городах. Важно иметь ответы на вопросы: «Что должно являться отправной точкой для внедрения, какие проблемы могут сигнализировать о проблемах с трафиком движения? Можно ли внедрить методику на конкретных участках дороги или требуется масштаб города?». Тем не менее, предлагаемая методика действительно может быть применена в других регионах. Автор подробно описывает как внутреннюю работу приложения, так и взаимодействие с ним пользователя, можно сказать, подготовлено полноценное техническое задание для дальнейшей разработки.

Монография «Совершенствование управления дорожным движением на основе использования математических и инструментальных методов экономики» характеризуется научной новизной и практической ценностью: новый авторский подход действительно может быть применен для разрешения проблем заторов на дорогах. ●

Информация об авторе:

Каргина Лариса Андреевна – доктор экономических наук, заведующий кафедрой информационных систем цифровой экономики, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, kargina_larissa@hotmail.com.

Статья поступила в редакцию 27.10.2023, принята к публикации 02.11.2023.



*Selected abstracts of Ph.D. theses submitted
at Russian transport 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/10.30932/1992-3252-2023-21-4-17>

Афанасьева Т. А. Обоснование комплекса мероприятий для обеспечения комфортной и безопасной для человека среды обитания в условиях функционирования транспортных систем / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2023. – 20 с.

В настоящее время строительство жилых районов и развитие городского хозяйства часто проходят с нарушением мер обеспечения экологической безопасности условий жизнедеятельности населения и приводят к формированию на селитебных территориях зон сверхнормативной акустической нагрузки. Объекты железнодорожного транспорта являются одними из наиболее значимых источников сверхнормативного уровня шума на территориях жилой застройки, в жилых зданиях, в административных помещениях.

Целью диссертационного исследования была разработка схемы подбора мероприятий, позволяющих обеспечить наиболее комфортную и безопасную для человека среду обитания на территориях с развитой транспортной системой.

Объектом исследования стали акустические характеристики подвижного состава на полигоне Октябрьской железной дороги. Предмет исследования включал меры защиты жилых и общественных зданий от воздействия шума.

Расширено представление о перечне шумозащитных мероприятий, влияющих на безопасность условий проживания на территориях городов и агломераций в районе развитой транспортной инфраструктуры. В перечень шумозащитных мероприятий жилых помещений и общественных зданий включено звукоизолирующее полотно. Выполнено исследование его акустических характеристик, предложены способы использования.

Обосновано научное положение о том, что существующий в настоящее время комплекс шумозащитных мероприятий недостаточен для соблюдения гигиенических требований. Установлено, что акустические экраны имеют ограниченную эффективность в условиях высокоэтажной застройки в районах расположения линейных объектов железнодорожного транспорта, а также в условиях перспективы интенсивного развития высокоскоростного железнодорожного движения.

Разработаны элементы технологии обоснования комплекса шумозащитных мероприятий для решения проблемы сверхнормативного акустического воздействия на территорию и жилые помещения в районе функционирования линейных объектов железнодорожного транспорта.

Созданы информационная система, базы данных и алгоритм обоснования управленческих решений.

Доказана недостаточная эффективность комплекса существующих в настоящее время шумозащитных мероприятий, используемых для нормализации акустической нагрузки на селитебные территории и помещения жилых и общественных зданий.

Предложен комплекс мер для снижения акустической нагрузки в жилых и общественных помещениях, расположенных в зоне сверхнормативного акустического влияния объектов транспортной инфраструктуры.

Рекомендовано внесение изменений в нормативные документы по предъявлению требований к стеклопакетам, так как вопреки требованиям СП 31–107–2004 в нормативно-технических актах отсутствуют сведения, какая конструкция оконного блока обладает той или иной степенью эффективности изоляции воздушного шума.

Результаты исследований могут оказать влияние на дальнейшее перспективное развитие теории и практики разработки технических средств для снижения шума от транспортных потоков.

Методические подходы к организации исследования и разработанная схема подбора шумозащитных мероприятий могут быть тиражированы для автомобильной и авиационной транспортных систем.

Перспективами дальнейшей разработки темы является детальное изучение звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов для обеспечения акустической безопасности среды.

2.9.10. Техносферная безопасность транспортных систем (технические науки)

Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I, защищена в Российском университете транспорта.

Васильев Д. В. Повышение эффективности терминальной обработки и организации контейнерных поездов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Самара, СамГУПС, 2023. – 16 с.

Актуальной проблематикой исследований является обеспечение устойчивости транспортно-логистической деятельности в условиях макроэкономической трансформации за счёт совершенствования технологий терминальной обработки контейнеров и организации перевозок грузов в составе контейнерных поездов на основе реализации клиентоориентированного подхода, позволяющих рационально использовать имеющиеся инфраструктурные возможности, обеспечивать работу на новых рынках, а также востребованность среди имеющих и потенциальных пользователей транспортных услуг.

Целью исследования являлось повышение эффективности терминальной обработки и организации контейнерных поездов.

Объект исследования включал железнодорожные контейнерные перевозки. Предмет исследования – технология работы контейнерных терминалов и организационно-технологические требования к контейнерным поездкам.

Выполнен анализ научного, методического и практического опыта по организации перевозок грузов в контейнерах железнодорожным транспортом. В условиях текущих ограничений, связанных с происходящей макроэкономической трансформацией, недостатком пропускных и перерабатывающих способностей объектов терминально-логистической инфраструктуры и дефицитом инвестиционных ресурсов, требуются разработка и внедрение высокоэффективных методов работы с применением цифровизации и автоматизации технологических процессов, а также новых организационно-технологических решений, связанных с перевозкой грузов в составе контейнерных поездов, обеспечивающих сокращение срока доставки, рабочего парка контейнеров и специализированного подвижного состава.

Сформулированы функциональные требования к автоматизированной системе управления контейнерным терминалом, обеспечивающие интеллектуальное управление его технологическими зонами, возможность учета влияния стохастических процессов на его работу и нахождение оптимальных решений с учётом корректировки планов и текущей работы.

С целью определения оптимального порядка выполнения набора погрузочно-разгрузочных операций при терминальной обработке контейнеров разработаны математическая модель и генетический алгоритм, обеспечивающие ускорение обработки контейнеров и подвижного состава на терминале за счет сокращения холостого пробега погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ) и количества избыточных перестановок контейнеров в случаях, когда целевой контейнер заблокирован другим контейнером.

Для повышения эффективности перевозок грузов в составе контейнерных поездов для перевозчика и минимизации непроизводительных материальных и временных потерь клиентов разработана экономико-математическая модель, позволяющая решать оптимизационные задачи выбора длин контейнерных поездов на заданном железнодорожном направлении. Предложенная экономико-математическая модель описывает механизм взаимодействия параметров перевозки с учётом возможности влияния длины состава контейнерного поезда на спрос (объём контейнерных перевозок), сокращение времени доставки грузов, изменение величины тарифа при сокращении времени доставки.

Параметры длин контейнерных поездов для конкретного направления формирования определяются, исходя из пропускной способности направления, количества используемых локомотивов, плана погрузки, наличия контейнеров и платформ на контейнерном терминале, наличия платформ, контейнеров на подходе к станции

примыкания, а также с учётом прогнозного спроса на данный транспортный продукт, основанного на сокращении сроков на накопление, времени доставки и регулярности перевозок. В качестве критерия эффективности выбран экономический показатель – прибыль перевозчика.

Разработана методика установления организационно-технологических требований к назначению контейнерных поездов, позволяющая решать оптимизационные задачи выбора длин и периодичности курсирования контейнерных поездов на заданном железнодорожном направлении. Предложен алгоритм назначения контейнерного поезда, который может быть использован для корректировки действующего Регламента организации контейнерных поездов, в части определения сотрудниками ЦФТО экономической целесообразности организации контейнерного поезда.

Получены количественные зависимости изменения удельной прибыли от организации контейнерного поезда от вариации его длины при различных параметрах спроса на перевозку, тарифа и срока доставки, которые подтверждают гипотезу о возможности нахождения экономически оптимальной длины контейнерного поезда за пределами регламентированного интервала от 57 до 71 условного вагона при определённых сочетаниях параметров перевозки.

Была проведена апробация разработанных математических моделей и методики. Для проверки адекватности математической модели и генетического алгоритма оптимизации оперативного планирования работы погрузочно-разгрузочных механизмов была разработана программа на языке Java. Численные эксперименты показали среднее повышение эффективности обработки контейнеров и специализированного подвижного состава на 9,95 %. Наибольшее сокращение длительности погрузочно-разгрузочных работ может быть достигнуто в случае обработки публичного контейнерного поезда.

С учётом количества ПРМ в собственности Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом – филиала ОАО «РЖД», предназначенных для работы с крупнотоннажными контейнерами, расчётный годовой экономический эффект от сокращения потребления электроэнергии ПРМ может составить 65,2 млн руб./год.

На примере направления обращения контейнерного поезда Санкт-Петербург – Новороссийск определены экономически целесообразные организационно-технологические требования к назначению контейнерных поездов. При отправлении поезда длиной, определенной в соответствии с методикой, обеспечиваются сокращение срока накопления поезда на 2,8 суток, увеличение спроса на 8,26 %, а экономический эффект составит 2,4 млн руб./год.

Предложенные мероприятия обеспечивают сокращение рабочего парка фитинговых платформ на 306 единиц и контейнеров на 20563 единицы.

2.9.4 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Самарском государственном университете путей сообщения.



Коновалов П. Ю. Совершенствование пневматических систем пескоподачи локомотивов и улучшение их эксплуатационных показателей / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, РГУПС, 2023. – 24 с.

На сегодняшний день активно проектируются и внедряются новые локомотивы с улучшенными тяговыми свойствами. Так, тяговые единицы железных дорог оборудованы догружающими устройствами и наклонными тягами для компенсации перераспределения сцепного веса, оснащены асинхронным тяговым приводом с поосным регулированием тяги, имеющим более жёсткие тяговые характеристики. Однако, несмотря на инновационные решения новых перспективных серий тяговых единиц, в эксплуатации по-прежнему наблюдаются негативные явления, связанные с избыточным проскальзыванием движущих колёс локомотивов – боксование в тяговом режиме и юз при торможении, особенно в тяжелых условиях эксплуатации по сцеплению. Это связано с изменением в широких пределах величины коэффициента трения в зоне контакта колёс локомотивов с рельсом, который зависит от большого количества факторов в эксплуатации, таких как наличие на поверхности рельса промышленных загрязнений и влаги, погодноклиматические условия, скорость движения, вес поезда, сложность профиля и плана железнодорожного пути, конструкционные особенности подвижного состава и многих других.

Наиболее распространенным способом повышения сцепления движущих колёс с рельсами на подвижном составе железных дорог является подача частиц кварцевого песка в струю сжатого воздуха. Несмотря на то, что данные системы широко распространены и применяются на ТПС различного типа и назначения, они по-прежнему имеют низкую эксплуатационную надежность и недостатки – фиксированную сезонную регулировку расхода песка, применение импульсного регулирования подачи с различной скважностью импульсов, склонность к саморазрегулированию применяемых форсунок песочниц и избыточной неконтролируемой подаче песка, низкую скорость истечения песковоздушной смеси, что приводит к выдуванию частиц песка боковым потоком ветра в процессе транспортировки из выходного сечения подсыпного рукава в зону сцепления колес с рельсами.

Целями исследования являются совершенствование основных элементов систем пескоподачи локомотивов для плавного непрерывного дозирования количества песка и улучшение их эксплуатационных показателей. Объектом исследования являлась пневматическая система пескоподачи локомотива для транспортировки частиц кварцевого песка в зону контакта колёс локомотивов с рельсами в струе сжатого воздуха.

Направлением исследования являлось улучшение эксплуатационных показателей систем пескоподачи локомотивов путём совершенствования её основных элементов с целью реализации плавного непрерывного дозирования количества песка и повышения надежности процесса транспортировки частиц кварцевого песка в зону контакта колёс с рельсами с учётом нагруженности по сцеплению.

Разработаны и экспериментально подтверждены инженерные решения по модернизации систем пескоподачи серийных локомотивов для реализации плавного непрерывного регулирования расхода количества песка из корпуса форсунки песочницы посредством установки дросселирующего устройства с сервоприводом при повышении эксплуатационных показателей и надежности штатных форсунок песочниц путем замены регулировочного винта иглы типа на винт, оборудованный набором жиклеров с калиброванными отверстиями, рассчитанными на различный максимальный расход песка.

Произведены инженерные расчёты газовоздушного инжектора для увеличения скорости истечения песковоздушной смеси более 40 м/с за счет инжекции дополнительного объема воздуха при сокращенном расходе сжатого воздуха из питательной пневматической магистрали локомотивов по сравнению со штатными системами пескоподачи.

Спроектирована и разработана усовершенствованная система пескоподачи на основе эффекта виброоживления слоя частиц кварцевого песка для реализации плавного непрерывного дозирования количества песка за счет изменения частоты, амплитуды и величины возмущающего ударного воздействия на слой сыпучего материала в корпусе форсунки песочницы, а также экспериментально подтверждена устойчивость работы при внешнем вибрационном воздействии, которое имитирует колебания рельсового экипажа.

Предлагаемые мероприятия могут быть использованы при проектировании новых серий тягового подвижного состава, а также при модернизации и капитальном ремонте эксплуатируемого ТПС различного типа и назначения.

Впервые предложена классификация систем пескоподачи тягового подвижного состава на основе анализа конструкций и принципов действия пескоподачи систем локомотивов различного типа и назначения.

Определены эффективные угол наклона и схема расположения подсыпного рукава, а также скорость истечения песковоздушной смеси для реализации процесса пескоподачи с наибольшей эффективностью при сокращении потерь частиц кварцевого песка в процессе транспортировки в зону сцепления колес с рельсами при воздействии бокового ветра силой до 20 м/с. Установлено, что универсальная схема расположения подсыпного рукава и углов наклона его относительно поверхности рельса – «комбинированная» при углах $10+2^\circ$. Данное расположение песочных труб позволяет обеспечить гарантированную доставку зерен кварцевого песка в зону контакта колеса с рельсом в объеме не менее 90 % при условии, что скорость истечения песковоздушной смеси из выходного сечения будет реализована более 40 м/с.

Произведён инженерный расчёт геометрических и газодинамических параметров, на основе которых предложена конструкция газовоздушного инжектора для увеличения скорости истечения песковоздушной смеси более 40 м/с за счет инжекции дополнительного объема воздуха при сокращённом расходе сжатого воздуха из питательной пневматической магистрали локомотивов на одну форсунку песочницы, по срав-

нению со штатными системами пескоподачи. Разработаны компоновочные схемы расположения инжектора для систем пескоподачи локомотивов с возможностью увеличения скорости истечения песквоздушной смеси и продувки пескопроводов без реализации подачи песка.

Разработан стенд, представляющий часть штатной системы пескоподачи локомотива, на котором экспериментально исследована система для реализации плавного непрерывного регулирования расхода количества песка из корпуса форсунки песочницы посредством установки дросселирующего устройства с сервоприводом. На основе трёхмерной компьютерной модели в реальном масштабе основных элементов системы пескоподачи для исследования газодинамических процессов в системе пескоподачи, в том числе, с учётом движения зёрен песка, получены аппроксимирующие зависимости, упрощающие подбор диаметра отверстия жиклера регулировочного винта, основываясь на скоростях потока воздуха в характерных сечениях воздушных каналов.

В ходе натурных испытаний установлено, что на поверхности рельса после подачи песка под колёса локомотива образуются две отличные фракции частиц – слой плотноупакованных частиц на центральной части дорожки катания, который представляет собой след от перемещения колеса по рельсу в габарите пятна контакта с размером зёрен менее 0,1 мм, а также неуплотненный – соответствующий размеру частиц исходного песка от 0,1 до 0,5 мм, ещё не участвовавших в процессе трения, располагающийся ближе к боковым граням головки рельса. По результатам лабораторных исследований получено процентное соотношение концентрации частиц песка на поверхности рельса после прохода движущих колёс локомотива и также установлено, что зёрна песка данных фракций оказали положительное влияние на повышение коэффициента трения.

Определён диапазон рекомендуемого расхода количества песка на погонный метр пути в зависимости от различных факторов с целью повышения и стабилизации сцепных свойств ТПС для предотвращения избыточного проскальзывания движущих колёс с рельсами в режимах тяги и торможения.

Предложен способ дозирования песка под колёса локомотива, основанный на применении эффекта виброоживления слоя частиц кварцевого песка для реализации плавного непрерывного дозирования песка за счёт изменения частоты, амплитуды и величины возмущающего ударного воздействия на слой сыпучего материала в корпусе форсунки песочницы.

Разработана и подтверждена вычислительным экспериментом на основе трёхмерного твердотельного моделирования конечными объёмами усовершенствованная система пескоподачи с эффектом виброоживления слоя частиц кварцевого песка для плавного непрерывного дозирования его количества из корпуса форсунки песочницы за счёт изменения частоты вибрационного воздействия через латексную мембрану поршнем пневматического пульсатора в зависимости от давления сжатого воздуха, подводимого к пневмоприводу, при увеличенной скорости истечения песквоздушной смеси для обеспечения её устойчивого истечения из выходного сечения подсыпного рукава

путем эжекции дополнительного объема воздуха через газозвушной инжектор, установленный перед форсункой песочницы, с возможностью реализации продувки пескопровода из-за обеспечения раздельного независимого питания пневматического вибропривода форсунки и газоструйного аппарата.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Смирнов Г. Е. Методика обоснования тестовых воздействий при анализе защищённости объекта информатизации на основе графоаналитических методов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2023. – 20 с.

Актуальной является научная задача, связанная с разработкой модели анализа защищённости объекта информатизации и методики обоснования набора тестовых информационно-технических воздействий (ИТВ) для обеспечения рациональной полноты покрытия уязвимостей при ограничениях на стоимость ресурсов при анализе защищённости объекта информатизации.

Целью диссертационного исследования является улучшение показателей полноты покрытия уязвимостей и стоимости тестирования путём обоснованного выбора тестовых информационно-технических воздействий при проведении анализа защищённости объекта информатизации.

Объектом исследования являются процессы и процедуры анализа защищённости и аудита информационной безопасности объекта информатизации, а предметом исследования – графоаналитические методы, используемые для обоснования набора тестовых ИТВ в интересах анализа и обеспечения защищённости объекта информатизации.

В диссертационном исследовании с целью улучшения показателей полноты покрытия уязвимостей и стоимости тестирования путём обоснованного выбора тестовых информационно-технических воздействий при проведении анализа защищённости объекта информатизации решена научная задача разработки модели анализа защищённости объекта информатизации и методики обоснования набора тестовых ИТВ для обеспечения рациональной полноты покрытия уязвимостей при ограничениях на стоимость ресурсов при анализе защищённости объекта информатизации.

Итогом решения научной задачи являются защищаемые научные результаты, обладающие научной новизной, теоретической значимостью и являющиеся вкладом в развитие соответствующей теоретической формы знаний.

Модель анализа защищённости объектов информатизации (ОИ) на основе использования тестовых ИТВ, отличающаяся построением четырёхуровневого графа, увязывающего между собой: отдельные тестовые ИТВ; расход ресурса на их проведение; проверяемые уязвимости; тестируемые элементы и подсистемы объекта информатизации; показатели выявленного и потенциально предотвращённого ущерба, а также обоснованием и введением функцио-





нальных зависимостей для определения весов меж-уровневых рёбер графа.

Методика обоснования набора тестовых ИТВ для обеспечения рациональной полноты покрытия уязвимостей ОИ при ограничениях на стоимость ресурсов, отличающаяся 2-х этапным процессом нахождения рационального множества тестовых ИТВ.

Полученные решения частных научных задач и их использование в прикладной области позволили сформулировать прикладной результат, обладающий практической значимостью и являющийся вкладом в развитие технико-прикладного инструментария аудита информационной безопасности ИБ:

Даны научно-обоснованные рекомендации по архитектуре автоматизированного комплекса анализа защищенности ОИ с использованием тестовых ИТВ, основанные на модели и методике, впервые разработанных в данном диссертационном исследовании, которые реализуют на практике основные положения по формированию рационального набора тестовых ИТВ по показателям полноты покрытия уязвимостей и стоимости тестирования.

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.

Балакин В. В. Проектирование системы городского пассажирского транспорта: Учеб. пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – 106 с. ISBN 978-5-9948-4645-2.

Боран-Кешишян А. Л., Огурцов Д. В., Кругова И. М. [и др.] Теория и практика судоремонта. Сварочные работы: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2023. – 72 с.

Буйлов В. Н., Косарев А. В., Чумакова С. В. Цифровые технологии в изучении математики и математического моделирования: Учебник. – Саратов: Амирит, 2023. – 120 с. ISBN 978-5-00207-199-9.

Вершков А. В., Москалев А. К. Управление инновационной деятельностью: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: СФУ, 2023. – 165 с. ISBN 978-5-16-018087-8.

Гвоздева В. А. Интеллектуальные технологии в беспилотных системах: Учебник. – 2-е изд., доп. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 196 с. ISBN 978-5-16-017804-2.

Дударева О. В. Управление устойчивым развитием промышленных экосистем в условиях технологических трансформаций: Монография. – Курск: Университетская книга, 2023. – 400 с. ISBN 978-5-907710-99-3.

Коновалова Т. В., Лебедев Е. А., Миротин Л. Б. [и др.] Повышение безопасности движения детей на улично-дорожной сети городов: Монография / под общей редакцией Т. В. Коноваловой. – Краснодар: Издательский дом-Юг, 2023. – 190 с. ISBN 978-5-91718-730-3.

Кравченко О. А. Формирование механизмов и инструментария для обеспечения устойчивого развития электроэнергетических организаций: Монография. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, 2023. – 238 с. ISBN 978-5-02-040971-2.

Медведев В. Т., Кондратьева О. Е., Каралюнец А. В. Охрана труда в энергетике: Учебник. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2023. – 425 с. ISBN 978-5-0054-1095-5.

Разработанные в диссертации модель и методика, а также научно-обоснованные рекомендации могут быть использованы организациями, ведущими обоснование и разработку аппаратно-программных комплексов для центров мониторинга ИБ, SIEM-систем, а также научными организациями, ведущим исследования в области ИБ, в частности – в области аудита и мониторинга защищенности ОИ.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в дополнительном исследовании рандомизированной стратегии выбора тестовых ИТВ и применении метода Монте-Карло в целом, для решения задач аудита ОИ; учёте связей элементов в составе ОИ, а также их влияния по свойствам ИБ на результативность тестовых ИТВ и формирование итогового тестового набора.

2.3.6 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I. ●

Муссонов Г. П. Прикладная физика в электроэнергетике: Учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2023. – 158 с. ISBN 978-5-8038-1801-4.

Носенко В. И., Наумов М. В., Сухина М. И. Маневрирование и управление судном. Часть 1. – М.: Инфра-М, 2024. – 240 с. ISBN: 978-5-16-016918-7, Часть 2. – 304 с. ISBN: 978-5-16-016920-0.

Пендриков Е. С., Елисеев И. В., Теплов А. В. Микропроцессорные средства автоматизации и управления: Учеб. пособие. – СПб.: ЛТУ, 2023. – 107 с. ISBN 978-5-9239-1395-8.

Петров С. А., Половинкин В. Н. Аварийность кораблей с ядерными энергетическими установками иностранных флотов. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2023. – 278 с. ISBN 978-5-6046292-9-1:

Платформенная экономика в России: потенциал развития: Высшая школа экономики, Национальный исследовательский университет; редакционная коллегия: Л. М. Гохберг [и др.]. – М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2023. – 72 с. ISBN 978-5-7598-3001-6.

Ратнер С. В., Назарова Л. Е. Циркулярная модель экономического роста. Опыт, возможности и барьеры: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 211 с. ISBN 978-5-16-017852-3.

Сажина М. А., Каширова А. В. Социальное богатство инновационной системы: Монография / под редакцией докт. экон. наук, заслуженного проф. МГУ им. М. В. Ломоносова М. А. Сажиной. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 109 с. ISBN 978-5-16-017787-8.

Сергеева М. В. Взаимовлияние транспортной инфраструктуры и человеческого развития: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 217 с. ISBN 978-5-16-017822-6.

Титенок А. В. Обеспечение эксплуатационной надежности механических систем: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 300 с. ISBN 978-5-16-016324-6.

Уиндер Фил. Обучение с подкреплением для реальных задач: инженерный подход / перевод с английского Е. Черских. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 400 с. ISBN 978-5-9775-6885-2.

Хусаинов Ф. Железнодорожные тарифы: очень краткое введение. – М.: Изд-во «Прометей», 2023. – 218 с. ISBN 978-5-00172-571-8.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



ОТКРЫТИЕ АВТОДОРОГИ М-12 ОТ МОСКВЫ ДО АРЗАМАСА

Воткрытии масштабного проекта 8 сентября 2023 года приняли участие полномочный представитель Президента в Центральном федеральном округе Игорь Щёголев, заместитель Председателя Правительства Марат Хуснуллин, Министр транспорта Виталий Савельев, председатель правления ГК «Автодор» Вячеслав Петушенко, Мэр Москвы Сергей Собянин, губернатор Московской области Андрей Воробьев, губернатор Владимирской области Александр Авдеев, губернатор Нижегородской области Глеб Никитин.

«Самым масштабным проектом в дорожном строительстве является развитие утверждённого Президентом в декабре 2022 года международного транспортного маршрута «Россия». Основным этапом данного маршрута сегодня является трасса М-12 «Восток» от Москвы до Казани протяжённостью порядка 811 км, с продолжением до Екатеринбурга

и Тюмени. Магистраль М-12 является совершенно уникальной – от поручения Президента до полноценного запуска трассы от Москвы через Арзамас до Казани, куда продлим дорогу в декабре 2023 года, пройдёт меньше трех лет. Даже в мировой практике очень мало примеров, когда от идеи до сдачи дороги первого класса строились за такое короткое время. Сегодня знаменательный день для развития проекта – запущено движение по 415-километровому участку от Москвы до Арзамаса Нижегородской области. Участок удалось подготовить в рекордные сроки, на десять месяцев раньше. Это стало возможным благодаря поддержке Президента, опережающему финансированию, гибкому управлению капитальными вложениями, а также, конечно, труду всех строителей», – сказал заместитель Председателя Правительства Марат Хуснуллин.

«Сегодня знаменательный день. Мы вводим крупнейший транспортный объект – ав-



томобильную дорогу М-12 «Восток». Эта дорога связана с развитием международных транспортных коридоров – «Европа – Западный Китай», «Север – Юг», а также в Азово-Черноморском и Восточном направлениях. Вдоль этих коридоров у нас будут развиваться транспортно-логистические центры в Московской, Владимирской и Нижегородской областях. И уже в 2024 году эти центры будут обрабатывать 1 млн 300 тыс. контейнеров. Всё это развитие даст нам возможность задействовать наши транспортные коридоры, по которым к 2030 году будут перевозить 670 млн тонн грузов», – сказал Министр транспорта Виталий Савельев.

«Одновременно дорожники сразу не вводили участки дорог первой технической категории такой протяженности в истории Российской Федерации», – подчеркнул председатель правления ГК «Автодор» Вячеслав Петушенко. Он также отметил, что в практике отечествен-

ного мостостроения некоторые технологии были применены впервые при строительстве М-12. «Впервые при возведении монолитного пилона русловой опоры применена технология скользящей опалубки. Кроме этого, М-12 «Восток» станет самой длинной трассой с аппаратной составляющей российского «свободного потока», в рамках которого установлены камеры, лазерные датчики и антенны. Они считывают и фиксируют регистрационные знаки, габариты и количество осей въехавшего на платную магистраль автомобиля, обеспечивая безбарьерный проезд по платной автомобильной дороге, тем самым увеличивая скорость и сокращая время в пути».

**По материалам пресс-центра
Министерства транспорта
Российской Федерации:
[https://mintrans.gov.ru/
press-center/news/10855](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10855) ●**



INAUGURATION OF THE M-12 HIGHWAY SEGMENT FROM MOSCOW TO ARZAMAS

The inauguration ceremony of the large-scale project on September 8, 2023, was attended by Presidential plenipotentiary representative the Central Federal District Igor Shchegolev, Deputy Prime Minister Marat Khusnullin, Minister of Transport Vitaly Savelyev, Chairman of the Board of Avtodor State Corporation Vyacheslav Petushenko, Moscow Mayor Sergei Sobyanin, Moscow Region Governor Andrei Vorobyov, Vladimir Region Governor Alexander Avdeyev, and Nizhny Novgorod Region Governor Gleb Nikitin.

«The development of the «Russia» international transport route, which was approved by the President in December 2022 is the most ambitious project in road

construction. The main segment of this route today is the M-12 Vostok highway from Moscow to Kazan with a length of about 811 km, with an extension to Yekaterinburg and Tyumen. The M-12 highway is absolutely unique: it will take less than three years from the President's instruction to the full-fledged launch of the traffic on the highway from Moscow through Arzamas to Kazan, to where we will extend the road in December 2023. Even in world practices, there are very few examples when a first-class road has been built in such a short time from the idea to the commissioning. Today is a significant day for the development of the project – traffic has been launched along a 415-kilometer section from Moscow to Arzamas in the Nizhny



Novgorod region. The segment was built in record time, 10 months earlier than planned. This became possible thanks to the support of the President, advanced financing, flexible management of capital investments, and, of course, the work of all the builders», said Deputy Prime Minister Marat Khusnullin.

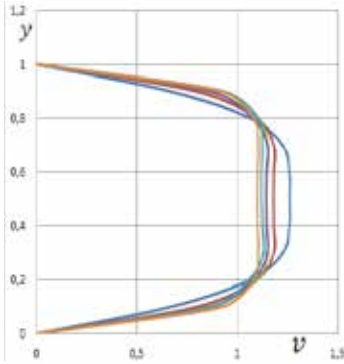
«Today is a significant day. We are commissioning the largest transport infrastructure facility – the M-12 Vostok highway. This road is associated with the development of international transport corridors – «Europe – Western China», «North – South», as well as with those in the Azov-Black Sea and Eastern directions. Along these corridors, we will develop transport and logistics centres in Moscow, Vladimir and Nizhny Novgorod regions. And already in 2024, these centres will handle 1 million 300 thousand containers. All these developments will give us the opportunity to fully operate our transport corridors, through which 670 million tons of cargo will be transported yearly by 2030», said Minister of Transport Vitaly Savelyev.

«Road builders have never introduced instantaneously road sections of the first

technical category of such length in the history of the Russian Federation», said Vyacheslav Petushenko, Chairman of the Board of Avtodor State Corporation. He also noted that in the practices of domestic bridge construction, some technologies were used for the first time during the construction of the M-12 highway. «For the first time, sliding formwork technology was used for the construction of a monolithic pylon of the river pier. In addition, the M-12 Vostok will be the longest route equipped with the hardware component of the Russian «free flow» road technology providing for installation of cameras, laser sensors, and antennas. They read and record the number plates, dimensions and number of axles of a vehicle entering the toll highway, provide barrier-free passage on the toll road, thereby increasing speed and reducing travel times».

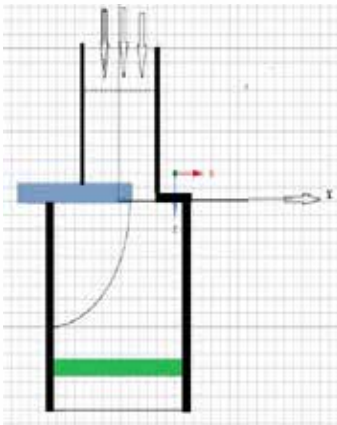
Compiled basing on the news released by the press centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation:

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10855> ●



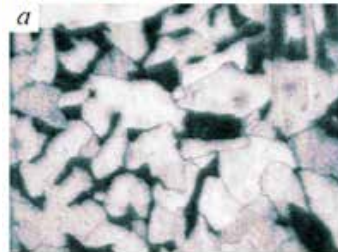
**INTERNAL
COMBUSTION
ENGINE** **152**

Modelling ICE hydrodynamic processes.



**TRACK
SUPERSTRUCTURE** **158**

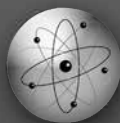
Strain gauges and accelerometers for monitoring dynamics of vertical depression and longitudinal mechanical stress of rails.

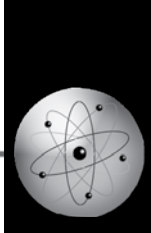


METRO **167**

Impact of corrosion on technical conditions of escalators.

SCIENCE AND ENGINEERING





Numerical Method for Calculating Plane Flows of Viscous Gas in a Cylinder



Asqar Kh. ZAKIROV



Farrukh Kh. NAZAROV

**Asqar Kh. Zakirov¹,
Farrukh Kh. Nazarov²**

^{1,2} National University of Uzbekistan named after
Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan.

✉ 1asqar_z@mail.ru.

¹ ORCID ID 0000-0003-1354-1546.

² ORCID ID 0000-0002-5305-629X.

ABSTRACT

To solve scientific, technological and environmental problems in the field of road transport, it is necessary to develop new mathematical models. At this stage of development of internal combustion engines and their parts, it is necessary to model complex hydrodynamic technologies. This necessities revealing different forms of liquid and gas flows with arbitrary initial and boundary conditions for the region under consideration.

The work is devoted to modelling a turbulent flow over a plate located in a cylinder. Reynolds-averaged Navier-Stokes equations

were used as a mathematical model of the flow. Turbulent viscosity was calculated using the one-equation Spalart-Allmaras turbulence model. To solve the system of hydrodynamic equations, the finite difference method was used. A numerical method for calculating plane flows of viscous gas in a cylinder using turbulence models is presented. Suitable options were selected based on physical assumptions used to develop the models.

Recommendations have been developed on the possibility of using the considered turbulence models.

Keywords: road transport, modelling of turbulent flow, gas distribution mechanism, incompressible gas, turbulent viscosity, one-equation model, finite difference method, MacCormack method.

For citation: Zakirov, A. Kh., Nazarov, F. Kh. Numerical Method for Calculating Plane Flows of Viscous Gas in a Cylinder. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 152–157. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-1>.

*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

Modern conditions of development of road transport, hydraulic structures and other industries require conducting research on a wider class of various issues referring to engines but different from each other in their features. Engine design is a time-consuming and expensive process due to the large number of variables that influence its design. Simulation helps analysing different engine configurations without actually building it and thus reducing cost and time during development stage. Engine modelling consists of two parts: fluid flow simulation and combustion and emptying simulation.

The development of modern engine building is associated with improvement of design and operating principle of the engine. Till now, the internal combustion engine (ICE) was mainly used as vehicles' power plant. To improve the economic and environmental performance of internal combustion engines, it is necessary to improve existing engines and their operating processes [1–3].

The work [4] presents simulations to study the in-cylinder gas flow and heat transfer characteristics of a free-piston compression-ignition engine-generator. An experiment was conducted to obtain accurate piston motion to simulate heat transfer and gas flow, and simulation results presented showed good similarity with the experimental data. The work [5] considered problems of modern piston engine building, the theory of working processes and methods for modelling processes in internal combustion engines.

The article [6] generalises the artificial compressibility method for calculating stationary viscous gas flows, which is suitable for arbitrary values of the Mach number. The paper [7] outlines the current state and areas of applicability of various approaches to turbulence modelling, presents the analysis and content of the most common semi-empirical turbulence models, considers examples of the use of these models for calculating steady flow in a plane channel.

It is known that the working principle of classical internal combustion engines is based on conversion of the thermal energy of fuel combustion into mechanical energy. All car engines operate on the same principle: the air-fuel mixture enters the cylinders, the pistons compress the mixture and it explodes. Gas pressure is generated, which pushes the pistons, while the gas distribution mechanism (GDM) is responsible

for filling the cylinders with the working mixture and releasing exhaust gases. The GDM opens and closes the intake and exhaust valves in accordance with the engine's operating cycles. Modern engine building is developing at a rapid pace thanks to the increase in the average effective pressure and the speed of the pistons. High reliability, service life, fuel efficiency and environmental performance are the main criteria that determine the quality of GDM operation [8].

The main disadvantages of all existing internal combustion engines with valve-type gas distribution mechanisms are the increased aerodynamic resistance of the inlet and outlet annular sections, which forms vertical axial mixing of the valve head plates relative to the gas exchange windows. In addition, the designs of GDM are often quite complex, have a low efficiency of heat exchange, reduced coefficients of filling the cylinders with a fresh charge and cleaning them from combustion products.

The internal combustion engine contains a cylinder with upper intake and exhaust ports, a gas distribution shaft with eccentrics, kinematically connected to the crankshaft, while each port is equipped with a slat damper. The creation of a highly efficient engine with damper-type GDM is associated with solving a number of issues, primarily ensuring compliance with modern environmental requirements.

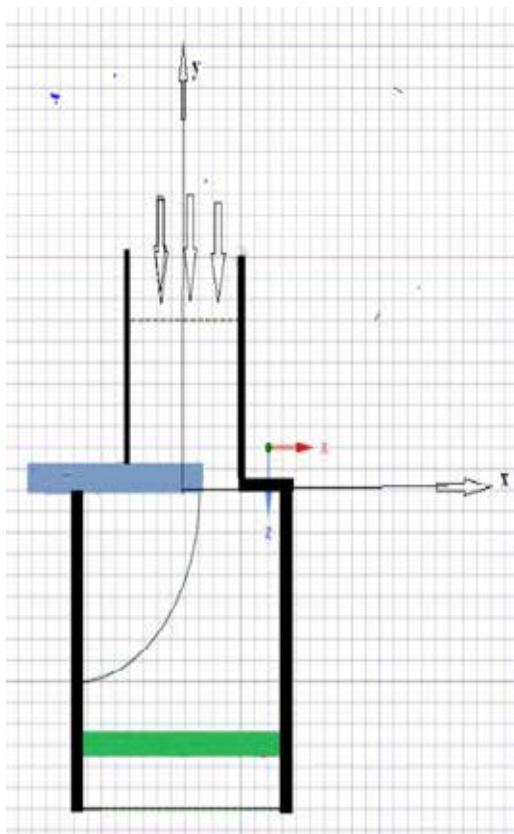
The gas exchange process in the gas distribution mechanisms of the engine, which have the least hydraulic resistance, is reduced to the problem of the theory of compressible gas jets [9–11].

Thus, optimisation of the parameters of the intake and exhaust systems in internal combustion engines is considered the main task of studying gas-dynamic phenomena and is determined by the following criteria: an indicator of the gas exchange process (air flow, fresh mixture consumption) and an indicator of the combustion process [3].

Theoretical study of gas-dynamic processes in internal combustion engines applies various models of gas flow. Taking into account the capacity of computing technology, the choice of the appropriate mathematical model is determined depending on the research tasks.

Interest in the phenomenon of turbulence is due to its practical significance. This has led to many theories, hypotheses and studies aimed at solving problems associated with turbulent flows. Since there are still no general approaches to





Pic. 1. Flow in a cylindrical tube [performed by the authors].

describing such movement of liquid and gas, various approaches to describing the phenomenon of turbulence have been developed for a long time.

The work [12] briefly reviews A. N. Kolmogorov's hypotheses regarding the theory of turbulence and their consequences. Modern semi-empirical turbulence models are used to obtain a complete system of Reynolds equations. Numerical finite difference method was used to solve a closed system of equations of a viscous incompressible fluid in the variables velocity-pressure for an unsteady flow [13]. Different turbulence models have been developed based on different assumptions and approaches to perform practical calculations.

Therefore, it is relevant to develop numerical methods for solving systems of equations of unsteady turbulent flow based on finite-difference schemes with high accuracy.

The *objective* of the paper is to examine the applicability and accuracy of the results obtained using semi-empirical RANS-method models based on the Reynolds-averaged Navier-Stokes equation.

RESULTS

Formulation of the Problem

Study refers to a turbulent jet flowing around a plate installed in a cylinder with a turbulent flow of incompressible gas at a subsonic speed (Pic. 1). The flow is isothermal; external and surface forces are not considered. At infinity, the gas velocity is parallel to the Oy axis. It is assumed that the source is located at point A. In the same formulation, an analytical solution for the flow of an ideal gas in a cylinder was obtained [14].

Using the grid method, approximations for the stream function can be obtained and the components of the velocity vector can be calculated for the problem under consideration [15].

Basic Equations of Gas Motion

The unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, in Cartesian coordinates, are used as a mathematical model of the flow. The one-equation Spalart-Allmaras (SA) turbulence model is used to calculate the turbulent viscosity [16]. The system of hydrodynamic equations for

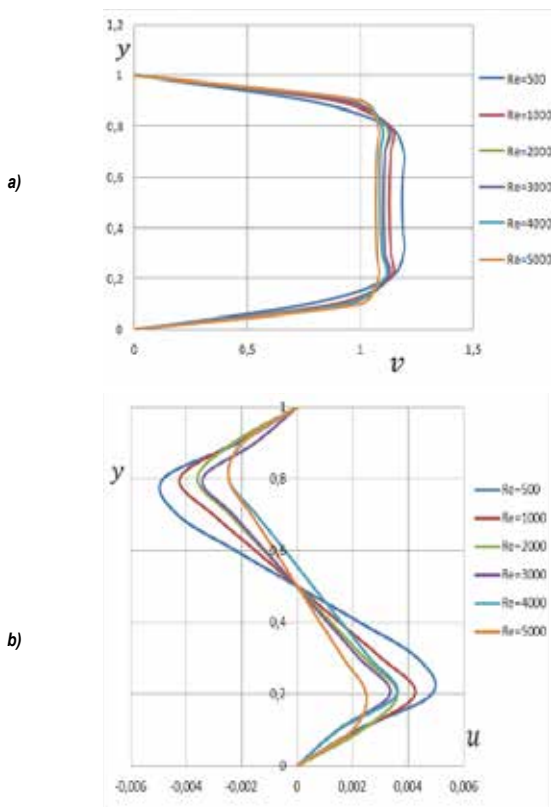


Fig. 2. Distribution of speed profiles for values $x = 5$
a) v – longitudinal component; b) u – transverse component.

an incompressible medium in Cartesian coordinates has the form¹:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial u}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial v}{\partial y} \right), \\ \frac{d\tilde{v}}{dt} = P_v - D_v + \frac{1}{\sigma} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left((v + \tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right) \right] + \frac{C_{b2}}{\sigma} \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right)^2, \\ P_v = C_{b1} (1 - f_{12}) \tilde{v}, D_v = \left[C_{w1} f_w - \frac{C_{b1}}{k^2} f_{12} \right] \left(\frac{\tilde{v}}{d} \right)^2. \end{cases} \quad (1)$$

Here u , v are the longitudinal and vertical components of the flow velocity vector, respectively, p is the hydrostatic pressure, Re is the Reynolds number, and $\tilde{v}$ is the linear eddy viscosity.

Turbulent eddy viscosity is calculated using the formula: $\nu_t = \tilde{v} f_{\nu 1}$. The remaining values are the same as for the «standard» model, presented in [16].

On all stationary solid boundaries for the longitudinal and transverse components of velocity we have:

$$u|_B = 0 \quad \text{and} \quad v|_B = 0,$$

where B are solid boundaries.

For convenience, we rewrite the system of equations (1) in the following form:

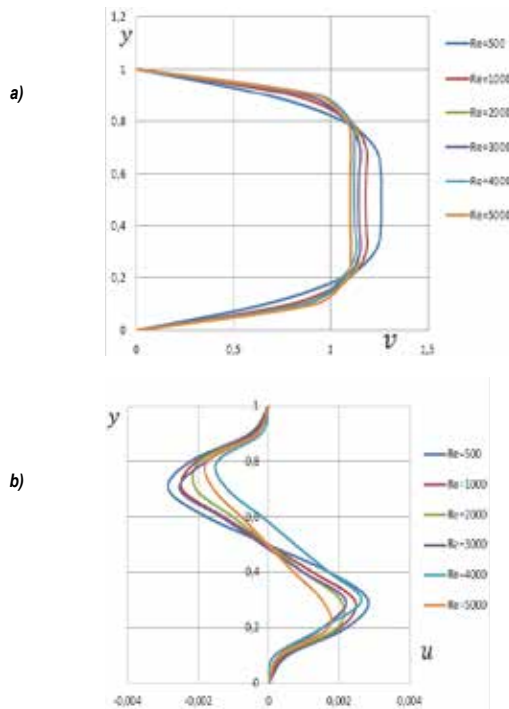
$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + U \frac{\partial \Phi}{\partial x} + V \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(q \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + w.$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} U \\ V \\ \tilde{v} \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} (v + v_t) \\ (v + \tilde{v}) \end{bmatrix},$$

$$w = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \\ P_v - D_v + \frac{C_{b2}}{\sigma} \left(\left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial y} \right)^2 \right) \end{bmatrix}.$$

To solve the system of nonstationary hydrodynamic equations (1), the finite difference method was applied. Matching the velocity and pressure fields is a complex process and presents a number of challenges. For this reason, a grid with a spaced layout structure was used. This

¹ Loytsyansky, L. G. Mechanics of liquid and gas: Textbook. 7th ed., rev. Moscow, Drofa publ., 2003, 840 p. ISBN 5-7107-6327-6.



**Pic. 3. Distribution of speed profiles for values $x = 9.5$
a) v – longitudinal component; b) u – transverse component.**

means that the velocity and pressure components are defined at different nodal points. This approach provides certain advantages when calculating the pressure field. The layout of cells and nodes is similar to the layout used with the SIMPLE method [17].

To solve the problem numerically, we use the following boundary conditions:

- Normal pressure gradient is zero.
- Symmetry conditions were used on a vertical plane relative to the axis y .
- On the free boundary the pressure is constant.

To numerically solve this calculation scheme, we use a two-stage (predictor-corrector) MacCormack technique. This technique has second-order accuracy in time and length $O((\Delta t)^2, (\Delta x)^2, (\Delta y)^2)$. The condition for stability

is $\frac{\Delta t}{\min(\Delta x, \Delta y)} \leq 1$.² This technique is a variant of

the two-stage Lax-Wendroff methods that does not require numerical calculation of the values of the desired function at points $j + 1/2$ and $j - 1/2$ [18, 19]. To solve the above nonlinear partial differential equations, it is also convenient to use the MacCormack method.

² Samarsky, A. A. Theory of difference schemes: Study guide. Moscow, Nauka publ., 1983, 616 p.

For the given problem, the equations of hydrodynamics in discrete form can be represented as:

predictor —

$$\begin{aligned} \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1} = & \Phi_{i,j}^n - U^n \frac{\Phi_{i+1,j}^n - \Phi_{i,j}^n}{\Delta x} \Delta t - \\ & - V^n \frac{\Phi_{i,j+1}^n - \Phi_{i,j}^n}{\Delta y} \Delta t + \frac{0,5\Delta t}{\Delta y^2} \cdot \\ & \cdot \left[(q_{j+1}^n + q_j^n)(\Phi_{i,j+1}^n - \Phi_{i,j}^n) - \right. \\ & \left. - (q_j^n + q_{j-1}^n)(\Phi_{i,j}^n - \Phi_{i,j-1}^n) \right] - w_{i,j}^n. \end{aligned}$$

corrector —

$$\begin{aligned} \Phi_{i,j}^{n+1} = & \frac{1}{2} \left[\overline{\Phi}_{i,j}^n + \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1} - U^{n+1} \frac{\overline{\Phi}_{i+1,j}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} \Delta t - \right. \\ & \left. - V^{n+1} \frac{\overline{\Phi}_{i,j+1}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} \Delta t \right] + \\ & + \frac{0,5\Delta t}{\Delta y^2} \left[\frac{(q_{j+1}^{n+1} + q_j^{n+1})(\overline{\Phi}_{i,j+1}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j}^{n+1}) -}{-(q_j^{n+1} + q_{j-1}^{n+1})(\overline{\Phi}_{i,j}^{n+1} - \overline{\Phi}_{i,j-1}^{n+1})} \right] - w_{i,j}^{n+1}. \end{aligned}$$

Calculation Results

Calculations were carried out at the following values of the main flow parameters: kinematic viscosity of air $\nu = 0,133 \text{ cm}^2/\text{s}$, density $\rho_0 = 1,209 \text{ kg/m}^3$, pressure $p_0 = 0,1 \text{ MPa}$. Pics. 2 and 3 show the calculation results (velocity profiles) of the problem of gas flow in a cylinder, obtained using an implicit scheme, for various values of the Reynolds number.

CONCLUSIONS

The article has presented methods for obtaining models of the motion of turbulent flow in a cylinder. Determining the profile of turbulent motion in a cylinder requires lengthy calculations. It is convenient to obtain the turbulent motion profile using the method proposed by P. R. Spalart and S. R. Allmaras.

From the above, we can conclude that with increasing Reynolds number, the velocity profile v changes from laminar to turbulent. Moreover, for laminar flow $v_{max} = 2v_{av}$, and for turbulent flow $v_{max} = 1,23v_{av}$. As can be seen from the graphs in Pic. 2 and 3, the velocity increases with laminar flow and decreases with the transition to turbulent flow.

REFERENCES

1. Petrichenko, R. M. Physical basis of intra-cylinder processes in internal combustion engines [*Fizicheskie osnovy vnutritsilindrovyykh protsessov v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya*]. Leningrad, Publ. house of Leningrad university, 1983, 244 p.
2. Mashkur Mahmud, A. Mathematical model of gas dynamics and heat transfer processes in the intake and exhaust systems of internal combustion engines. Ph.D. (Eng) thesis [*Matematicheskaya model protsessov gazodinamiki i teploobmena vo vpusknoi i vypusknoi sistemakh DVS*]. Diss. kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, SPbGPU publ., 2005, 189 p.
3. Khmelev, R. N. Study of the influence of gas-dynamic processes on functioning of internal combustion engines. Ph.D. (Eng) thesis [*Issledovanie vliyaniya gazodinamicheskikh protsessov na funktsionirovanie DVS*]. Diss. kand. tekhn. nauk]. Tula, TSU publ., 2002, 144 p.
4. Yuan, C., Xu, J., Feng, H. In-cylinder heat transfer and gas motion of a free-piston diesel engine generator. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2017, Vol. 231, Iss. 8, pp. 739–752. DOI: 10.1177/09575650917717627 [restricted access].
5. Sharoglazov, B. A., Farafontov, M. F., Klementiev, V. V. Internal combustion engines: theory, modelling and calculation of processes [*Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovanie i raschet protsessov*]. Chelyabinsk, SUSU publ., 2005, 403 p. [Electronic resource]: https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000305263&dtype=F&etype=.pdf. Last accessed 17.05.2023.
6. Strelets, M. Kh., Shur, M. L. Methods of scaling the compressibility in calculating stationary flows of a viscous gas at arbitrary Mach numbers. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 1988, Vol. 28, Iss. 2, pp. 254–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(88\)90237-6](https://doi.org/10.1016/0041-5553(88)90237-6).
7. Garbaruk, A. V., Strelets, M. Kh., Shur, M. L. Modelling turbulence in complex flow calculations [*Modelirovanie turbulentnosti v raschetakh slozhnykh tekhnii*]. St. Petersburg, Publ. house of Polytechnic University, 2012, 88 p. ISBN: 978–5–7422–3349–7.
8. Kavtaradze, R. Z., Onishchenko, D. O., Zelenkov, A. A., Kadyrov, S. M., Aripdzhanov, M. M. Computational and experimental study of influence of piston's and sleeve's thermal insulation on formation of nitrogen oxides in combustion products of high-speed diesel. *Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. «Mashinostroyeniye»*, 2011, Iss. 4 (85), pp. 83–102. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17228197&ysclid=Ind7dt9l8p367078437>. Last accessed 17.05.2023.
9. Sedov, L. I. Plane problems in hydrodynamics and aerodynamics [*Ploskie zadachi gidrodinamiki i aerodinamiki*]. Moscow, Nauka publ., 1980, 448 p.
10. Gurevich, M. I. The theory of ideal fluid jets [*Teoriya strui idealnoi zhidkosti*]. Moscow, Nauka publ., 1979, 536 p.
11. Khamidov, A. A. Plane and axisymmetric problems on jet flow of an ideal compressible fluid [*Ploskie i osesimmetrichnie zadachi o struinoi tekhnii idealnoi szhimaemoi zhidkosti*]. Tashkent, Fan publ., 1978, 140 p.
12. Mazo, A. B. Modelling of turbulent incompressible fluid flows [*Modelirovanie turbulentnykh tekhnii neszhimaemoi zhidkosti*]. Kazan, KSU publ., 2007, 106 p. [Electronic resource]: <https://www.researchgate.net/publication/320466159>. Last accessed 17.05.2023.
13. Bruyatskiy, E. V., Kostin, A. G., Nikiforovich, E. I., Rozumnyuk, N. V. Method for numerical solution of Navier-Stokes equations in velocity–pressure variables. *Prikladna gidromekhanika*, 2008, Vol. 10, Iss. 2, pp. 13–23.
14. Zakirov, A. Kh. Study of the flow of compressible gas with a free jet in a cylinder/ In: *Proceedings of the International Conference «Modern problems of applied mathematics and mechanics: theory, experiment and practice»*. Novosibirsk, 2011. [Electronic resource]: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/niknik-90/fulltext/40557/49562/Zakirov%20A.pdf>. Last accessed 17.05.2023.
15. Zakirov, A. Kh. Numerical modelling of separated fluid flow in a cylinder. In: *XXVI All-Russian Seminar with international participation on jet, separated and unsteady flows: Materials of reports*. St. Petersburg, June 27–July 1, 2022. St. Petersburg, Baltic State Technical University, 2022, pp. 89–90. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49818567&pf=1>. Last accessed 17.05.2023.
16. Spalart, P. R., Allmaras, S. R. A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows. AIAA 1992–439, 30th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. January 1992. Published online 17.08.2012. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.1992-439>.
17. Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Taylor and Francis, 1980. 214 p. ISBN: 9780070487406.
18. MacCormack, R. W. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2003, Vol. 40, Iss. 5, pp. 757–763. [Reprinted from AIAA paper 69–354, 1969]. Published online 23.05.2012. DOI: <https://doi.org/10.2514/2.6901>.
19. Tannehill, J. C., Anderson, D. A., Pletcher, R. H. Computational fluid mechanics and heat transfer. [Edition in Russian]. In 2 vol. Vol. 1. Transl. from English. Moscow, Mir publ., 1990, 382 p. ISBN: 5-03-001927-8. ●

Information about the authors:

Zakirov, Asqar Kh., Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of Mechanics and Mathematical Modelling of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan, asqar_z@mail.ru.

Nazarov, Farrukh Kh., PhD (Physics and Mathematics), Senior Researcher at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures, Senior Lecturer at the Department of Mechanics and Mathematical Modeling of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan, farruxnazar@mail.ru.

Article received 05.10.2022, updated 12.08.2023, approved 17.10.2023, accepted 09.11.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-2>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 158–166

Possibility of Monitoring the Dynamic Impact of the Rolling Stock on the Track Superstructure Using Strain Gauges and Vibrometry



Aleksandr S. ADADUROV



Victor N. FEDORININ



Sergey A. BEKHER



Mikhail A. GULYAEV

Aleksandr S. Adadurov¹, Victor N. Fedorinin², Sergey A. Bekher³, Mikhail A. Gulyaev⁴

¹ VNIIZHT-Engineering Ltd., St. Petersburg, Russia.

² Branch of the Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

^{3,4} Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia.

✉ ³ behers@mail.ru.

ABSTRACT

One of the priority tasks in development of railway transport is to raise its efficiency by increasing the time between repairs for both the track superstructure and the rolling stock. Solving this problem is impossible without timely, complete, and reliable information about the dynamics of interaction of the rolling stock with the infrastructure. To organise monitoring of dynamic processes, completely different types of primary transducers are used: resistance strain gauges, fibre-optic sensors, dynamometers (force sensor pads), accelerometers, acoustic emission sensors. This implies relevance of the scientific and technical problem of comparative testing of sensors of different types to assess the information content of their signals and justify the criteria for choosing primary transducers when solving specific monitoring problems.

The objective of the study is to comparatively test removable resistive strain sensors, optical polarisation strain sensors and accelerometers under a passing train and to evaluate their information

content to control rail depression and detect defects on the running surface of wagon wheels.

The study using finite element modelling and a physical model of a rail as of a beam on an elastic foundation, substantiates the relationship between longitudinal deformations and vertical accelerations of the rail foot. Comparative tests of removable strain-resistive and optical polarisation strain sensors and accelerometers were held on an experimental section of track under a passing train. A signal processing algorithm has been developed and the equivalence of strain gauges and vibrometers for determining the depression of a rail under a passing train has been proven. A comparison has been made of the pulse components of the signals of deformation and vibration acceleration during movement of a wheel with a defect on the running surface, and the requirements for the frequency characteristics of the sensors and their mounting on the rail surface have been substantiated.

Keywords: railways, wheel and rail dynamics, rail deformation, strain gauge, vibrometry, removable strain gauge, optical polarisation sensor, accelerometer.

Funding: the work was partially supported by state budget funds under state assignment No. 3.2023-GZ. EGISU NIOTKR [single state information system of records of R&D] registration number 123063000030-0.

For citation: Adadurov, A. S., Fedorinin, V. N., Bekher, S. A., Gulyaev, M. A. Possibility of Monitoring the Dynamic Impact of the Rolling Stock on the Track Superstructure Using Strain Gauges and Vibrometry. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-2>.

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 dynamics of interaction between rolling stock wheels and rails [1–4] determines the reliability and service life of wagon running gear [5, 6] and elements of the track superstructure [7]. An increased level of dynamic forces in the «wheel–rail» system increases the likelihood of formation of fatigue defects and the rate of development of mechanical wear [8–10]. Excessive forces from rolling stock onto the track can lead to destruction of the rail due to defects, the dimensions of which do not exceed the detection threshold of standard ultrasonic flaw detection equipment [11–13]. For example, in 2022 alone, on the West Siberian Railway, 17 rail fractures occurred due to cracks, all of which had smaller dimensions than the maximum ones, which had not allowed them to be detected either by mobile flaw detection equipment or by removable flaw detectors. In eight cases, destruction occurred along cracks in the foot tips, which did not cross the vertical plane of symmetry of the rail and were not detected by ultrasonic testing.

One of the indicators of the dynamic impact of rolling stock on the track according to GOST [Russian state standard] 34759–2021 refers to longitudinal stresses in the flange tips, which during certification tests should not exceed 240 MPa. An increased level of stress in the foot is associated with depression of the rail in the vertical plane under a passing train, which directly affects the likelihood of brittle failure of an object with a transverse crack.

Technical condition of rolling stock on the railways of the Russian Federation and abroad is widely monitored with the Pauk [Spider], Neva, WILD, WCM, Lasca, and Atlas-LG systems [14]. These stationary rolling stock diagnostic tools monitor the levels of dynamic stress, depression, and vibration of the rails under a passing train. The advantage of this approach is the ability to classify rolling stock defects not by size and type, but directly by the degree of their negative impact on the track.

Traditionally, to control mechanical stresses and depression, the relative deformations of the rail under a passing train are measured [15–18]. The complexity of organising this type of control is associated with the laboriousness of attaching strain gauges directly to the rail using glue. At the same time, the results of deformation measurements strongly depend on installation conditions and human factors. The use of welding to attach strain gauges to rails is possible only

after certification tests. All this significantly limits the possibility of quickly changing the location or scheme of measuring deformations.

Relevant is the development of removable strain sensors that provide registration of dynamic processes in rails at frequencies up to (10–20) kHz [19–23]. To increase the reliability and information content of the control process, vibrometry tools, which are accelerometers, can additionally be used. Using the example of diagnostics of bridge spans, work [24] showed that the combined use of strain gauging and vibrometry makes it possible to compensate for limitations of each method, increasing their scope of application and reliability of the results.

The *objective* of the study is to assess the possibility and to compare the results of strain gauging of rails using removable strain gauge sensors and optical polarisation sensors with the results of vibrometry under a passing train to monitor rail depression and detect defects in the running surface of railway wheels.

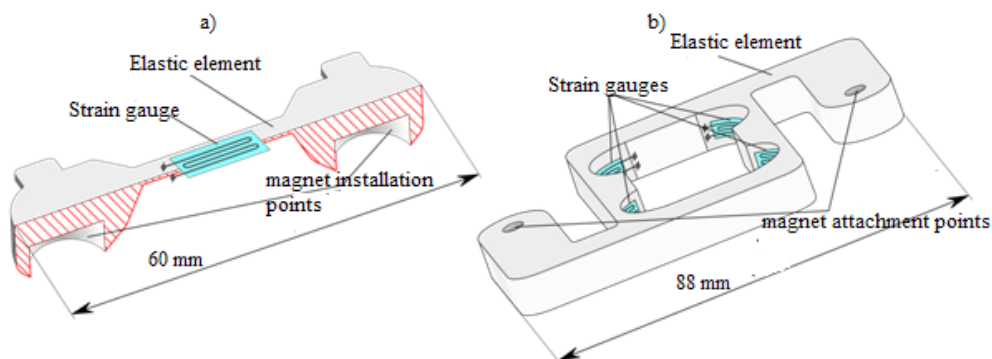
RESULTS

Experimental Equipment and Test Methods

Three different types of digital removable strain gauges were used to monitor strain: two strain-resistive and one optically polarisation sensor. The sensitive elements in the strain gauges were film strain gauges 2FKP-5–200-A-12-S with a base of 5 mm, a resistance of 200 Ohms and an average strain sensitivity of 2,04. The strain gauges were glued to an elastic element of a string type made of ABS plastic (Pic. 1 *a*) and of a cantilever type (beam) made of D16A duralumin (Pic. 1 *b*) using cyanoacrylate glue. The elastic elements were attached to the rail by two disk (ring) magnets with a pressing force of 10 N. The mass of the plastic sensor assembly was of 26 g, the mass of the duralumin sensitive element was of 62 g.

A string-type strain gauge (Pic. 1 *a*) with single strain gauge was connected to the «Dynamika-3» strain gauge system, registered in the state register of measuring instruments under No. 66938-17, according to the «single strain gauge» scheme with a sampling frequency of 16 kHz. The cantilever type strain gauge (Pic. 1 *b*) used four strain gauges connected via a bridge circuit to the original strain gauge device, with a sampling frequency of 4 kHz. The values of the smallest digit of the recorded digital signals were of $1,85 \cdot 10^{-6}$ and $1,7 \cdot 10^{-6}$ relative deformations, respectively.





Pic. 1. Designs of removable strain gauges of string (a) and beam (b) types [performed by the authors].



Pic. 2. Appearance of the optical polarisation sensor [photo made by the authors].

In the optical polarisation sensor, an elastic element with a 60 mm base made of 12X18H10T steel transmits rail deformations to a quartz glass disk. The operating principle of the sensor is based on the phenomenon of photoelasticity and is described in detail in [25]. The value of the smallest digit of the analogue-to-digital converter in relative units of deformation was of $5 \cdot 10^{-8}$. The mass of the sensor was of 94 g.

Strain gauges were installed in inter-sleeper spaces on the lower surface of the rail foot in the symmetry plane and were oriented to measure longitudinal deformations ε_z (Pic. 3). Vibration acceleration was measured with a three-axis accelerometer based on the ADXL326 chip with an upper limit of the transmission frequency of 1600 Hz. The developed and manufactured measuring circuit ensured the conversion of acceleration into a digital signal with a sampling frequency of 12 kHz and a value of the smallest digit of $3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$,

the root-mean-square deviation of the intrinsic noise of the measuring path did not exceed $6 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$. The accelerometer was installed on the rail foot to record only one vertical component of vibration acceleration a_y (Pic. 3).

Finite element Modelling

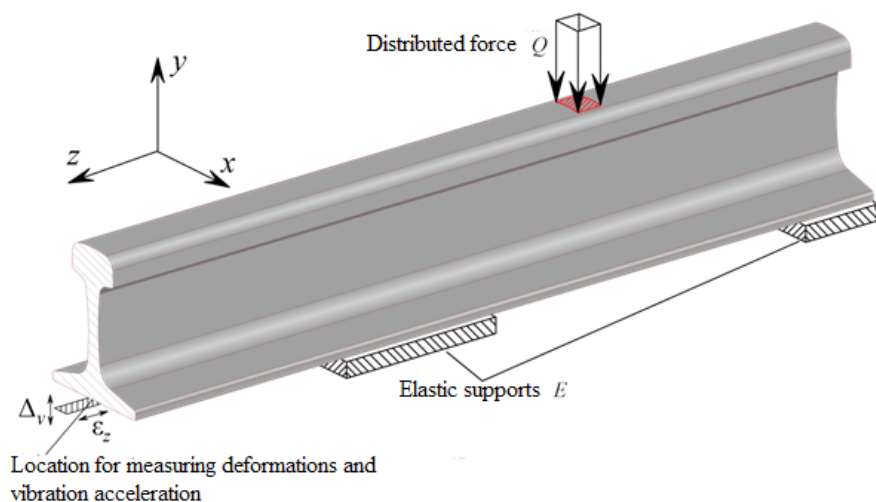
A 7 m long rail model was divided into tetragonal elements with edge lengths from 10 to 245 mm (Pic. 3). Sleepers within a stress-strain diagram of 2000 pcs/km were reproduced by elastic boundary conditions with vertical rigidity distributed along the foot of the rail at the point of contact with the sleepers. In model experiments, the rigidity varied within the range from 10 to 200 MN/m³. The foot tips were rigidly fixed at the rails' edges. A force from the wheel $Q = 10 \text{ kN}$ was applied to the rail head along the normal in the symmetry plane. The longitudinal deformations of the foot ε_z and the vertical displacements of the foot of the rail Δ_y obtained by the finite element method for a rigidity of 10 MN/m³ are presented in Pic. 4 a, c, for a rigidity of 100 MN/m³ in Pic. 4 d, e.

Analytical Model

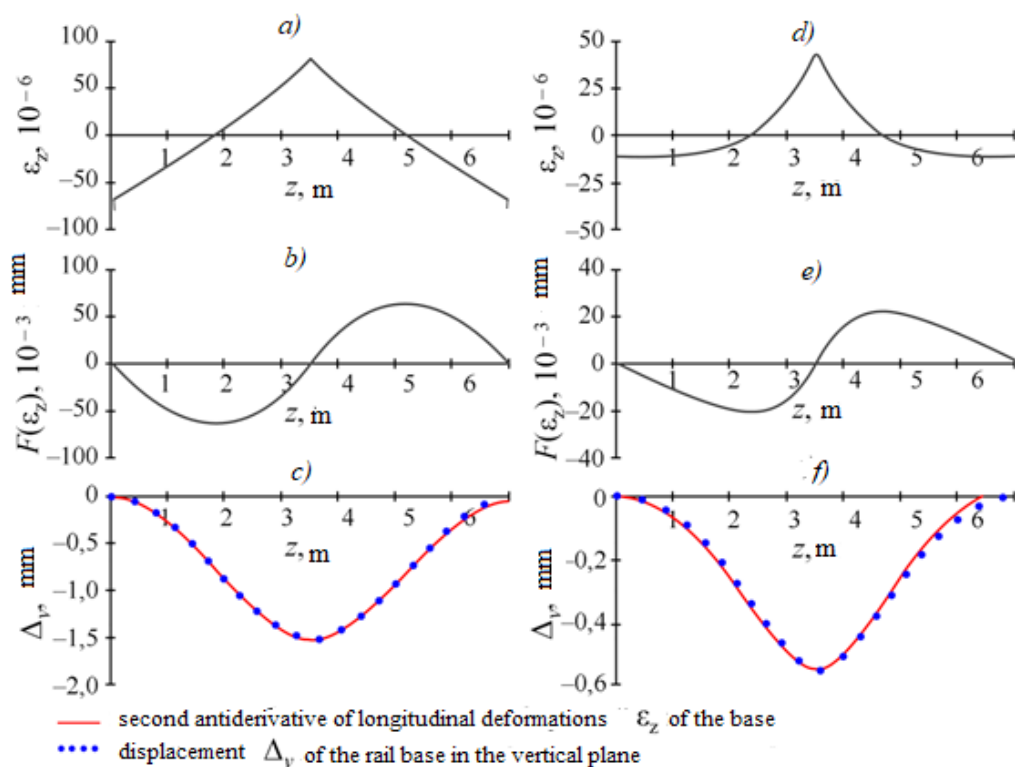
According to the theory of resistance of materials, a rail is a beam lying on an elastic foundation [26]. In this model, there is a relationship between the movements of the rail in the vertical plane along the y axis with the longitudinal deformations ε_z of the rail (Pic. 3). For a beam, the following relationship between the deflection $\Delta_y(z)$ and the bending moment $M_x(z)$ is valid:

$$E \cdot J_x \cdot \frac{d^2 \Delta_y(z)}{dz^2} = M_x(z), \quad (1)$$

where E – modulus of elasticity, MPa; J_x – section moment of inertia, m⁴; $\Delta_y(z)$ and $M_x(z)$ – functions



Pic. 3. Rail model for finite element calculations [performed by the authors].



Pic. 4. Results of modelling by the finite element method of a rail with a base stiffness of 10 (a, b, c) and 100 MN/m³ (d, e, f): deformation ϵ_z (a, d), antiderivative of deformations $F(\epsilon_z)$ (b, e), second antiderivative of deformations and displacement of the rail foot Δv (c, f) [performed by the authors].

of beam depression and of bending moment from coordinate z , m and $N \cdot m$, respectively.

The bending moment creates proportional mechanical stresses in the longitudinal direction:

$$\sigma_z(z) = \frac{M_x(z)}{J_x} \cdot y_{\max}, \quad (2)$$

where $y_{\max}$ — maximum distance to the deformation measurement point from the neutral axis of the rail, m.

Combining (1) and (2) and taking into account the relationship between elastic deformations and mechanical stresses $\sigma = \epsilon \cdot E$:



$$\frac{d^2 \cdot y(z)}{dz^2} = \frac{e_z}{y_{\max}}. \quad (3)$$

Expression (3) includes only geometric quantities that establish the relationship between rail depression curvature. Consequently, the pattern described by this expression, to a first approximation, does not depend either on the mechanical characteristics, or on the method of applying forces or their values, or on the boundary conditions of the rail fastening.

The beam depression function can be obtained by double integration of expression (3):

$$\Delta_y(z) = k \cdot \int_0^z \left(\int_0^u \varepsilon_z(v) dv \right) du = k \cdot F(F(\varepsilon_z(z))), \quad (4)$$

where F – antiderivative, $k = I/y_{\max}$ – proportionality factor, m^{-1} .

To check the analytical dependences (4), the deformations ε_z (Pic. 4 a, d) were numerically integrated twice. The antiderivatives $F(\varepsilon_z(z))$ are shown in Pic. 4 b, e. The second antiderivatives of deformations $F(F(\varepsilon_z(z)))$ are shown in Pic. 4 c, f and coincide with the vertical movements of the foot Δ_y with an error of no more than 1 % near the point of application of the force in the area with coordinates from 1,5 to 5,5 m. The calculated proportionality coefficient $k = (12,5 \pm 0,2) m^{-1}$ is practically independent of stiffness in the range from 10 to 200 MN/m³. The obtained value of coefficient k corresponds to the distance from the foot to the neutral axis of the rail $y_{\max} = 0,08$ m (standard height of the new rail is 0,18 m).

When a train moves at a constant speed, the coordinate of the point of measurement of deformations relative to the train is described by the simplest equation:

$$z = V \cdot t, \quad (5)$$

where V is train speed, m/s.

The transition in (4) from integration over coordinate z to integration over time t can be carried out by replacing the variable in (5):

$$\Delta_y(t) = \frac{V^2}{y_{\max}} \cdot F(F(\varepsilon_z(t))). \quad (6)$$

A similar expression can be obtained for accelerometer signals, since displacement obviously represents the second antiderivative of acceleration:

$$\Delta_y(t) = F(F(a_y(t))), \quad (7)$$

where $a_y(t)$ is vibration acceleration of the rail foot at the moment t , m/s².

Expressions (6) and (7) in integral form establish a connection between the longitudinal

deformations of the rail base ε_z and the vertical acceleration a_y , which, in a certain sense, indicates the equivalence of these two types of measurements:

$$\frac{V^2}{y_{\max}} \cdot F(F(\varepsilon_z(t))) = F(F(a_y(t))). \quad (8)$$

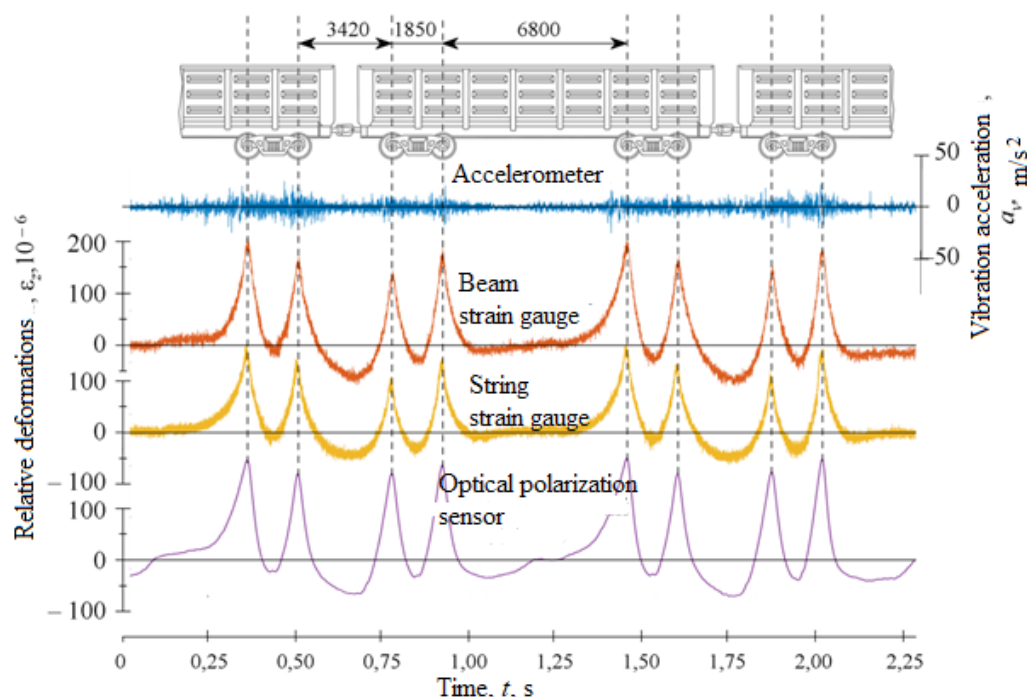
Expression (8) was obtained under the conditions of neglecting the uneven distribution of under-rail stiffness and is obviously determined with an accuracy of up to a certain polynomial of the first degree. In practice, expression (8) establishes a relationship between deformations and accelerations only in the low-frequency region, since double integration is a high-pass filter. The validity of equation (8) for real signals will make it possible in the future to justify the possibility of reducing the number of types of sensors installed on rails and to focus on methods for processing their signals.

Experimental Results

Experimental studies were carried out on an operating straight section of continuous track with rails of R65 type on a ballast base. Deformations of the rail foot were recorded when cargo trains were moving at speeds from 40 to 60 km/h before entering the wagon maintenance station. As the train moved along the measuring section, vibration accelerations and longitudinal deformations of the rail foot were recorded (Pic. 5).

High-frequency oscillations predominate in the accelerometer signals (Pic. 5); the passage of a wheel over the sensor installation location causes an increase in the root-mean-square deviation of the vibrations. The foot deformation reaches zero level in the middle of the wagon, when all the wheels are located as far as possible from the deformation measurement point. As the wheel approaches the strain gauge, the rail bends downwards, and longitudinal tensile stresses arise in the foot. Between the wheels and wagons, the curvature of the rail changes sign, the centre of the inscribed circle is located at the bottom, and compressive stresses are observed in the foot. The maximum value of stresses in-between wagons is 2–4 times higher than the stress between wheelsets of one bogie, the level of tensile stresses under the wheel in absolute value is 3–4 times higher than the maximum level of compressive stresses.

Significant differences in the shape of the signals (Pic. 5) of the optical polarisation sensor from the signals of the strain gauges are associated with their different locations along the



Pic. 5. Diagram of the wheel arrangement of three wagons of a cargo train and the corresponding signals from the accelerometer, beam and string strain gauges, and optical polarisation sensor when eight wheelsets pass (performed by the authors).

track. In the experimental data in Pic. 5, the distance between the measurement points was 2,5 m. Rail deformations depend both on the dynamics of the rolling stock and on the state of the under-rail foundation: stiffness and unevenness along the length of the track; the same statement is true for accelerometer signals.

The verification of relation (8) was performed by double numerical integration of the accelerometer signal and strain gauge signals (Pic. 6). The Pearson correlation coefficient, calculated from local maxima and minima of primitive deformations and vibration acceleration, is greater than 0,99. The similarity of the shape of the second antiderivatives (Pic. 6) and the strong correlation between the extreme values confirm the validity of the integral equation (8), relating vertical vibration acceleration to longitudinal deformations of the foot. When performing numerical integration, the constancy of the average level must be ensured, which is only possible under conditions of symmetrical sensitivity of the strain gauge to compressive and tensile deformations.

Wheelsets' defects such as skids and gouges increase the dynamic force transmitted from the wheel to the rail. The shape of the signals from the strain gauges and accelerometer is distorted

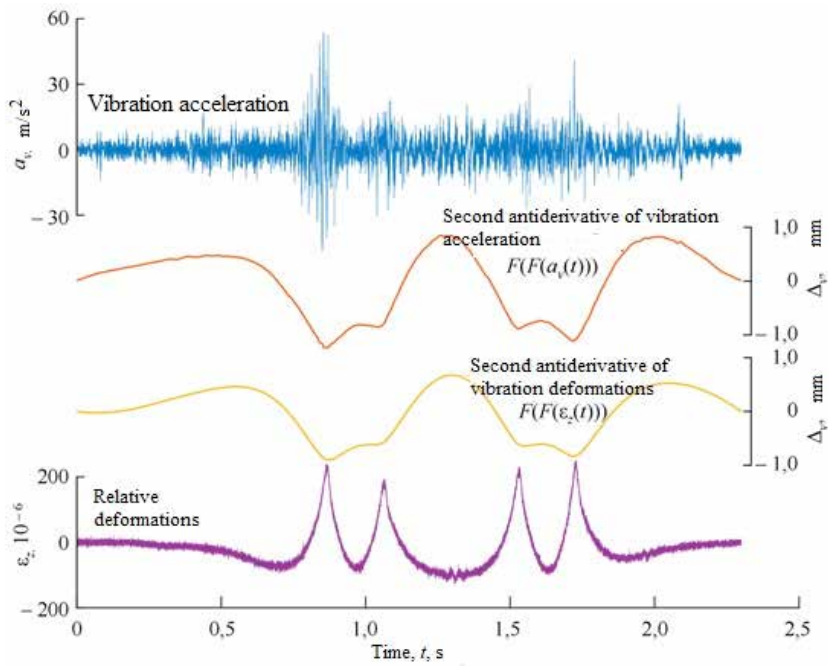
(Pic. 7 a). Pulse components 1–9 appear in the signals, each of which corresponds to the impact of a running surface defect, that is of a local deviation of the wheel from the circle, on the rail.

The first 6 pulses 1–6 with a fairly high probability relate to one running surface defect, which was registered several times during successive full rotations of the wheel. The average time between adjacent pulses 1–6 (Table 1) is 0,18 s, which at a speed of 59 km/h corresponds to a distance of 2,950 m, equal to the circumference of a wheel with a diameter of 0,94 m. For the first six pulses, the deviation of the time between them from average (Table 1) does not exceed 3 ms, which is comparable to half the oscillation period of 6 ms.

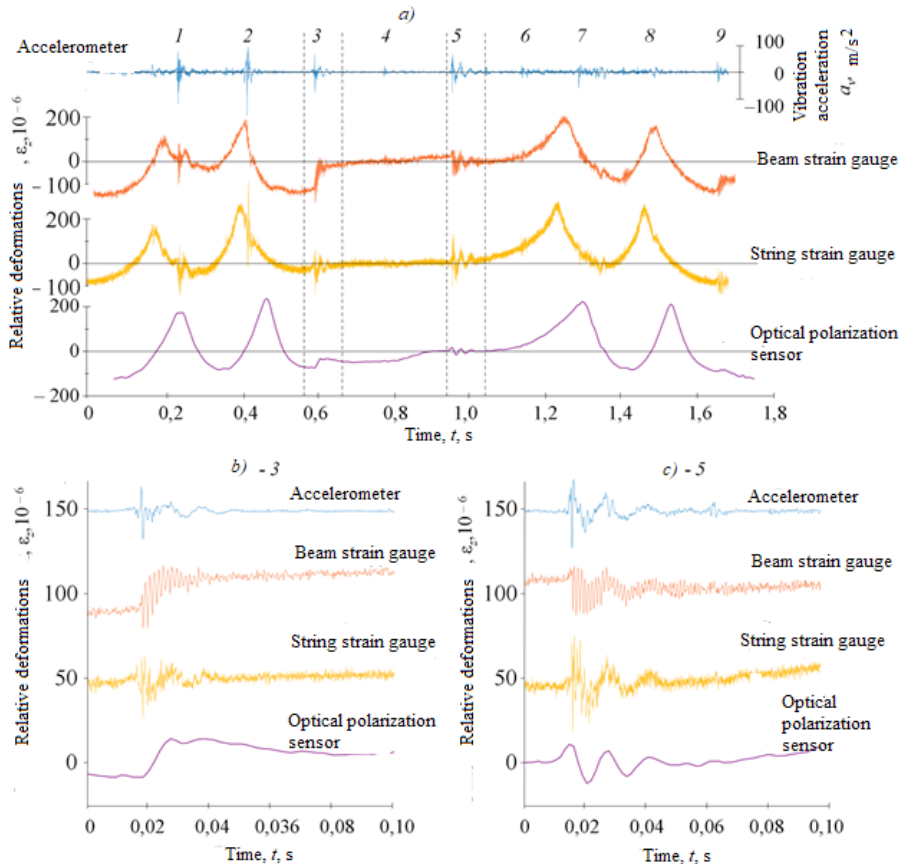
The strain and vibration acceleration pulses recorded in the test are damped oscillations with a frequency of 74 Hz (Pic. 7 b, c). The pulses in the signals of the accelerometer and the string strain gauge are equivalent in shape and frequency content, and the signal-to-noise ratio of vibration acceleration is 1,5–2 times higher than that of the string strain gauge.

In the signals of the beam and optical polarisation sensors, signs of slipping of magnetic fasteners along the surface of the rail are observed indicated by a shift in the average





Pic. 6. Signals of the accelerometer $a_v(t)$ and string-type strain gauge $\varepsilon_v(t)$ and their second antiderivatives which are equal to the vertical displacement of the rail base $\Delta_v(t)$ [performed by the authors].



Pic. 7. Signals of the accelerometer $a_v(t)$ and strain gauges $\varepsilon_v(t)$ versus time during the passage of four wheelsets with defects (a) and enlarged fragments of signals with pulses from defects 3 (b) and 5 (c): 1–9 – signal pulses from defects [performed by the authors].

Table 1

Time between vibration acceleration pulses in Pic. 7

Pulse numbers	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9
Time between pulses, ms	180	177	180	178	182	151	194	165
Absolute deviation from the average, ms	0,3	-2,2	0,4	-1,6	3,0	-29	15	-15
Relative deviation from the average, %	0,2	-1,2	0,2	-0,9	1,7	-15,9	8,4	-8,2

signal value (Pic. 7 b). The spectral composition of these signals is distorted: in the pulse of the beam sensor, a natural oscillation frequency of 800 Hz is observed, and in the optical polarisation sensor there are no frequencies above 200 Hz. All this is due to the designs of the sensors and their fairly large masses, 2–3 times the mass of the string sensor. When a wheel with a defect moves, the massive strain gauge is affected by dynamic forces that exceed the frictional forces and disrupt the fixed contact of the magnetic holders with the rail surface.

KEY FINDINGS AND CONCLUSION

To organise monitoring of the dynamics of vertical depression and longitudinal mechanical stresses of the rail foot during movement of defect-free wheels, both strain sensors and accelerometers can be used. The second antiderivatives in time from vertical acceleration and from longitudinal deformations of the base with constant coefficients are equal to the vertical depression of the rail. This pattern, formulated for a beam model on an elastic foundation, is confirmed by finite element modelling and numerical integration of signals from accelerometers and strain gauges installed on the operating track.

Pulse signals caused by passage of wheels with running surface defects, recorded by accelerometers, have a 1,5–2 times higher signal-to-noise ratio compared to strain gauges. This effect does not impose restrictions on the use of strain gauges since it can be compensated by the use of filtering at the stage of post-processing of digital signals. When a wheelset with a defect on the running surface moves, pulse signals are recorded multiple times, up to six times. The amplitude of the pulses depends on the local stiffness of the under-rail foundation which requires the use of several transducers to unambiguously identify a defective wheelset.

The shape of the recorded pulse components when using magnetic mounts is significantly influenced by the mass, quality factor and natural frequency of strain gauges. Reliable conversion

of pulse components by removable strain gauges depends on their mass, which determines the level of dynamic forces.

The results can be used to improve the design and software of stationary diagnostic tools for rolling stock in terms of the level of dynamic impact on the track, increase the reliability of the results and expand their functionality.

REFERENCES

1. Krasnov, O. G., Bogdanov, O. K., Akashev, M. G. Dynamic forces and processes in the rails under impact interaction of wheels with defects. *Russian Railway Science Journal*, 2016, Vol. 75, Iss. 6, pp. 354–364. EDN: XCCLWT.

2. Pevzner, V. O., Petropavlovskaya, I. B., Tretyakov, V. V. [et al]. Comparative analysis of the impact on the track of wagons with different axial loads [Sravnitel'nyy analiz vozdeistviya na put vagonov s razlichnymi osevyimi nagruzkami]. *Introduction of modern structures and advanced technologies into track management*, 2016, Vol. 9, Iss. 9 (9), pp. 68–75. EDN: WIMBQP.

3. Abdurashitov, A. Yu., Yurkova, Yu. N. On the interaction of track and rolling stock on high-speed traffic sections depending on the outline of the rail and wheel profiles [O vzaimodeistvii puti i podvizhnogo sostava na uchastkakh skorostnogo dvizheniya v zavisimosti ot ochertaniya profilei relsov i koles]. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2022, Iss. 1 (73), pp. 170–177. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.1(73).170-177. EDN: CICMUB.

4. Kruglov, V. M., Khokhlov, A. A., Savruchin, A. V. Model of Dynamic Interaction of Rolling Stock and Track [Model dinamicheskogo vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i puti]. *World of Transport and Transportation*, 2011, Vol. 9, Iss. 5 (38), pp. 8–11. EDN: OKMCQP.

5. Krasnov, O. G., Efimenko, A. V., Akashev, M. G. The influence of defects on the wheel running surface on the service life of the side frames of cargo wagons [Vliyaniye defektov na poverkhnosti kataniya koles na resurs bokovykh ram gruzovykh vagonov]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo*, 2014, Iss. 2 (38), pp. 45–48. EDN: SEQIZX.

6. Increasing the reliability and service life of wheelsets and rails [Povysheniye nadezhnosti i sroka sluzhby kolesnykh par i relsov]. *Zheleznie dorogi mira*, 2011, Iss. 3, pp. 54–61. EDN: NUGVEZ.

7. Kogan, A. Ya. Impact on the track of trains containing wagons with sliders on wheelsets [Vozdeistvie na put poezdov, imeyushchikh v svoem sostave vagony s polzunami na kolesnykh parakh]. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*, 2014, Iss. 3, pp. 3–8. EDN: TOLHCB.

8. Zakharov, S. M., Pogorelov, D. Yu., Simonov, V. A. Analysis of the influence of carriages and track parameters on the wear rate in the wheel–rail system (based on a full factorial experiment) [Analiz vliyaniya parametrov ekipazhei i puti na intensivnost iznosa v sisteme koleso-rels (na osnove polnogo faktornogo eksperimenta)]. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*, 2010, Iss. 2, pp. 31–35. EDN: MEGPGL.



9. Bondarev, E. S. Forecasting the technical condition of rails based on statistical data [*Prognostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya relsov po statisticheskim dannym*]. *Bulletin of the Siberian State Transport University*, 2021, Iss. 4 (59), pp. 55–61. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_59_55. EDN: HLDMQB.
10. Makhutov, N. A., Kossov, V. S., Oganyan, E. S., Volokhov, G. M., Ovechnikov, M. N., Protopopov, A. L. Prediction of contact-fatigue damage to rails using computational-experimental methods. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*, 2020, Vol. 86, Iss. 4, pp. 46–55. DOI: 10.26896/1028-6861-2020-86-4-46-55. EDN: UXMYMI.
11. Gromakov, M. S., Tarmaev, A. A., Bepalko, S. V. An energy criterion for estimating the remaining wheel stability from the rolling of the flange onto the railhead during the motion of a wheelset along a straight section. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2021, Iss. 1(69), pp. 104–111. DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).104-111. EDN: DIETDK.
12. Markov, A. A., Maksimova, E. A., Antipov, A. G. Analysis of the development of rail defects based on the results of multi-channel periodic monitoring [*Analiz razvitiya defektov relsov po rezul'tatam mnogokanalnogo periodicheskogo kontrolya*]. *Defektoskopiya*, 2019, Iss. 12, pp. 3–15. DOI: 10.1134/S0130308219120017. EDN: CQVYYL.
13. Markov, A. A., Maksimova, E. A. Analysis of effectiveness of ultrasonic and magnetic channels of flaw detection systems when inspecting rails [*Analiz effektivnosti ultrazvukovykh i magnitnykh kanalov defektoskopicheskikh kompleksov pri kontrole relsov*]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2019, Iss. 2, Vol. 2, pp. 22–32. EDN: HNQVES.
14. Boronenko, Yu. P., Rahimov, R. V., Grigoriev, R. Yu., Popov, V. V. Analysis of methods for measuring the force effect of rolling stock on the track and the wheel control systems when the train is moving. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya*, 2020, Vol. 17, Iss. 3, pp. 324–344. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-324-344. EDN: PDIIBK.
15. Markov, A. A., Maksimova, E. A., Antipov, A. G. Dynamic correction of sensitivity of flaw detection channels during high-speed rail inspection [*Dinamicheskaya korrektsiya chuvstvitelnosti defektoskopicheskikh kanalov pri vysokoskorostnom kontrole relsov*]. *Defektoskopiya*, 2021, Iss. 12, pp. 3–14. DOI: 10.31857/S0130308221120010. EDN: VMRTBG.
16. Korzhin, S. N., Mironenko, O. I., Melanin, V. M., Bepalko, S. V. Determination of the stress state of a freight wagon wheel from the reaction of the rail [*Opredelenie napryazhennogo sostoyaniya koleasa gruzovogo vagona ot reaktsii relsa*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2021, Iss. 4, pp. 8–12. DOI: 10.53883/20749325_2021_04_08. EDN: FCPDYF.
17. Boronenko, Yu. P., Tretyakov, A. V., Zimakova, M. V. Digital software and hardware platform for automated monitoring of the technical condition of rolling stock and the railway track while the Rubezh train is running [*Tsifrovaya programmno-apparatnaya platform dlya avtomotizirovannogo monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya podvizhnogo sostava i zheleznodorozhnogo puti na khodu poezda Rubezh*]. *Proceedings of scientific-practical conference of JSC VNIIZhT «Science 1520 VNIIZhT: Look beyond the horizon» (26–27 August 2021)*. Shcherbinka, JSC VNIIZhT, 2021, pp. 38–44. EDN: OEVRPB.
18. Boronenko, Yu. P., Rakhimov, R. V., Petrov, A. A. Piecewise continuous measurement of forces between the wheel and the rail using shear stresses in two sections of the rail [*Kusochno-nepreryvnoe izmerenie sil mezhdu kolesom i relsom po kasatel'nym napryazheniyam v dvukh secheniyakh relsa*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2018, Iss. 3 (76), pp. 58–64. EDN: XRLKOD.
19. Romen, Yu. S., Suslov, O. A., Balyaeva, A. A. Determination of interaction forces in the wheel-rail system based on measuring stresses in the rail web [*Opredelenie sil vzaimodeystviya v sisteme koleso-rels na osnovanii izmereniya napryazhenii v sheike relsa*]. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*, 2017, Vol. 76, Iss. 6, pp. 354–361. DOI: 10.21780/2223-9731-2017-76-6-354-361. EDN: YKHKDN.
20. Kossov, V. S., Gapanovich, V. A., Lunin, A. A. [et al]. On the issue of determining lateral forces in heavy traffic conditions [*K voprosu opredeleniya bokovykh sil v usloviyakh tyazhelovesnogo dvizheniya*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2018, Iss. 5, pp. 46–51. EDN: XMGKWD.
21. Manshin, Yu. P., Manshina, E. Yu., Geue, M. About the dynamic error of strain gauge torque measuring devices. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 2131, Mathematical modeling and computational methods in problems of electromagnetism, electronics and physics of welding, 052041. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052041.
22. Dobrovolsky, P. P., Kremis, I. I., Fedorinin, V. N., Sidorov, V. I. Comparative Analysis of the Frequency Responses of Vibration of Rotary Type Microcryogenic Machines. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2021, Vol. 57, Iss. 2, pp. 202–207. DOI: 10.3103/S8756699021020060. EDN: ZYTENZV.
23. Sychev, V. P., Shabalin, N. G., Loktev, A. A. [et al]. Calculation of the vibration impact on the track of passenger trains at high speeds to ensure safety and comfort of passengers and train crews [*Raschet vibratsionnogo vozdeystviya na put passazhirskikh poezdov s povyshennymi skorostyami dvizheniya dlya obespecheniya bezopasnosti i komfortnosti passazhirov i poezdnykh brigad*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2020, Iss. 3, pp. 110–115. EDN: IHCSZB.
24. Ma, Z., Chung, J., Liu, P., Sohn, H. Bridge displacement estimation by fusing accelerometer and strain gauge measurements. *Structural Control and Health Monitoring*, 2021, Vol. 28, Iss. 6, e2733. DOI: <https://doi.org/10.1002/stc.2733> [restricted access].
25. Fedorinin, V. N. Patent No. 2157513 C1 Russian Federation, IPC G01J 4/04. Ellipsometric sensor: No. 99104550/28: appl. 05.03.1999: publ. 10.10.2000; applicant: Design and Technological Institute of Applied Microelectronics SB RAS. EDN: QDFVXB.
26. Kucheryaviy, V. I., Milkov, S. N. Reliability of a gas and oil pipeline in linearly elastic soil during bending [*Nadezhnost gazonefteprovoda v lineino uprugom grunte pri izgibe*]. *Problems of mechanical engineering and machine reliability*, 2017, Iss. 2, pp. 125–130. EDN: YKVAXB. ●

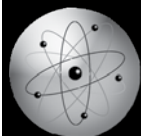
Information about the authors:

Adadurov, Aleksandr S., Ph.D. (Eng), General Director of VNIIZhT-Engineering Ltd., St. Petersburg, Russia, a.adadurov@vniizht-e.ru.
Fedorinin, Victor N., Ph.D. (Eng), Leading Engineer of the Branch of the Rzhanov Institute of Semiconductor Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, fedorinin55@mail.ru.

Bekher, Sergey A., D.Sc. (Eng), Associate Professor, Professor at the Department of Physics, Electrical Engineering, Diagnostics and Control in Technical Systems of Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia, behers@mail.ru.

Gulyaev, Mikhail A., Ph.D. student at Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia, lokigulyaev@gmail.com.

Article received 03.07.2023, approved after reviewing 30.09.2023, accepted 04.10.2023.



Combined Influence of Cyclic Loads and Corrosion on the Technical Condition of Metal Structures of Metro Escalators



Vyacheslav N. DYATLOV



Sergey V. ORLOV



Valery A. POPOV

Vyacheslav N. Dyatlov¹, Sergey V. Orlov², Valery A. Popov³

^{1, 2, 3} *Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.*

✉ ¹ w.dyatlov@gmail.com.

¹ SPIN-код: 2978-6706, ORCID 0000-0002-4864-7554.

² SPIN-код: 2776-2605, ORCID 0009-0003-4651-3987.

³ SPIN-код: 2418-7152, ORCID 0000-0003-2635-5427.

ABSTRACT

This article examines the influence of loads, conventionally divided into static and cyclic ones, and of corrosion acting together on the structural elements of metal structures of metro escalators. The dynamics of corrosion processes are determined by the environment, the degree of influence of which, depending on the geographical location and based on seasonality, can vary from non-aggressive to highly aggressive. This, with simultaneous occurrence of deformations (a stressed state is created in the structure), can lead to fatigue failures. The state of the metal structure of the escalator in this case is the most important element, since the failure of almost any of its structural elements means a complete stop of the escalator.

The prerequisites for corrosion fatigue for low carbon steels, as the main material in manufacture of metal structures for metro escalators, are also considered.

The main objective of the study is to search for criteria for creating an experimental and computational method for determining the residual life of metal structures of metro escalators with a high degree of reliability. Identification and analysis of criteria for assessing the condition of metal structures was carried out by the authors using experimental research and survey methods, that resulted in a conclusion that the degree of degradation of the main characteristics and properties of metal structure elements is determined not only by the number of loading cycles, but also by the duration of exposure to an aggressive environment.

Keywords: metro, escalator, metal structure, corrosion, fatigue, static and cyclic loads, mathematical modelling and simulation.

For citation: Dyatlov, V. N., Orlov, S. V., Popov, V. A. Combined Influence of Cyclic Loads and Corrosion on the Technical Condition of Metal Structures of Metro Escalators. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 167–174. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-3>.

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

Hoisting and transport machines, including metro escalators, are designed based on the assumption that their metal structures will be operated within the limits of elastic deformations, that is, within the area of such loads where the relationship between the resulting stresses and the resulting deformations is unambiguous. However, in practice, zones of local overloads are found quite often on elements of metal structures, where fatigue failures occur, which can be accompanied by nonlinear elastoplastic and plastic deformation.

Modern technologies based on the implementation of finite element modelling through various software systems make it possible to determine with sufficient accuracy the stress-strain state of nodes and elements of metal structures of escalators [1].

The non-destructive magnetic testing method, based on the interconnectedness of the magnetic and physical-mechanical properties of ferromagnetic materials, makes it possible to actually clarify the location of the most loaded zones of the elements of load-bearing metal structures of metro escalators operating under conditions of long-term cyclic loading, to evaluate the stress-strain state of the metal, and also to determine the level of plastic deformation and fatigue damage [2].

In this case, the structure of the ferromagnetic material acts as a kind of unique sensor of the peak force value, and a number of other controlled magnetic parameters related to the integrity of the metal structure clearly display the force characteristics of the operating modes of the load-bearing metal structure.

The state of the metal structure in this case is the most important element, since its failure means a complete stop of the escalator. Based on this, the main *objective* of this study is to establish the relationship between the corrosion state of metal structures of metro escalators that have completed their standard service life and their technical characteristics, which determines the possibility of calculating the value of the residual resource and extending the period for operation over standard service life [3]. The object of study, which is the metal structure of metro escalators, acts in this case as a poorly organised system with insufficiently studied causal relationships and a lack of determinism in manifestation of many phenomena and implementation of processes. Main research *methods* comprise practical methods for determining

and assessing the technical condition of metal structures of metro escalators, regression analysis and statistical modelling, fundamentals of the mechanics of destruction of solids.

The study does not consider the possible loading of the supporting metal structures of escalators, which can occur in case of violation of integrity of building structures for various geological and anthropogenic reasons.

RESULTS

Determining the Features of the Influence of Cyclic Loads and Corrosion

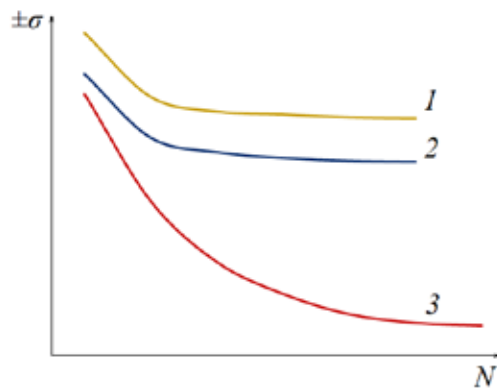
The operation of metal structures of metro escalators is carried out in an environment, the degree of impact of which, depending on the geographical location and based on seasonality, can vary from non-aggressive to highly aggressive, with the simultaneous development of deformations since a stressed state is created in the structure. The loads arising in this case, in combination with the processes of stress-corrosion cracking and corrosion fatigue, can be conditionally divided into two groups: static and cyclic ones [4, 5].

The mechanism of corrosion-fatigue destruction is unique and at the same time dangerous in that it starts in almost any corrosive environment, from slightly aggressive to highly aggressive ones, and can lead to a sharp, sometimes catastrophic decrease in the endurance limit of metal.

The presence of a corrosive environment makes significant adjustments to the process of fatigue destruction of metal structure elements made of low carbon steels, in comparison with dry air or chemically low-active environments. Corrosion fatigue in such cases can manifest itself in the form of the following features:

- *No true endurance limit.* In Pic. 1, the «stress – number of loading cycles» coordinate axes show the endurance curves of steels: line 1 corresponds to pure fatigue, line 2 to adsorption fatigue, and line 3 to corrosion fatigue.

There are no pronounced horizontal sections on all lines. The value of the destructive alternating stress is determined depending on the number of loading cycles; however, at the same time, the relationship between the intensity of the decrease in the value of the destructive stress and the relative corrosiveness of the medium is obvious. Therefore, to characterise corrosion fatigue, such a concept as a conditional endurance limit is used.



Pic. 1. Typical endurance curves for steels [performed by the authors].

- The inability to establish a relationship between the conditional limit of corrosion endurance and the mechanical properties of the metal obtained by applying static and cyclic loads when it is in an air environment.

- Multiplanar nature of destruction, clearly manifested in low carbon steels in neutral corrosive environments.

Practical tests of St3sp steel [Standard-grade structural carbon steel] samples were carried out using a BISS Nano UT-01–0025 servo-hydraulic testing unit and an Altami MET 3T metallographic digital microscope. Multi-cycle fatigue tests were carried out with a strain changing of 0,4–0,6 % with cycle stress amplitudes of 250–280 MPa. Before testing, the samples underwent preliminary metallographic examination, for which their surface was mechanically ground and etched with a 5 % nitric acid solution to identify grain boundaries. Next, pictures were taken of the same area after each stage of loading.

As can be seen from Pic. 2 St3sp steel has a typical homogeneous microstructure consisting of ferrite and pearlite grains. Already at the first stages of fatigue testing, stable slip bands appear in ferrite grains, which merge during subsequent loading; new slip bands also appear, and their number increases accordingly. Stable slip bands are oriented predominantly across the loading axis.

Intergranular fracture is the most preferable place for occurrence of corrosion processes, following which the surrounding corrosive environment, affecting and changing the microrelief of the fracture surface, can significantly increase the number of elements of brittle fracture, chipping and other structural defects:

- An increase in the cross-section of the test samples leads to a decrease in the endurance limit

regarding fatigue of low carbon steels. This phenomenon is called the scale effect. However, in a corrosive environment, smooth samples may exhibit an inversion of the scale effect.

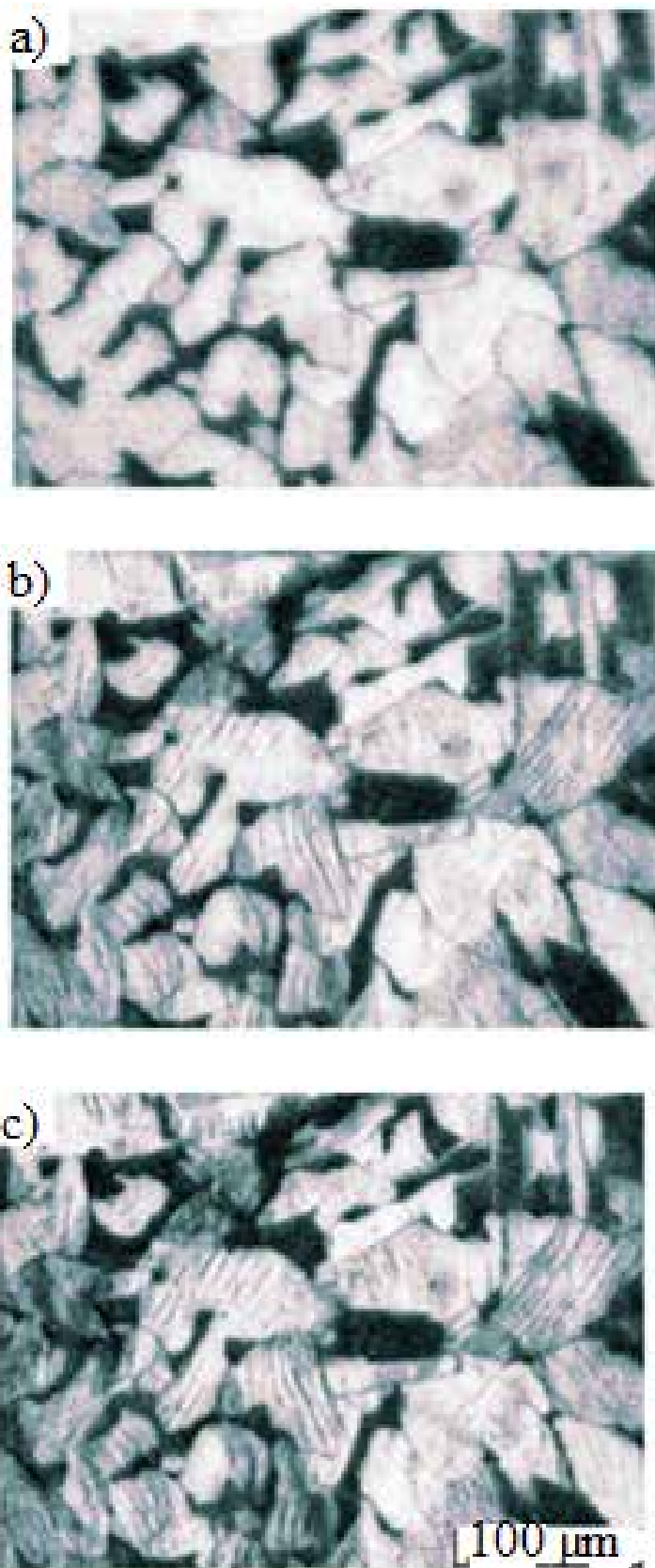
- Reducing the sensitivity of low carbon steel products located in a corrosive environment to surface microgeometry and mechanical stress concentration due to their anodic dissolution.

The operation of most metal structures of metro escalators is carried out under conditions of corrosion fatigue when exposed to corrosive environments of varying degrees of aggressiveness, however, cases characteristic of exclusively corrosion-mechanical destruction in specific conditions are quite rare in practices or are not observed at all, based on which the above theoretical provisions need clarification.

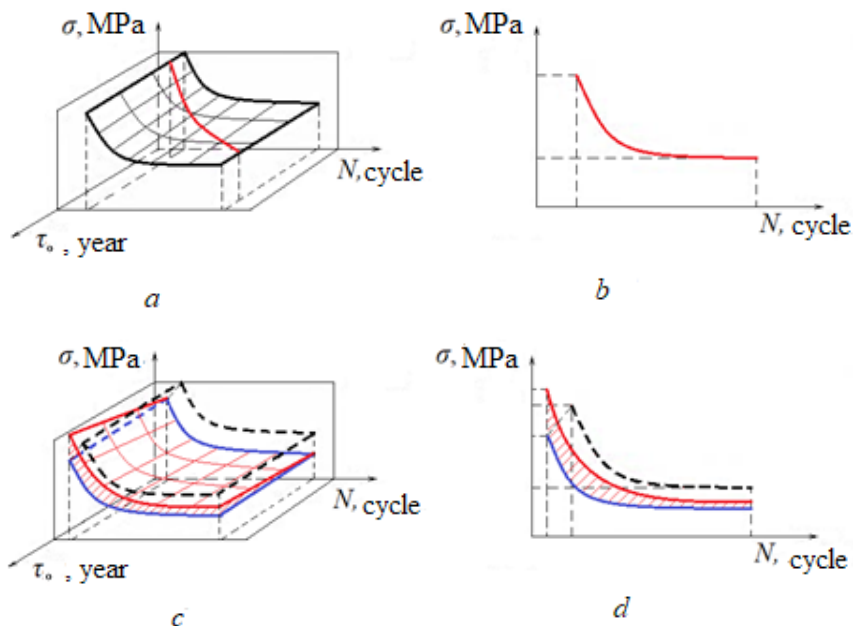
Accounting for the Time Factor when Assessing the Condition of Metal Structures of Metro Escalators

The degree of influence of the time factor on the state of a real metal structure of a metro escalator cannot be reliably determined using diagrams with typical fatigue curves, since they are obtained in laboratory conditions during testing of standard samples under high intensity cyclic loads at $N > \tau_o$, where τ_o is operation time. It is obvious that the operation of metal structures in real conditions is carried out at $\tau_o \gg N$, for example, the standard service life of metro escalators varies from 30 to 50 years. It is also obvious that in real life conditions the escalator does not operate all 24 hours a day, but only a certain number of shifts with redirection of traffic and breaks in operation. On the contrary, expiration of 100 % service life for the test samples is carried out within a few hours or days, which is clearly not enough to demonstrate the actual nature of corrosion-mechanical destruction.





Pic. 2. Metal surface of the sample: a – before testing, b – after 103 loading cycles, c – after 2×103 loading cycles [performed by the authors].



Pic. 3. Typical fatigue curves: a, b – pure fatigue obtained in neutral environments; c, d – fatigue taking into account the influence of primary factors of the corrosive influence of the environment (--- pure fatigue (black dotted line in colour image); – taking into account the influence of corrosive wear (red line); – taking into account the influence of adsorption fatigue (blue line)) [performed by the authors].

That is, the results obtained in the laboratory, for cases where $\tau_0 \gg N$, cannot fully reflect the physical and chemical process under study.

As part of previously conducted on-site studies [6, 7] in the Petersburg Metro State Unitary Enterprise, using various methods for determining the technical condition of metal structures of escalators, the primary factors determining the aggressive impact of the environment were identified: the influence of wear of individual structural elements on the dynamics of changes in the load-bearing capacity of the metal structure as a whole; the occurrence and development of local types of corrosion damage, including pitting corrosion; the phenomenon of adsorption decrease in the mechanical characteristics of the material.

In this case, corrosion, first, means not the process of material destruction, but the entropy, aimed at restoring balance in nature. All steels contain iron, which makes them thermodynamically unstable compounds, which, during redox reactions, are converted into thermodynamically favourable rust, that is into an analogue of ore iron.

Simultaneous exposure to constant and variable loads leads to corrosion fatigue of the material. Assessing the actual corrosion state of a metal structure, as well as the ability to predict the dynamics of this state (that is, to determine the remaining technical life), contributes to the timely adoption of measures to prevent

operational failures during operation of metro escalators.

To achieve this goal, a mathematical modelling method was chosen. The main criteria that needed to be paid attention to when creating the model were identification of properties or indicators in the process under study, identification of phenomena and other components that characterise the selected properties or indicators, and their description.

To increase the adequacy of the modelling, numerical modelling was carried out, which consists of combining the application of MathCad and SigmaPlot software packages (MathCad is a computer algebra software package that belongs to the class of automatic design systems; SigmaPlot is a software package designed for the analysis and visualisation of scientific and statistical data with the ability to apply 2D and 3D visualisation of the results).

Mathematical expressions were obtained that describe development and impact of these factors, taking into account the influence of the time factor.

To ensure a clear representation of interconnectedness of the influence of the main factors of corrosion and the degree of accumulation of corrosion fatigue in the metal structures of metro escalators, it becomes necessary to depict all corrosion-fatigue curves in three-dimensional coordinates: «stress (load) – number of loading cycles – time».



Table 1

Accumulation rate of fatigue damage under pure fatigue
($\sigma_{RK} = 85 \text{ MPa}$) [performed by the authors]

$\sigma_{\max}$, MPa	197	165	150	118	104
N , 10^3 cycle	1	5	10	50	100
$\Delta\sigma_n$, MPa	112	80	65	33	19
v_{pn} , $10^{-6} \text{ mm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{cycle})$	0,00893	0,00250	0,00154	0,00061	0,00053

Pic. 3 clearly shows that the schemes are fundamentally different from each other, and it can be noted that with the same number of loading cycles N the main difference lies precisely in the time factor.

Throughout their entire life cycle, structural elements of metal structures of metro escalators, like of any other hoisting and transport machines, are subject to corrosive wear, the degree of accumulation of which over time determines the dynamics of a decrease in the load-bearing capacity of the metal structure and an increase in stress under a constant load over time (Pic. 3). As a result, there is a need to actually determine the value of the residual life and organise constant monitoring of the level of applied loads to maintain the operability of the structure for a certain number of loading cycles [8, 9].

Adsorbed surfactant components of the medium also cause changes in the fatigue strength of the material, which is explained by the Rehbinder effect, especially under the action of cyclic stresses. The curves of adsorption fatigue and pure fatigue obtained in neutral media are similar (Pic. 1). Here, as mentioned above, there is also the absence of a pronounced horizontal section, however, unlike corrosion fatigue, the limit of adsorption fatigue is not a conventional value and can be determined quite accurately. The similarity of the curves allows us to conclude that adsorption fatigue simply leads to a decrease in the endurance limit of the material.

To determine the value of the adsorption fatigue limit σ_{-1k} , it is possible to use the formula [6, 7]:

$$\sigma_{-1k} = \sigma_{-1o} \cdot \left(\frac{T_o}{T} \right)^\beta \cdot \gamma_d \cdot k_t, \tag{1}$$

where σ_{-1o} – endurance limit of the material at temperature $T_o = 293\text{K}$ (20°C);

T – ambient temperature;

β – characteristics of cross-sectional stability against corrosion;

γ_d – adsorption strength reduction coefficient;

k_t – time component characterising the dynamics of changes in the coefficient of adsorption strength reduction over time.

It should be noted that the adsorption effect of the environment is levelled out and the properties of the material can be restored to the level of pure fatigue if it is ensured that the material does not come into contact with an aggressive environment, for example, using paints and varnishes [10, pp. 173–174].

Pitting in a material manifests itself in the form of stress concentrators, which are local defects, from which fatigue cracks can develop [11].

Let us consider a model that describes the stage of initiation of fatigue cracks in low carbon and low-alloy steels at the stage of diffuse damage [12]:

$$N_T = -\frac{1}{C_N} \int_{\omega_o}^1 \frac{(1-\omega_{nT})^{m_c}}{\Delta\sigma_n^{m_c}} d(1-\omega_{nT}), \tag{2}$$

where N_T – number of cycles at the stage of diffuse damage;

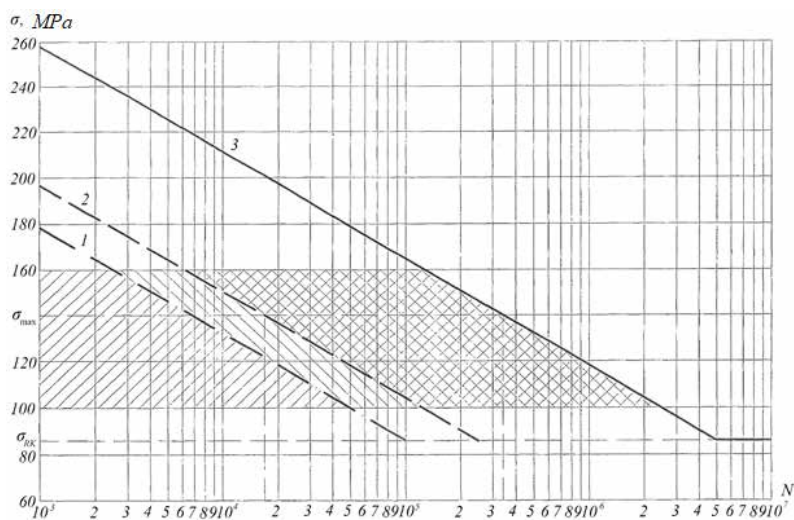
C_N and m_c – coefficients determined by the physical and mechanical properties of the material;

ω_o – quantitative proportion of structural damage before loading;

Table 2

The rate of accumulation of fatigue damage considering the adsorption effect of the environment ($\sigma_{RK} = 72,3 \text{ MPa}$) [performed by the authors]

$\sigma_{\max}$, MPa	167,5	140,3	127,5	100,3	88,4
N , 10^3 cycle	1	5	10	50	100
$\Delta\sigma_n$, MPa	95,2	68	55,2	28	16,1
v_{pn} , $10^{-6} \text{ mm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{cycle})$	0,01050	0,00294	0,00181	0,00071	0,00062



Pic. 4. Diagram of fatigue damage 1 – line of the end of the incubation period of fatigue; 2 – line of the end of the period of initiation and development of submicroscopic cracks to microscopic sizes (Paris' Law line); 3 – curve of the end of the period of development of microcracks to macrocracks of critical size [15].

ω_{nT} – quantitative fraction of fatigue damage accumulated during loading;

$\Delta\sigma_n$ – value of damaging stresses.

The value of damaging stresses can be determined using the formula [13, 14]

$$\Delta\sigma_n = \sigma_{\max n} - \sigma_{RK} \quad (3)$$

where σ_{RK} – endurance limit.

Analysis of formula (3) allows making the following assumptions and conclusions at a preliminary stage: the increase in the level of damaging stresses is influenced, firstly, by the presence of an aggressive environment, which causes increased corrosive wear, which results in an increase in $\sigma_{\max n}$, and secondly, adsorption environmental influences that cause a decrease in σ_{RK} . The option cannot be ruled out when a simultaneous change in the corresponding quantities may occur, which leads to a general increase in the level of damaging stresses.

Since during the research it is difficult to determine individual real characteristics, we will assume that in the presence of a 0,1 mm long microcrack, the critical volume of damage V_{ny} will be equal to 0,001 mm³.

It is obvious that the increase in the rate of formation of fatigue cracks is a consequence of the influence of primary factors that determine the aggressive influence of the environment, then, based on the assumptions and conclusions obtained from the analysis of formula (3), and the accepted value of the volume V_{ny} , their influence on the dynamics of fatigue crack development can be assessed.

The values of the maximum permissible stresses, determined by the applied external load, according to model (2), can reach the level of the yield strength σ_T . At the same time, the mechanical characteristics of the metal are affected by the adsorption effect of the environment, which manifests itself in the form of a decrease in σ_{RK} and σ_T by a maximum of 15 % (under conditions of highly aggressive environment).

To determine the rate of accumulation of fatigue damage, we use the formula

$$v_{pn} = \frac{V_{ny}}{N \cdot \Delta\sigma_n} \quad (5)$$

Pic. 4 shows a diagram of the fatigue damage of the studied samples made of St3sp steel under cyclic tensile conditions with a cycle asymmetry $R = 0,3$.

Using the diagram and formula (4) allows us to determine the dynamics of changes in the rate of accumulation of fatigue damage in the considered case of pure fatigue (see Table 1). In this case, the value of the maximum stresses $\sigma_{\max}$ is selected according to the Paris' Law.

For the case that considers the adsorption effect of the environment on the fatigue process (under conditions of a highly aggressive environment), all indicators decrease by 15 % (see Table 2).

Analysing the data obtained in Tables 1 and 2, the following conclusions can be drawn: the overall level of damaging stresses for St3sp steel in a highly aggressive environment (with equal structural resources for two cases under



consideration) decreases; the rate of accumulation of fatigue damage is different and when operating in a highly aggressive environment it increases by an average of 17,2 %.

CONCLUSION

An increase in the rate of formation of fatigue cracks is determined by the presence of primary factors of corrosion action on metal structure elements, and this increase is gradual and is determined by the service life duration, which allows us to qualify the time factor as a determining factor.

The level of degradation of the main characteristics and properties of metal structure elements, along with the number of loading cycles, is also determined by the duration of exposure to an aggressive environment, which uniquely determines the rate of accumulation of fatigue damage.

The inclusion in the model [5, 6] of the presented model (5) to determine the rate of accumulation of fatigue damage, considering model (1) to determine the limit of adsorption fatigue and taking into account the time component, will more fully reflect the process of the combined effect of corrosion and cyclic loads on the metal structures of metro escalators.

REFERENCES

1. Vatulin, Y. S., Popov, V. A., Dyatlov, V. N. Technical diagnostics of the embedded elements of crane tracks of lifting equipment in machine halls of tunnel escalators. *Izvestia MGTU MAMI*, 2022, Vol. 16, Iss. 3, pp. 241–250. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-106323>.
2. Popov, B. E., Kotelnikov, V. S., Zarudny, V. V. [et al]. Magnetic diagnostics and residual life of lifting structures [Magnitnaya diagnostika i ostatochniy resurs podemnykh sooruzhenii]. *Occupational safety in industry*, 2001, Iss. 2, pp. 44–49. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11691124&ysclid=ln4bswtzce251027582>. Last accessed 07.07.2023.
3. Kharlov, M. V., Popov, V. A. Methodology for assessing the technical condition of an escalator [Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya eskalatora]. *Internet Journal of Science*, 2017, Vol. 9, Iss. 4. [Electronic resource]: <http://naukovedenie.ru/PDF/05TVN417.pdf>. Last accessed 15.05.2023.
4. Tawancy, H. M., Ul-Hamid, A., Abbas, N. M. Practical engineering failure analysis. New York, Marcel Dekker, 2004, 616 p. ISBN 978-0203026298.

5. Steklov, O. I. Resistance of materials and structures to stress corrosion [Stoikost materialov i konstruktii k korrozii pod napryazheniem]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1990, 384 p. ISBN 978-5217005009.

6. Dyatlov, V. N. Modelling the corrosion process of load-bearing metal structures of a metro escalator [Modelirovanie protsessa korrozii nesushchikh metallokonstruktii eskalatora metropolitena]. *Vestnik MADI*, 2022, Iss. 1 (68), pp. 29–35. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48283752&ysclid=ln4dgtk2rj605841534>. Last accessed 16.07.2023.

7. Dyatlov, V. N. Clarification of the model for development of corrosion defects in load-bearing metal structures of a metro escalator [Utochnenie modeli razvitiya korozionnykh defektov nesushchikh metallokonstruktii eskalatora metropolitena]. *Vestnik MADI*, 2022, Iss. 3 (70), pp. 46–50. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/vgxvvc?ysclid=ln4djsx281v972174148>. Last accessed 16.07.2023.

8. Kazarinov, N., Smirnov, A., Petrov, Y., Gruzdkov, A. Dynamic fracture effects observed in a one-dimensional discrete mechanical system. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 157, Key Trends in Transportation Innovation (KTTI-2019), art. 01020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015701020>.

9. Bardyshev, O. A., Popov, V. A., Filin, A. N., Kharlov, M. V. Ensuring the safety of tunnel escalators [Obespechenie bezopasnosti tonnelnykh eskalatorov]. St. Petersburg, Bezopasnost publ., 2020, 128 p. ISBN 978-5898090715.

10. Gerasimenko, A. A., Aleksandrov, Ya. I., Andreev, I. N. [et al]. Protection against corrosion, aging and biodamage of machines, equipment and structures: Directory: In 2 Vol. Vol. 1 [Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniya mashin, oborudovaniya i sooruzhenii: Spravochnik: V 2 t. T. 1]. Gen. ed.: Gerasimenko, A. A. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987, 688 p.

11. Schweitzer, P. A. Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals. Boca Raton, CRC Press, 2006, 752 p. ISBN 978-0429127137.

12. Seliverstov, G. V., Danilov, A. S. Study on corrosion fatigue of metal structures of lifting machines [Issledovanie korrozionnoi ustalosti metallokonstruktii gruzopodemnykh mashin]. *News of Tula State University. Series Technical Sciences*, 2009, Iss. 2–1, pp. 248–253. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14615398&ysclid=ln4ftgq29u157526384>. Last accessed 16.07.2023.

13. Makhutov, N. A. Deformation criteria for destruction and strength calculations of structural elements [Deformatsionnye kriterii razrusheniya i raschet elementov konstruktii na prochnost]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1981, 272 p.

14. Rozenfeld, I. L. Corrosion and protection of metals [Korroziya i ashchita metallov]. Moscow, Metallurgiya publ., 1969, 448 p.

15. Mylnikov, V. V., Kondrashkin, O. B., Shetulov, D. I. Cyclic strength and durability of structural materials: Monograph [Tsiklicheskaya prochnost i dolgovechnost konstruktivnykh materialov: monografiya]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering publ., 2018, 177 p. ISBN 978-5528002897 [Electronic resource]: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/physics/870594.pdf>. Last accessed 16.07.2023.

Information about the authors:

Dyatlov, Vyacheslav N., Ph.D. student at the Department of Ground Transportation and Technological Complexes of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, w.dyatlov@gmail.com.

Orlov, Sergey V., Ph.D. (Eng). Associate Professor at the Department of Ground Transportation and Technological Complexes of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, orlov@spbmuseum.ru.

Popov, Valery A., Ph.D. (Eng). Associate Professor at the Department of Ground Transportation and Technological Complexes of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, vpopov_58@mail.ru.

Article received 07.07.2023, enlarged 12.08.2023, approved 29.09.2023, accepted 02.10.2023.



RAILWAYS **176**

Virtual coupling as a promising solution to enhance transit capacity.



CIVIL AVIATION **186**

Reduction of ILS critical areas and increase in aerodromes' efficiency.

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS



ROLLING STOCK **199**

Preventive scheduled maintenance of double-decker coaches.



ROAD TRAFFIC MANAGEMENT **207**

Digital infrastructure and remote-control devices intended for mountain roads.

LEGAL REGULATIONS **217**

Laws on military transport obligation.

ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 176–185

Comparison of Train Traffic Parameters for Various Virtual Coupling Use Cases



Efim N. ROZENBERG



Alexey V. OZEROV



Valery I. KUZNETSOV



Sergey S. TIKHONOV

*Efim N. Rozenberg*¹, *Alexey V. Ozerov*², *Valery I. Kuznetsov*³, *Sergey S. Tikhonov*⁴

^{1, 2, 3, 4} JSC «Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport» (JSC NIIS), Moscow, Russia.

✉ ² a.ozerov@niias.ru.

¹ SPIN-код 5648-5186.

² SPIN-код 4102-5984, Scopus ID 57210556089? ORCID 0000-0001-5057-9821.

ABSTRACT

New principles of train separation allowing for capacity increase are in high demand under the conditions of infrastructure constraints, considering also ever-growing freight turnover at the Eastern segment of railway network.

Currently, the most promising option is train separation based on virtual coupling technology, which, according to calculations, can provide an increase in carrying and transit capacity of up to 20 % compared to the classical technology of rigid coupling. At the same time, there are no methods for determining the use cases for

applying the virtual coupling technology for specific sections of the railway supported by mathematical calculations.

The article discusses five use cases for virtual coupling for sections with speed limits and presents graphical estimates of capacity for various speeds and lengths of sections with speed limit. It is concluded that virtual train coupling is advantageous for capacity increase on sections with infrastructure constraints, and further research is needed to justify the practical methods of its application.

Keywords: railway, train separation control, radio channel, virtual coupling, capacity.

For citation: Rozenberg, E. N., Ozerov, A. V., Kuznetsov, V. I., Tikhonov, S. S. Comparison of Train Traffic Parameters for Various Virtual Coupling Use Cases. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 176–185. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-4>.

The Russian text of the article originally submitted in Russian and English is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Increasing infrastructure capacity of railway mainlines with unconditional assurance of traffic safety is the unvarying strategic goal of the railway industry. It is achieved through introduction of modern train separation systems [1]. One of the promising train separation technologies is virtual coupling (VC). It is a connection of locomotives of successive trains via a radio channel, in which the following («slave») train is driven taking into account information about the speed and cab signalling aspects of the first («master») train [2].

A lot of work has been done at JSC Russian Railways regarding practical testing of the virtual coupling technology, and considerable experience has been accumulated. For the first time, the virtual coupling technology was tested in 2019 on a 400 km Khabarovsk – Ruzhino section of the Far Eastern Railway [3]. To date, about 30,000 trips in the «virtual coupling» mode have been made, while the technology implementation range within the railway network is expected to have attained about 6,000 km by the end of 2023. The virtual coupling technology is in high demand throughout the entire Eastern segment of the railway network. Calculations showed that the introduction of the virtual coupling technology can increase the capacity of the railway line by almost 20 % relative to the existing traffic schedule using dual trains [4].

Naturally, like any new technology, it needs in-depth study, including consideration of possible infrastructure constraints and various options for its application. At JSC NIIAS, such work is carried out as part of an integrated approach to capacity increase problem, including using computer simulation tools [5].

It should be noted that on the railways of other countries, this technology has not yet been fully developed technically and has not been used for mainline railway transport but is being studied in research projects and works as a promising option for the development of the train separation system based on radio communication of the ERTMS Level 3 system type [6–10]. A number of European studies have demonstrated the analysis of an impact on capacity of a possible ERTMS based on virtual coupling compared with a typical ERTMS Level 2, and a possible future ERTMS Level 3 with moving block. The simulation results indicate a significant potential of this technology [11–13].

RESULTS

There are two options for the virtual coupling implementation: the organisation of a «train-to-train» radio channel data exchange or data exchange through the radio block centre (RBC). The JSC Russian Railways currently uses the first option since it does not require a large-scale construction of radio block centres [14].

The article presents some capacity estimates for various virtual coupling use cases for trains moving on sections with speed limits (see Pic. 1).

The picture shows:

t_0 – the moment the first train starts moving;

t_1 – the moment the second train starts moving;

t_2 – the moment the first train reaches the border of a section with speed limit – the moment the first train starts moving at a limited speed;

t_3 – the moment the second train starts moving at a limited speed;

t_4 – the moment the second train reaches the border of the section with speed limit;

t_5 – the moment the first train leaves the section with speed limit – the moment the first train is halted from moving at a set speed;

t_6 – the moment the first train starts moving at a set speed after leaving the section with speed limit;

t_7 – the moment the second train leaves the section with speed limit;

S_1 – the entry border of the section with speed limit;

S_2 – the end border of the section with speed limit;

V_{lim} – limited speed;

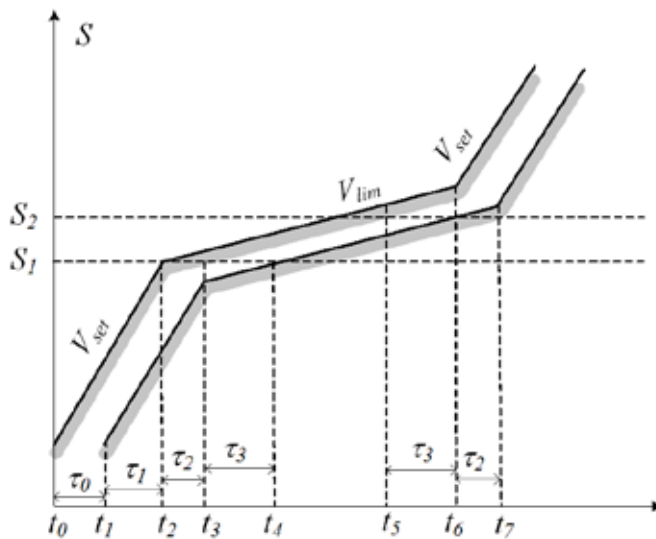
V_{set} – set speed, and the corresponding time intervals $\tau_0, \dots, \tau_3$.

The grey shading conventionally represents the train's length L_T .

Pic. 1 shows time interval $\tau_3 = [t_5, t_6]$, when the first train has to be halted from moving at a set speed after leaving the section with speed limit.

We assume that the considered nature of the movement is symmetric: the relative position of trains in front of the section with speed limit corresponds to the relative position of trains after the section with speed limit. This means that the desired value is determined by the equations:





Pic. 1. Time–distance graph for trains running on a track section with speed limit [performed by the authors].

$$\tau_3 = t_6 - t_5 = t_4 - t_3,$$

which simplifies the consequent analysis reducing it to the following:

– firstly, it is necessary to determine the time interval $\tau_2 = t_3 - t_2$, when the second train reduces the headway from Z_{set} to Z_{min} , which can be described as follows:

$$L + Z_{set} + V_{lim} \cdot \tau_2 = L + Z_{min} + V_{set} \cdot \tau_2;$$

– then to determine the required value:

$$\tau_2 = \frac{Z_{set} - Z_{min}}{V_{set} - V_{lim}}.$$

It should be noted that at certain ratios of times, speeds, established headways and the length of the section with speed limit $S_{lim} = S_2 - S_1$ situations are possible when the second train does not have time to reach the limit value Z_{min} (see Pic. 2). In this case (due to the symmetry of the movement) there is no need to halt the first train from moving at a set speed after it leaves the section with speed limit.

Formally, this outcome is described by the following relation:

$$Z_{set} - (V_{set} - V_{lim}) \cdot \tau_0 + V_{set} \cdot \tau' > Z_{min}, \quad (1)$$

where τ' is the time during which the first train moves at a set speed V_{set} until the moment the second train reaches the section with speed limit.

The last relation (1) takes into account that $\tau_0 = \tau_2$ since the time interval between trains leaving the section with speed limit corresponds to the interval between their arrival at the border of the section with speed limit.

In other words, if the inequality (1) is true, time delay τ_3 takes on a value of zero.

For subsequent comparison of the estimates obtained, the capacity in the absence of sections with imposed speed limit and without virtual coupling (reference case) is first determined, the capacity is also determined in cases where there are sections with speed limit and for various virtual coupling use cases (cases 1–5).

Reference case. The initial data assumed for the reference case are:

- no sections with speed limit,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- no virtual coupling.

The number of trains per day (22 hours) is determined by the known relation¹ as follows:

$$n = \frac{T}{I}, \quad (2)$$

where T is the time in hours; I is the time interval between trains in hours.

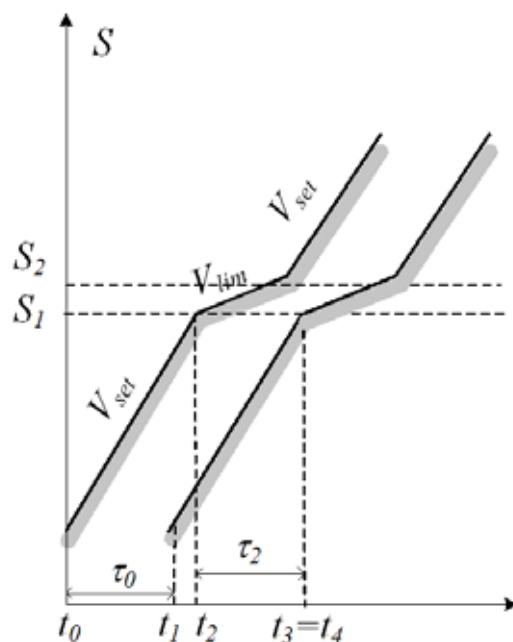
Case 1. The initial data for the first use case are:

- there are $N_{lim sec}$ sections with speed limits,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- trains move while maintaining the time interval between them.

This case is characterised by the fact that each section with speed limit implies a time delay, determined by the following equation:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{V_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{V_{set}} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}). \quad (3)$$

¹ Instruction of JSC Russian Railways dated November 10, 2010 No. 128. «Instructions for calculating the available capacity of railways» [Instrukciya po raschyotu nalichnoj propusknoj sposobnosti zheleznyh dorog] JSC Russian Railways, 2010, 305 p. [Electronic resource]: <https://jd-doc.ru/2010/noyabr-2010/5907-instruktsiya-oao-rzhd-ot-10-11-2010-n-128>. Last accessed 26.07.2023.



Pic. 2. Time–distance graph for trains running on a track section with speed limit when the introduction of a time delay is not required [performed by the authors].

This time delay (3) affects the time of passage of the track section but does not affect the time interval between trains at the end of the section.

Therefore, the total number of trains per day will be determined by the ratio that considers the time losses that occur during the movement of the first train:

$$n_1 = \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{T} \cdot n_1 = \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{T} \cdot \frac{T}{I} = \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (4)$$

where N_{limsec} is the number of sections with speed limit.

Case 2. In this use case the number of departed trains is increased due to virtual coupling of two trains and reduced headway. The initial data for this case are:

- there are N_{limsec} sections with speed limit,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval and distance between trains remain unchanged.

When the first train runs on a section with speed limit the second train also slows down from V_{set} to V_{lim} , which increases time interval between trains (the first and the second one) after passing the section with speed limit.

The time delay for the first train consists of two components:

- time delay when passing the section with speed limit:

$$\Delta I_1 = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} (L_T + S_{lim}); \quad (5)$$

- additional time delay after leaving the section with speed limit:

$$\Delta I_2 = \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}}. \quad (6)$$

The total delay in the movement of the first and second trains when passing through one and the same section with speed limit is determined by the following equation:

$$\Delta I_{1,2} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} (L_T + S_{lim}) + \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}}. \quad (7)$$

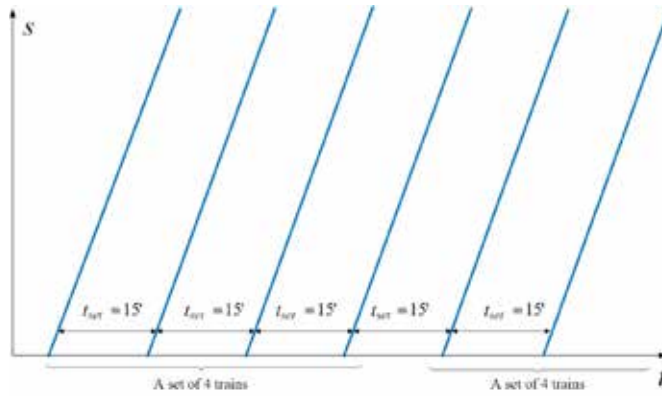
Taking into account this time delay (7) the number of trains per day (22 hours) is determined by the following relation:

$$n_2 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I_{1,2}}{T}. \quad (8)$$

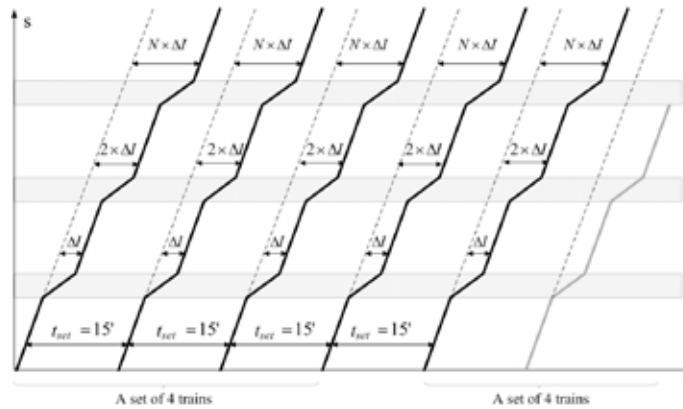
Case 3. In this use case the number of departed trains is also increased due to virtual coupling of two trains and reduced headway, however the distance between trains can change. The initial data for this use case are:

- there are N_{limsec} sections with speed limit,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,

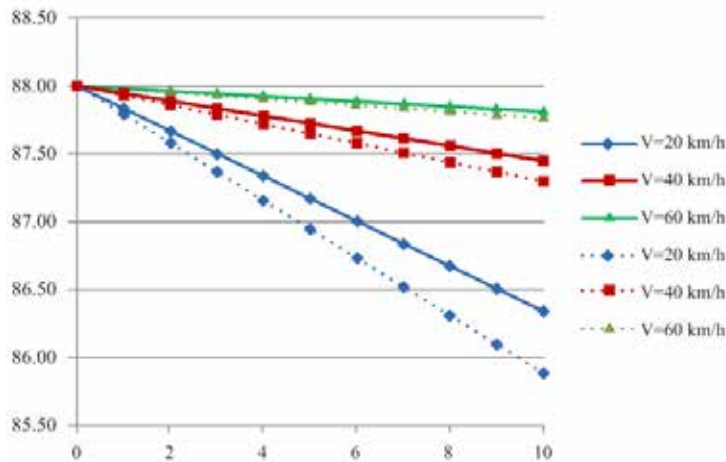




Pic. 3. Graph of trains' movement in reference case [performed by the authors].



Pic. 4. Graph of trains' movement in case 1 [performed by the authors].



Pic. 5. Capacity graphs for different values of V_{lim} and lengths of sections with speed limit [performed by the authors].

– time interval remains unchanged, distance between trains can change.

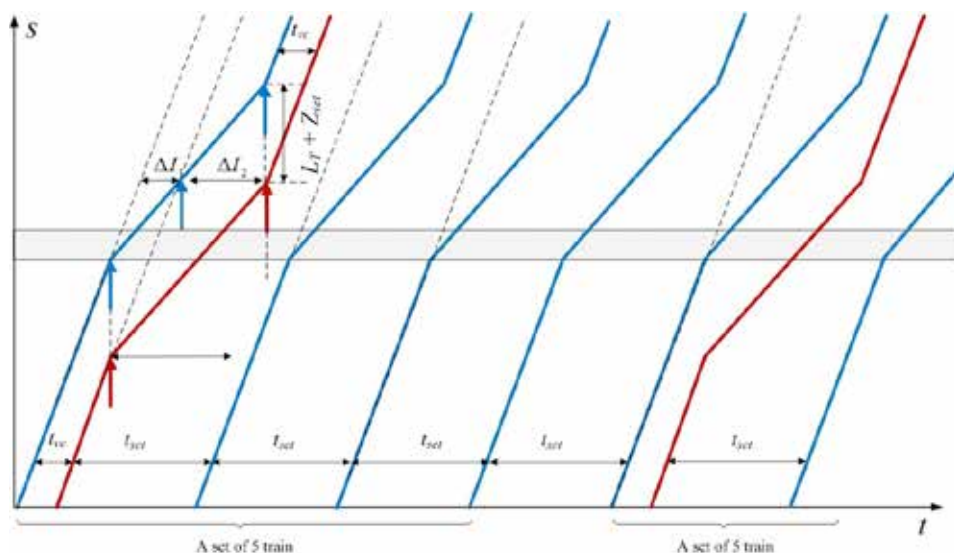
The situation is considered when the second train reaches the border of the section with speed limit, and the distance between trains is equal to at least three block sections. In this case, there is no additional time delay ΔI_2 , so the number of trains per day (22 hours) will be determined

taking into account only the time delay (5) as follows:

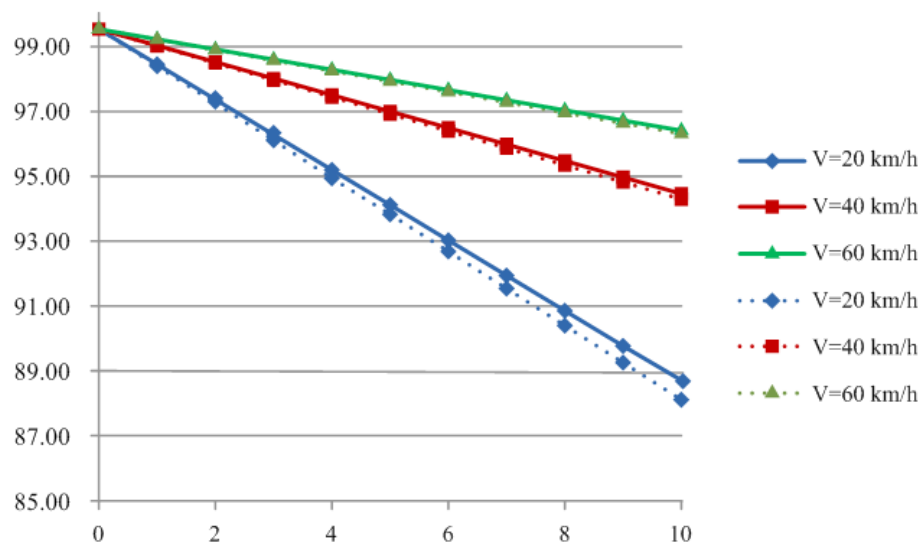
$$n_3 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I_1}{T}. \quad (9)$$

All other intermediate cases fall within the range between relations (8) and (9).

Case 4. The next case describes the delay in movement of the second virtually coupled train



Pic. 6. Graph of trains' movement in case 2 [performed by the authors].



Pic. 7. Capacity graphs for different values of V_{lim} and lengths of sections with speed limit [performed by the authors].

moving a t_{vc} interval before entering the section with speed limit, so that the time interval between trains at the end of the section with speed limit should be the set value t_{set} . The initial data for this use case are:

- there are $N_{lim\ sec}$ sections with speed limit,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval between trains at the entry of the first section with speed limit is t_{vc} , time interval between trains at the end of the first

section with speed limit is t_{set} .

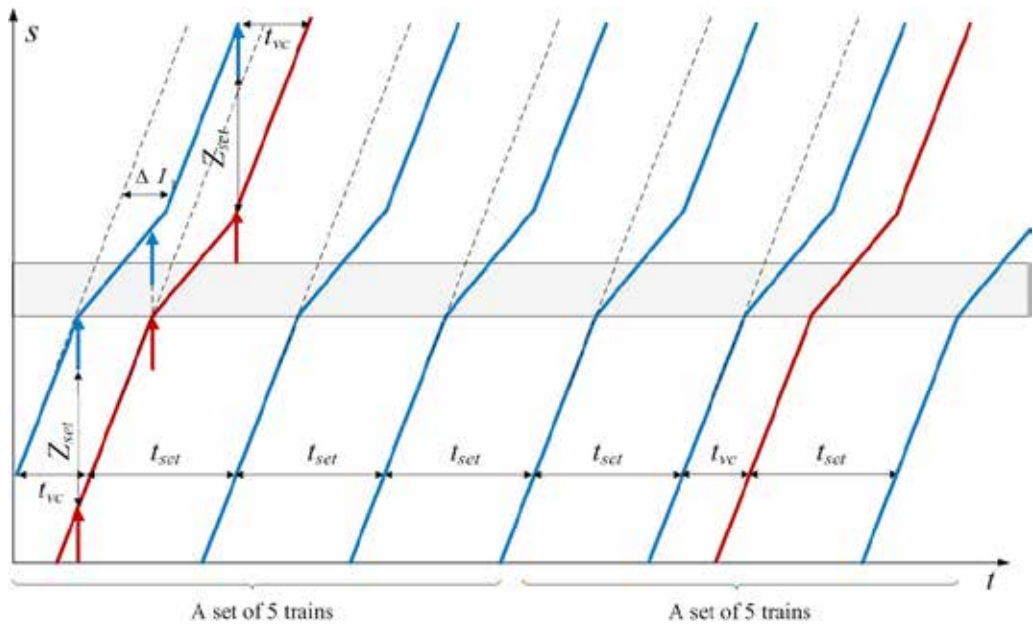
This means that the trains leave the line with t_{set} interval, which is fully described by relations (3) and (4), i. e.:

– time delay when passing through one section with speed limit is:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{V_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{V_{set}} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} (L_T + S_{lim}); \quad (10)$$

– the total number of trains per day, taking into account time losses arising during movement of the first train is:





Pic. 8. Graph of trains' movement in case 3 [performed by the authors].

$$n_4 = \frac{T - N_{lim\ sec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (11)$$

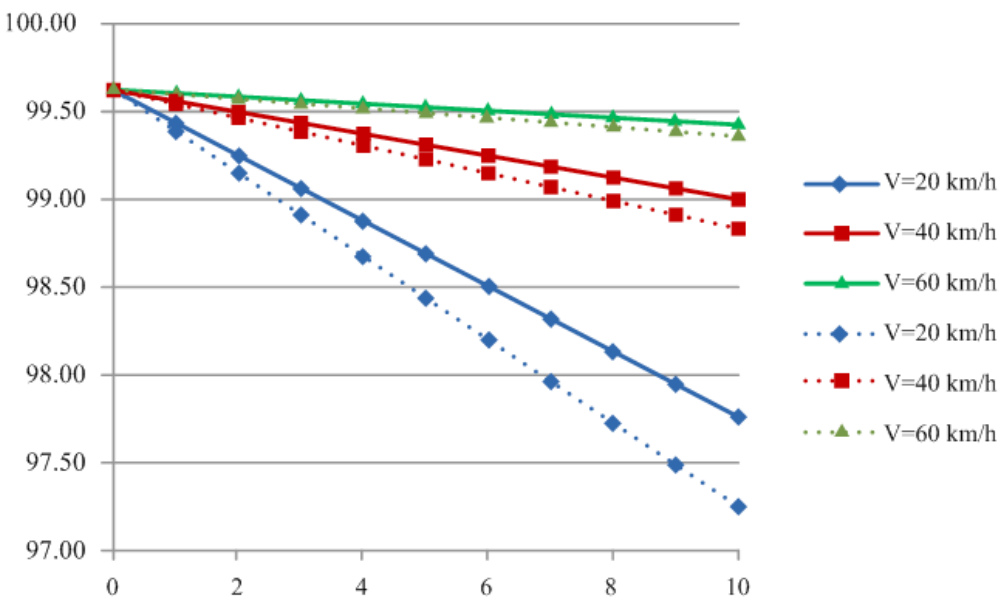
where $N_{lim\ sec}$ is the number of sections with speed limit.

However, for this use case, it must be taken into account that for each set of five trains entering the line, an additional time delay occurs when they pass the first section with speed limit:

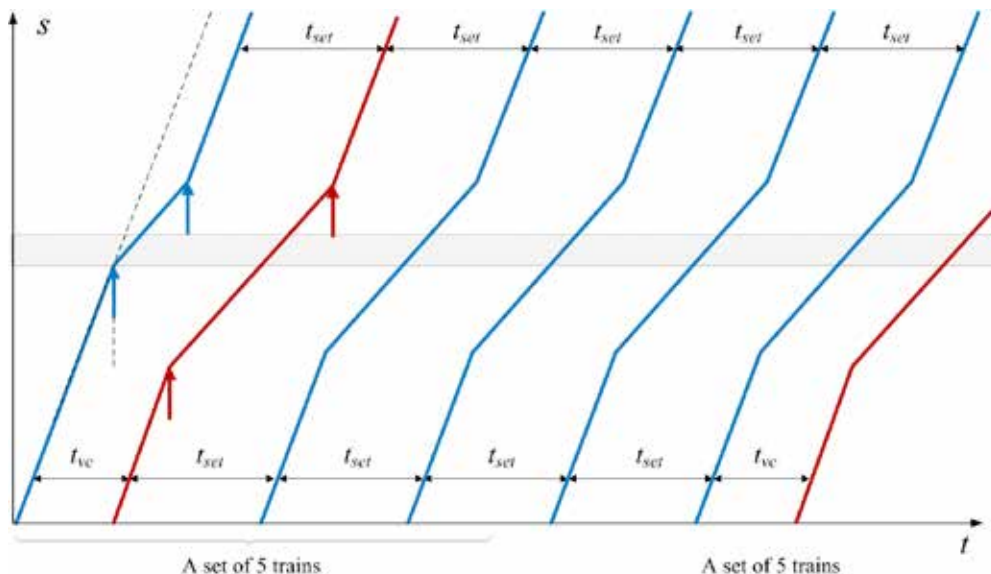
$$\Delta t = t_{set} - t_{vc}.$$

In total, $m_4 = \frac{T}{4I}$ sets of five trains each can depart at an interval of $t_{set} = I$, which leads to the accumulation of a time delay determined by the relation:

$$\Delta t(m_4) = m_4(t_{set} - t_{vc}). \quad (12)$$



Pic. 9. Capacity graphs for different values of V_{lim} and lengths of sections with speed limit [performed by the authors].



Pic.10. Graph of trains' movement in case 4 [performed by the authors].

From the last relation follows that when the train travel time along the line exceeds the accumulated time delay (12), i. e.

$$t_{vc} > m_4 (t_{set} - t_{vc}) = \frac{T}{4I} (t_{set} - t_{vc}),$$

the section capacity is determined by relation (11). At the same time, the necessary time for the formation of trains sent on the line will be determined by the dependence:

$$T_{vc} = \frac{3I + t_{vc} \cdot T}{4I}. \quad (13)$$

Otherwise, when the train travel time on the route is less than the accumulated time delay (12), i. e.

$$t_{travel} < \frac{T}{4I} (t_{set} - t_{vc}),$$

the departure of the next set of five trains on the route is delayed, which reduces the virtual coupling's effectiveness. However, in such case the line capacity is still determined by relation (11), while time T_{vc} approaches T .

Case 5. This use case is similar to the previous one, the only difference being that it describes the movement with delay of the second virtually coupled train following at a t_{vc} interval before entering the section with speed limit, so that the time interval between trains at the end of the section with speed limit is $t'_{set} < t_{set}$. The initial data for this use case are:

- there are $N_{lim\ sec}$ sections with speed limit,
- trains depart at t_{set} min. intervals,

– a virtually coupled train with a reduced interval $t'_{set} < t_{set}$ min. departs once an hour,

– time interval between trains at the entry border of the first section with speed limit is t_{vc} , time interval between trains at the end of the first section with speed limit is $t'_{set} < t_{set}$.

In this case the trains leave the line at an interval $t'_{set} < t_{set}$, which is described by relations (3) and (4), i. e.:

– time delay when passing through one section with speed limit is:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{V_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{V_{set}} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} (L_T + S_{lim}); \quad (14)$$

– the total number of trains per day, taking into account time losses arising from the running of the first train is:

$$n_s = \frac{T - N_{lim\ sec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (15)$$

where $N_{lim\ sec}$ is the number of sections with speed limit.

Similar to the previous use case, it must be taken into account that for each set of four trains entering the line, an additional time delay occurs when they pass the first section with speed limit: $\Delta t' = t'_{set} - t_{vc} < t_{set} - t_{vc}$.

$$\text{In total, } m_5 = \frac{4(T - N_{lim\ sec} \cdot t')}{3I + t'_{set}} \text{ sets of five trains}$$

can depart with intervals of $t_{set} = I$ and $t'_{set} < t_{set}$, which leads to the accumulation of a time delay determined by the relation:

$$\Delta t(m_5) = m_5 (t'_{set} - t_{vc}). \quad (16)$$



Table 1

Use case	$V_{lim} = 40 \text{ km/h}$	$V_{lim} = 60 \text{ km/h}$
Case 1. Operation without virtual coupling. Calculated relations: $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_1 = \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_1 = 88$	$n_1 = 88$
Case 2. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour (the distance between trains does not change). The delay time of the first train is t_d . (The first train continues to move at a speed V_{lim} for t_d after leaving the section). Calculated relations: $\Delta I_{1,2} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}) + \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}};$ $n_2 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I_{1,2}}{T}.$	$n_2 = 97$ $t_d = 6 \text{ min}$	$n_2 = 98$ $t_d = 4 \text{ min}$
Case 3. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour (the distance between trains may change). The time of reducing distance to three block sections (3 km) is t_{dis} . Calculated relations: $\Delta I_1 = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_3 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I_1}{T}.$	$n_3 = 99$ $t_{dis} = 10 \text{ min}$	$n_3 = 100$ $t_{dis} = 20 \text{ min}$
Case 4. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour. Time interval between trains at the end of the line is t_{set} . Calculated relations: $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_4 = \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_4 = 88$	$n_4 = 88$
Case 5. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour. Time interval between trains at the end of the line is t'_{set} for the second train in the group, and t_{set} for the third and fourth trains in the group. Calculated relations: $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_5 = \frac{4t_{set}}{t'_{set} + 3t_{set}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \cdot \Delta I}{I}.$	$n_5 = 91$	$n_5 = 91$

From the last relation, it follows that when the train travel time on the line exceeds the accumulated time delay (12), i. e.

$$t_{travel} > m_s(t'_{set} - t_{vc}) = \frac{4(T - N_{limsec} \cdot t')}{3I + t'_{set}}(t'_{set} - t_{vc}),$$

the section capacity is determined by relation (15). At the same time, the necessary time for the formation of trains sent to the line will be determined by the dependence:

$$T'_{vc} = \frac{3I + t'_{set}}{4I} \cdot T. \quad (17)$$

Otherwise, when the train travel time on the line is less than the accumulated time delay (16), i. e.

$$t_{travel} < \frac{4(T - N_{limsec} \cdot t')}{3I + t'_{set}}(t'_{set} - t_{vc}),$$

the departure of the next set of four trains to the line is delayed, which reduces the virtual coupling's effectiveness. However, the line

capacity is still determined by relation (15), while time T_{vc} approaches T .

For example, for actual data:

$L_T=1000$ m; $S_{lim}=100$ m; $N_{lim\ sec}=4$; $V_{set}=80$ km/h; $V_{lim}=60$ and 40 km/h; $t_{set}=15$ min; $t'_{set}=13$ min; $t_{vc}=8$ min, the estimates will be obtained that are shown in Table 1.

Comparison of the obtained estimates shows the following:

- In cases 1, 4 of virtual coupling, the capacity does not decrease.
- In cases 2, 3 of virtual coupling, the capacity increases.

CONCLUSIONS

It is possible to make the preliminary assumption confirmed by calculations: the virtual train coupling, at least, does not reduce the capacity of the sections with speed limit, while in some cases and with current speed limits it provides an increase in capacity. This already suggests the feasibility of the implementation of virtual coupling on certain sections of railways; however, to justify practical methods for determining use cases for specific railway sections, a more detailed study is required, including computer simulation of the virtual coupling considering a wider range of parameters.

REFERENCES

1. Voronin, V. A., Gurgenedze, I. R., Dezhkov, M. A. [et al]. Integrated train separation technology [Kompleksnaya tekhnologiya interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov] Moscow, JSC «T8 Izdatel'skiye tekhnologii», 2023, 216 p. ISBN 978-5-521-23792-0.

2. Dezhkov, M. A., Kiselgof, G. K. Virtual coupling technology for train separation control [Tekhnologiya virtual'noy scepki dlya interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov]. Automation, communications, informatics, 2021, Iss. 11, pp. 28–30. DOI 10.34649/AT.2021.11.11.007.

3. Vlas'evskij, S. V., Malysheva, O. A., Shabalin, N. G., Semchenko, V. V. Evaluation of the energy efficiency of 3ES5K electric locomotives using the train separation technology of the «virtual coupling» type [Otsenka energeticheskoy effektivnosti elektrovozov 3ES5K pri ispol'zovanii tekhnologii interval'nogo regulirovaniya dvizheniya po tipu «virtual'naya scepka»]. Vestnik VNIIZhT, 2020, Iss. 79 (1), pp. 17–25. EDN: TCHPBA.

4. Olentsevich, V. A., Upyr', R. Yu., Antipina, A. A. Efficiency of implementation of «virtual coupling» train separation system on the section [Effektivnost' vnedreniya

interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov po sisteme «virtual'naya scepka» na uchastke]. Modern technologies. Systemic analysis. Simulation, 2020, Iss. 2 (66), pp. 182–189. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).182-189.

5. Rosenberg, E. N., Ozerov, A. V., Panferov, I. A. Integrated approach to increase railway capacity [Kompleksniy podhod k resheniyu zadachi povysheniya propusknoy sposobnosti]. Automation, communications, informatics, 2022, Iss. 8, pp. 2–6. DOI: 10.34649/AT.2022.8.8.001.

6. Rosenberg, E. N., Shukhina, E. E., Ozerov, A. V., Malinov, V. M. Modern train traffic control systems: Domestic and foreign experience [Sovremennyye sistemy upravleniya dvizheniem poezdov: Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt] Moscow, JSC «Publishing Solutions», 2020, 210 p. ISBN 978-5-0051-0924-8.

7. Ozerov, A. V., European system of interval regulation [Evropejskaya sistema interval'nogo regulirovaniya]. Automation, communications, informatics, 2019, Iss. 6, pp. 14–15. DOI 10.34649/AT.2019.6.6.004.

8. Ozerov, A. V., Bilenko, G. M., Okulova, M. L. Modern train separation systems [Sovremennyye sistemy interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov] In: Innovative technologies in railway transport: Proceedings of a scientific and practical conference with international participation, Moscow, October 20–21, 2021. Moscow, Russian University of Transport, 2022, pp. 323–326. EDN: MLHVMQ.

9. Ozerov, A. V. Evolution of the European railway traffic management system [Evoluciya evropejskoj sistemy upravleniya dvizheniem poezdov]. Zheleznye dorogi mira, 2018, Iss. 3, pp. 64–73. EDN: YPSWJW.

10. Popov, P. A., Ozerov, A. V. Train separation based on radio channel [Interval'noe regulirovanie na osnove cifrovogo radiokanala]. Automation, communications, informatics, 2016, Iss. 10, pp. 19–22. EDN: WMQLXP.

11. Quaglietta, E., Goverde, R. M. P. A comparative analysis of Virtual Coupling Railway operations. In: Proceedings of the 99th Transportation Research Board Annual Meeting. Transportation Research Board (TRB), 2020. [Electronic resource]: <https://research.tudelft.nl/en/publications/a-comparative-analysis-of-virtual-coupling-railway-operations>.

12. Quaglietta, E. Analysis of Platooning Train Operations under V2V Communication-Based Signaling: Fundamental Modelling and Capacity Impacts of Virtual Coupling. Computer Science, 2019. [Electronic resource]: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/85752612/E.Quaglietta_Analysis_of_platooning_train_operations_Final_.pdf. Last accessed 23.06.2023.

13. Flammini, F., Marrone, S., Nardone, R., Petrillo, A., Santini, S., Vittorini, V. Towards Railway Virtual Coupling. IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference, 2018. DOI:10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607523.

14. Bushuev, S. V., Gundyrev, K. V., Golochalov, N. S. Increasing the capacity of a railway section using virtual coupling [Povyshenie propusknoy sposobnosti uchastka zheleznoj dorogi s primeneniem tekhnologii virtual'noj scepki]. Traffic management systems, 2021, Iss. 1, pp. 7–20. EDN: MWGMZR.

Information about the authors:

Rozenberg, Efim N., D.Sc. (Eng.), Professor, First Deputy Director General of JSC NIIAS, Moscow, Russia, info@vniias.ru.
Ozerov, Alexey V., Head of the International Department of JSC NIIAS, Moscow, Russia, a.ozerov@vniias.ru.
Kuznetsov, Valery I., D.Sc. (Eng), Associate Professor, Chief Researcher at the Research Department of JSC NIIAS, Moscow, Russia, v.kuznetsov@vniias.ru.
Tikhonov, Sergey S., Chief Specialist at the Research Department of JSC NIIAS, Moscow, Russia, s.tikhonov@vniias.ru.

Article received 23.08.2023, approved 26.09.2023, accepted 02.10.2023.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-5>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 186–198

Methodology for Assessing Shortened ILS LOC and GP Critical Areas: an Example of Gorno-Altai Aerodrome



Evgeny A. RUBTSOV



Sergey A. KUDRYAKOV



Iakov M. DALINGER

Evgeny A. Rubtsov¹, Sergey A. Kudryakov², Iakov M. Dalinger³^{1, 2, 3}Russian University of Transport, Moscow, Russia.□ ¹ rubtsov.rut.miit@yandex.ru.□ ² psi_center@mail.ru.□ ³ iakovdalinger@gmail.com.¹ SPIN-kod: 5832-3060, ORCID 0000-0003-2126-0015.² Scopus Author ID: 57194207063, ORCID 0000-0002-1303-3528.³ SPIN-kod: 8895-3700, Scopus Author ID: 57195278185, ORCID 0000-0002-7744-7156.

ABSTRACT

Based on the analysis of recommendations of the International Civil Aviation Organization on a reasonable reduction in sizes of ILS critical areas and identification of shortcomings of the existing requirements of the Russian Federal Aviation Regulations for critical areas of ILS localiser and glide path (glide slope), a procedure has been developed that allows assessment localiser and glide slope bends for shortened critical areas. The assessment comprises the influence of different reflecting objects situated on operation area of the aerodrome, as well as of aerodrome environs on the operation of the ILS localiser and glide path.

Reflecting objects can be approximated by models of a wall (that simulates reflections from buildings, bridges, fences), of a cylinder (that simulates reflections from factory pipes, tanks, containers, aircraft fuselages) and of a hemispherical diffuse reflector (simulates reflection from elevated terrain).

The procedure was tested for Gorno-Altai aerodrome, and a proposal was developed to reduce the critical area of the localiser, which will expand the apron by 35 m, eliminate problems with imposed speed limits and blocking movement of aircraft on the taxiway. Also, the probability of service failure will decrease by 3...11 times, and the runway occupancy time will decrease by 12,5...26 % compared to existing features.

Keywords: air transport, flight safety, aerodrome, airfield, aircraft landing, ILS, critical area, aerodrome operation area.

For citation: Rubtsov, E. A., Kudryakov, S. A., Dalinger, I. M. Methodology for Assessing Shortened ILS LOC and GP Critical Areas: an Example of Gorno-Altai Aerodrome. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-5>.

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

Air transport remains one of the leading sectors of the Russian economy. The current stage of development of aviation technology is characterised by widespread introduction of modern radio and electronic instruments to ensure flight safety. Statistics show that about 60 % of aviation accidents occur during approach and landing of aircraft [1]. Therefore, especially high requirements address radio engineering landing systems, namely, the most widely used ILS (instrument landing system). ILS can provide precision landing for [facility performance] categories I, II and III A.¹

To form the required radiation pattern of the ILS antennas and minimise the multipath interference caused by reflection of radio waves from local objects, specially regulated and critical areas are introduced. According to the recommendations of the International Civil Aviation Organization (ICAO), it is also necessary to consider sensitive areas.²

Within the regulated areas, requirements are imposed on the microrelief and slope of the terrain, as well as on the height of vegetation or snow cover. The dimensions of those areas are provided for in the technical documentation developed by the manufacturer of the ILS system.

¹ Kudryakov, S. A., Kulchitsky, V. K., Povarenkin, N. V. [et al] Radio engineering support for aircraft flights and aviation telecommunications [Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdukhnykh sudov i aviatsionnaya elektrosvyaz]. Moscow, LLC Scientific Publishing Center INFRA-M, 2021, 299 p.

² Annex 10 to the Convention on International Aviation. Aeronautical telecommunications. Vol. 1. Radio navigation aids. Seventh edition, ICAO, July 2018, 658 p.

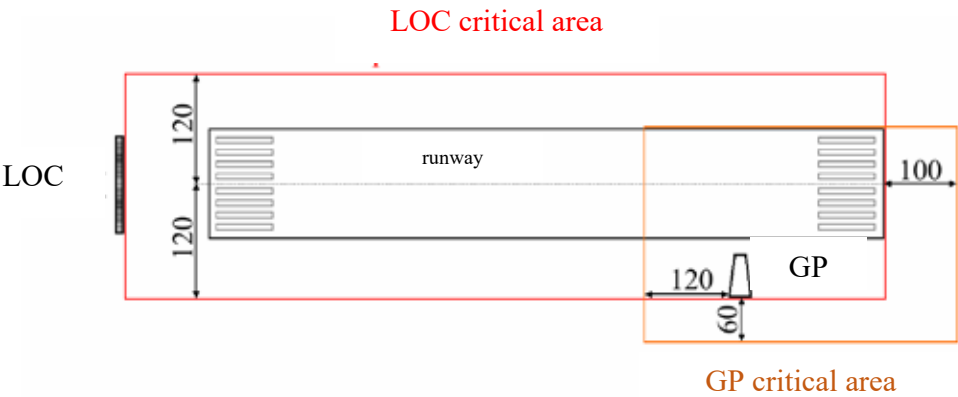
The presence of any objects (except for lighting equipment stands) within the critical area is prohibited, as this affects the safety of the landing approach. Objects located within the sensitive area may affect safety and are undesirable. At Russian aerodromes, sensitive areas are not taken into account. The dimensions of the ILS localizer and glide path critical areas are provided for in the federal aviation regulations «Radio technical support for aircraft flights and aviation telecommunications in civil aviation» (FAP-297) (Pic. 1).

The disadvantage of the existing requirements is that the dimensions of the critical areas are constant, and their change is possible only in case of moving the position of the LOC or GP, changes in the runway parameters (moving the threshold, changing the width), as well as when entering a new glide path angle.

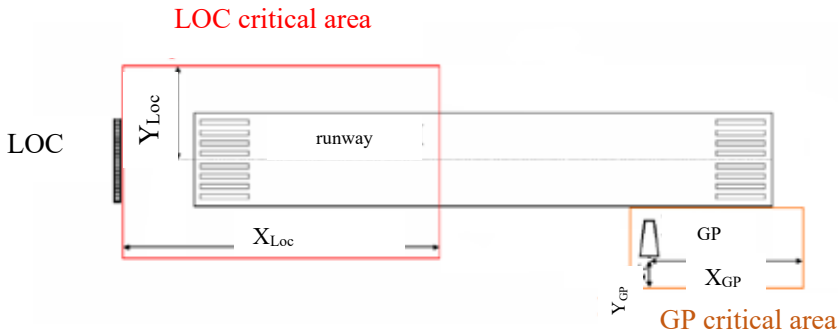
At the same time, ICAO recommends reducing dimensions of critical and sensitive areas of modern ILS systems and making their boundaries changeable depending on the size of the objects adverse to the area.

ICAO documents² contain figures of the LOC and GP critical areas (summarised in Pic. 2). The sizes of the zones (X_{Loc} , Y_{Loc} , X_{GP} , Y_{GP}) are not constant and depend on the type of interfering object (car, aircraft) and its dimensions, as well as on the type of ILS antenna system.

The ICAO recommendation to reduce the size of critical areas is reasoned by the need to increase the capacity of the aerodrome by reducing the time it takes aircraft to taxi onto the runway, increasing the number of parking stands, as well as by optimising traffic of cars and special vehicles along taxiways. In this case, it is



Pic. 1. LOC and GP critical areas (dimensions are given in meters) in accordance with the requirements of FAP-297.



Pic. 2. LOC and GP critical areas according to ICAO recommendations.

recommended to model the impact of objects on operation of the ILS system and conduct special flight checks to confirm the required level of flight safety.

Therefore, the task is to develop methods for determining the size of critical areas, allowing to minimise the flight check program, and in some cases, abandon them, is quite relevant.

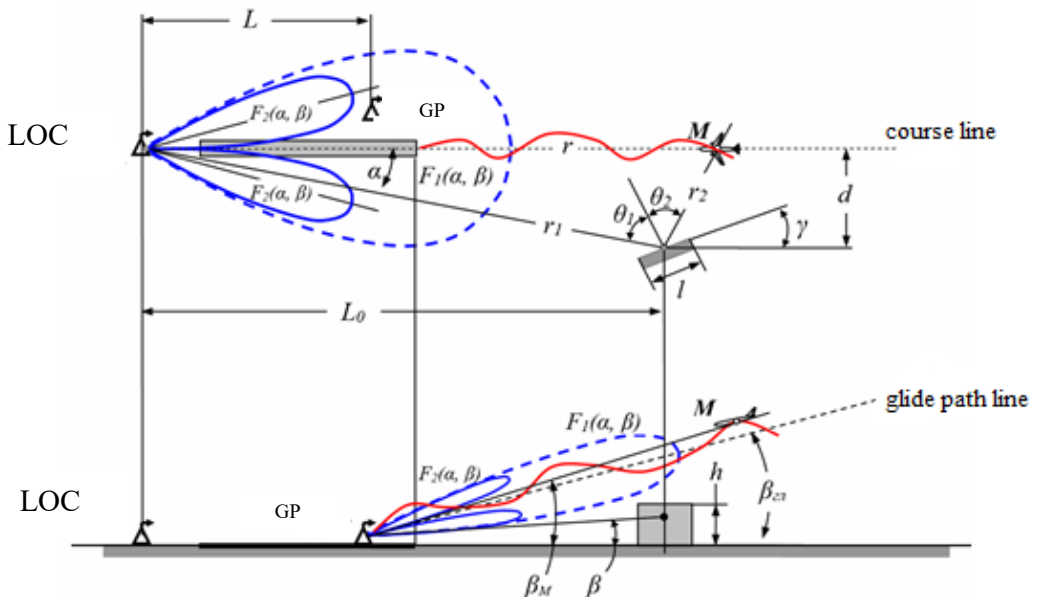
The objective of the research, described in the article, is development of a methodology for assessing the influence of objects located on the aerodrome movement area, which makes it possible to identify the size of the ILS critical area in accordance with ICAO recommendations.

METHODS AND MATERIALS

The LOC and GP operation can be influenced by signals reflected by various objects located in

the area near the aerodrome [2; 3], as well as on its operations area [4]. The reflecting object can influence the operation of the ILS LOC and GP, which is expressed in the observed curving of the indicated landing trajectory (course line and glide path). The magnitude of the curvature is determined by calculating the deviation from the values of the difference in the depth of modulation (DDM) at points of the indicated landing trajectory. A schematic representation of curved course line and glide path is shown in Pic. 3 [4].

The field strength of the direct and reflected signals at the reception point (point M in Pic. 3) is determined by the shape of the ILS antenna radiation pattern. For ILS antennas with assigned zero PCV values, this is a single main lobe plot $F_1(\alpha, \beta)$ (for the sum signal channel) and a double lobe plot $F_2(\alpha, \beta)$ (for the differential signal



channel), where α is the angle in the horizontal plane measured from the runway axis; β – angle in the vertical plane, measured upward from the runway threshold.

The magnitude of DDM at the reception point M (Pic. 3) in the presence of some i -th reflecting object is determined by the expression [4–8]:

$$DDM = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha, \beta_M) + F_2(\alpha, \beta) k_{\text{ref}} \cos \psi_i}{F_1(\alpha, \beta_M) + F_1(\alpha, \beta) k_{\text{ref}} \cos \psi_i}, \quad (1)$$

where m – amplitude modulation ratio (0,2 for LOC and 0,4 for GP);

E_{m2} / E_{m1} – ratio of field strengths created by the differential and sum channels;

A – angle in the horizontal plane, measured from the runway axis, degrees;

β – elevation angle of the reflecting object observed from the location of ILS antennas, degrees;

β_M – elevation angle of point M observed from the location of the ILS antennas, degrees;

k_{ref} – reflection coefficient;

h – height of the phase centre of the radar antenna, m;

Ψ – phase shift between direct and reflected signals from the object at point M , degrees.

In case of flight along a glide path, the angle θ will be equal to zero, and the angle β will be equal to the angle of inclination of the glide path (β_0). Then the curvatures expressed in DDM are defined as [4–8]:

1) for LOC:

$$DDM = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}{F_1(0; \beta_0) + F_1(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}, \quad (2)$$

2) for GP:

$$DDM = m \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \frac{r}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \psi}{1 + F_1(\alpha; \beta) \cdot \rho \cdot \cos \psi}, \quad (3)$$

where ρ is reflection coefficient modulus.

RESULTS

1. The Proposed Methodology and Algorithm for its Application

The field strength of the reflected signal depends on the properties of the object, which are characterised by geometric dimensions and reflection coefficient. Different types of re-emitters are characterised by their reflection modulus ρ , so they form the reflected signal in different ways and affect the overall pattern of re-reflections. The amount of curvature is proportional to the reflection coefficient

$k_{\text{ref}} = \rho \times r / (r_1 + r_2)$, which will be greater with larger reflecting object's area and the value of $r / (r_1 + r_2)$.

In the simplest case, objects can be approximated by such models as a wall (simulates reflections from buildings, bridges, fences), a cylinder (simulates reflections from factory pipes, tanks, containers, aircraft fuselages) and a hemispherical diffuse reflector (simulates reflection from elevated terrain). As a rule, there are several different types of objects in the LOC and GP radiation area. The total distortion is the sum of distortions from a set of elementary reflecting objects [4].

To assess the reflective properties of objects, it is advisable to determine their effective scattering area (ESA). The value of ESA of a reflecting object is determined by the shape (size) of the object, the materials used (reflective, absorbing, radiotransparent ones), production technology (smoothness of the outer surface, the presence of steps, cutouts, slits). In general, ESA is defined as [9]:

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{E_s^2}{E_0^2}, \quad (4)$$

where E_0 – the magnitude of the electrical component incident from the source onto the object of the electromagnetic field;

E_s – the magnitude of the electrical component of the scattered electromagnetic field at the receiving point;

R – distance from object to emitting source.

The greatest contribution to ESA is made by the area and shape of the reflecting object. There are objects of simple shapes and complex shapes.

Let us consider methods for calculating ESA of reflectors of simple shapes (Table 1), which can be used, among other things, for preliminary assessment [9].

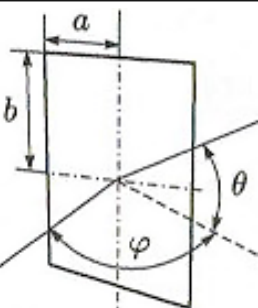
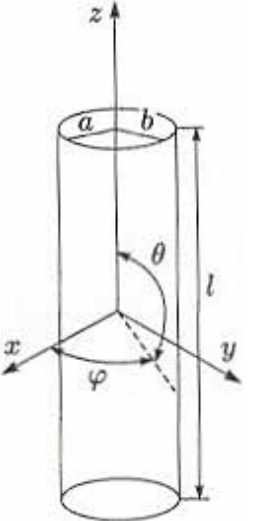
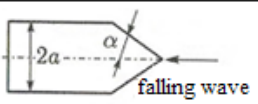
Currently, at airfields there may be objects made of radiotransparent materials (for example, hangars or fuselages of modern aircraft made of composite materials). Inside these objects there are various reflective elements (cables, equipment, metal structural elements – for aircraft; load-bearing structures in the form of metal trusses – for hangars). Therefore, it is relevant to calculate the scattering characteristics of such complex objects.

The internal metal structures of complex objects can be represented in the form of ideally conducting elements, as shown in Pic. 4 [10].



Table 1

Methods for assessing ESA of reflecting objects with simple shapes

Reflector	Geometry	Formula	Remark
Rectangular plate		$\sigma = \frac{64\pi a^2 b^2}{\lambda^2}$ $\sigma = \frac{114a^6}{\lambda^4}$	When $\lambda \ll a$, $\lambda \ll b$ For $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ When $a=b$, $\lambda \gg a$ For $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$
Cylinder		ESA of a round cylinder: $\sigma = \frac{2\pi l^2 a}{\lambda}$ ESA of an elliptic cylinder: $\sigma = \frac{2\pi l^2 b^2}{\lambda a}$ ESA of an elliptic cylinder: $\sigma = \frac{2\pi l^2 a^2}{\lambda b}$	When $\lambda \ll l$, $\lambda \ll a$, $\lambda \ll b$ For $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ For $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 90^\circ$
Cone cylinder		$\frac{\sigma}{\pi \cdot a^2} = \frac{4\pi}{(\pi + \alpha)^2} \times \sin^2\left(\frac{\pi^2}{\pi + \alpha}\right) \times \frac{1}{\left[\cos\left(\frac{\pi^2}{\pi + \alpha}\right) - \cos\left(\frac{2\pi^2}{\pi + \alpha}\right)\right]^2}$	For $\theta = \varphi = 0^\circ$ reflecting object's dimensions are larger than wavelength

It is also advisable to use a combined modelling method, taking into account the dielectric (radiotransparent) and ideally conducting elements of a complex object. Ideally conducting scattering elements can be divided into two groups [10–12]: smooth surfaces (approximated by sections of triaxial ellipsoids) and edge local scattering areas (approximated by break lines).

The break line of a surface (a section of a flat curve) is approximated by a section of an ellipse, and the edge of a straight break is approximated by a straight line's segment. The number of

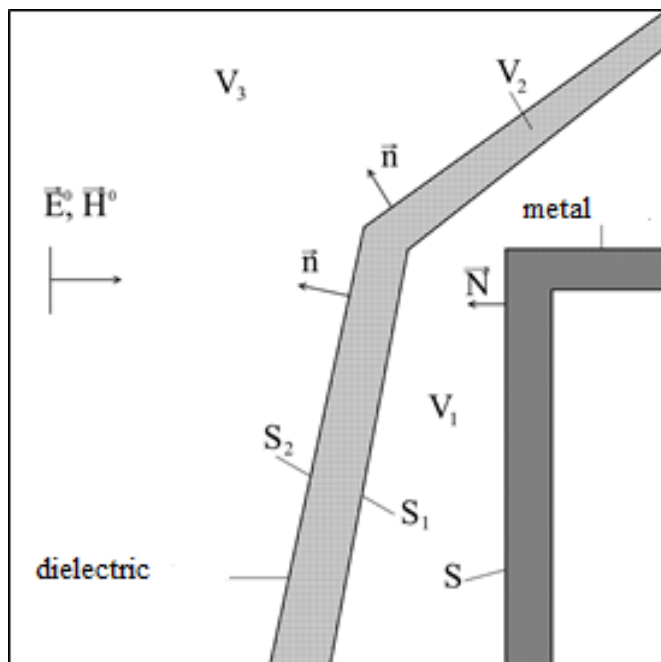
ellipsoids for each complex object is selected individually. Let a complex object be irradiated by a plane wave [10–12]:

$$\begin{aligned} \vec{E}^0(\vec{x}) &= \vec{p} e^{j k_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})}; \\ \vec{H}^0(\vec{x}) &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \left(\vec{R}^0 \times \vec{p} \right) e^{j k_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})}, \end{aligned} \quad (5)$$

where $\vec{p}^0$ – radio wave polarisation unit vector;

$\vec{R}^0$ – unit vector of the direction of radio wave propagation;

ϵ_0, μ_0 – absolute dielectric and magnetic permeabilities of free space;



Pic. 4. Model of a complex object (using the example of a hanger).

k_0 – wavenumber in free space ($k_0 = 2\pi / \lambda$,
 λ – incident monochromatic wavelength);
 $\vec{x}$ – radius vector of the currently analysed point.

The field of an auxiliary point source (dipole) in the presence of only region V_2 (outer dielectric shell) is defined as $\vec{\xi}(\vec{x}|\vec{x}_0, \vec{p})$ and $\vec{H}(\vec{x}|\vec{x}_0, \vec{p})$, where $\vec{x}_0$ – the radiation source location point, $\vec{p}$ – its moment vector.

To obtain the scattered field from the complex object under consideration, we apply the expression [10–12]:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}^p(-\vec{R}^0) = \vec{p} \cdot \vec{\xi}(-\vec{R}^0) + \frac{1}{j\omega_s} \int_S \vec{I}(\vec{x}) \cdot \vec{\xi}(\vec{x}|\vec{R}^0, \vec{p}) dS, \quad (9)$$

where $\vec{\xi}(-\vec{R}^0)$ – field scattered only by the outer dielectric shell in the absence of ideally conducting elements underneath it;

$\vec{\xi}(\vec{x}|\vec{R}^0, \vec{p})$ – tangential component of the plane wave field (with respect to the surface of ideally conducting elements S) propagating in the direction $\vec{R}^0$ and having passed through the dielectric shell, at point $\vec{x}$ on the surface of ideally conducting elements S ;

$\vec{I}(\vec{x})$ – surface current density on S induced by a plane wave having passed through the dielectric shell ($\vec{E}^0, \vec{H}^0$);

$\vec{p}$ – unit vector of polarisation direction of a plane wave.

The integral term in this expression gives the contribution of ideally conducting elements (under the dielectric shell) to the total scattering field, taking into account intra-system electrodynamic interactions. Considering that a complex object usually has large electrical dimensions, the terms on the right side can be calculated approximately using the short-wave diffraction method. The method for determining the field reflected from complex objects is described in more detail in [10–12].

After calculating the curvature of the course line and glide path, it is necessary to process the results. It is advisable to analyse the amplitude of the curvature of the glide path line from the border of the GP coverage area, at a distance of 18,5 km from the end of the runway, and the amplitude of the curvature of the course line – approximately from the border of the coverage area of the wide channel of the LOC, located at a distance of 32 km from it. Within the analysed area, it is necessary to determine the intervals at which the amplitude of the curvature exceeds the maximum permissible value and sum them up. If the total length of these sections exceeds 5 % of the length of the analysed interval, then the accuracy requirements for this channel are not met.

It is impossible to completely eliminate the influence of re-reflected signals on operation of





Pic. 5. Satellite image of the runway of Gorno-Altai aerodrome indicating the GP and LOC critical areas, as well as reflecting objects (a hill and buildings).

the ILS system, therefore ICAO has introduced restrictions on the permissible magnitude of curvature of indicated trajectories, depending on the distance to the runway threshold and the category of the ILS.³

Thus, the application of the proposed methodology can be described with the following algorithm:

1) Analysis of the environs of the aerodrome and assessment of the curvature of the course and glide path lines in the presence of buildings, structures and elevated terrain.

2) Comparison of simulation results with data from ILS flight checks to verify the adequacy and accuracy of the applied method in specific conditions.

3) Performing an assessment of the influence of objects located near the boundaries of critical areas (defined according to FAP-297), but not interfering it to confirm the given ILS category.

4) Performing an assessment of the influence of objects located within the boundaries of critical areas (defined according to FAP-297). The placement of objects can be along the boundaries of areas recommended by ICAO, or at the required boundaries, based on technological need.

5) Based on the modelling results, it is necessary to conclude whether it is possible to reduce the size of the ILS critical area in accordance with ICAO recommendations.

When performing steps 3 and 4, it is necessary to carry out modelling for various angles of rotation of objects relative to the ILS antennas. Subsequent assessment and development of solutions should be carried out for the worst case of the object's influence on the operation of

landing systems (the largest curvature of the course line or glide path). It is advisable to confirm the simulation results during flight checks.

2. Approbation of the Developed Algorithm

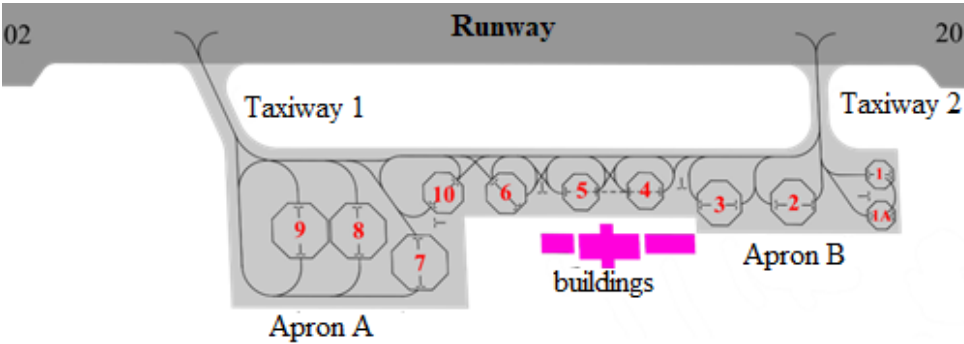
Let us apply the developed algorithm for assessment of the possibility of reducing the size of the ILS critical area at Gorno-Altai aerodrome, located in Altai Republic. The aerodrome has one runway with a length of 2031 m, equipped with single-directional ILS of category I, the glide path angle is $3^{\circ}20'$. Pic. 5 shows a satellite image of the runway, indicating the location of GP and LOC, reflecting objects and LOC and GP critical areas (according to FAP-297).

Analysis of the aerodrome area (Pic. 5) showed the presence of a hill in transit of the runway, and buildings near the runway itself, which could affect the operation of LOC. The LOC critical area affects movement of traffic along the taxiway and the placement of aircraft in parking areas.

The collection of Aeronautical Information Publications (AIP)⁴ notes that there are a number of restrictions and features regarding aircraft taxiing (Pic. 6). Thus, after landing of aircraft index 3–6 on Runway 20, a 180° turn may be performed only at reduced speed and at the threshold of Runway 02, using the widening. Taxiing along the apron along occupied parking stands 2 and 3 is permitted for aircraft with a wingspan of no more than 29 m. Taxiing along the apron along when PS4–PS6 and PS10 are occupied is permitted for aircraft with a wingspan of no more than 24 m. Also, the AIP provides for a number of restrictions on taxiing of aircraft

³ Methodological recommendations [of the Ministry of Transport of the Russian Federation] for flight inspections of ground-based radio technical support for flights, aviation telecommunications and airfield lighting systems. Appendix IL No. 79r., 2012

⁴ AIP collection of aeronautical information publications of the Russian Federation. Part III Aerodromes (AD). [Electronic resource]: <http://www.caiga.ru/common/AirInter/validaip/html/rus.htm>. Last accessed 26.05.2023.



Pic. 6. Map of aircraft parking areas at the Gorno-Altai aerodrome.

with a certain wingspan (more than 25–29 m) when PS2–PS6 and PS10 are occupied. These restrictions are due to the fact that the width of the apron cannot be increased without interfering the LOC critical area.

In the current configuration, when taxiing even medium (CRJ200) and small (L410) aircraft, from 3 to 5 parking stands out of total 11 available PSs should be free, which increases a probability P of refusing to serve the next aircraft on the apron⁵:

$$P = \frac{\left(\frac{I_e T_n}{2}\right)^{N_n} \frac{1}{N_n!}}{\sum_{m=0}^{N_n} \left(\frac{I_e T_n}{2}\right)^m \frac{1}{m!}}, \tag{7}$$

where I_e – aircraft traffic intensity at the estimated hour;

T_n – average time of aircraft parking on the apron;

N_n – number of parking stands on the apron;

m – number of simultaneously occupied parking stands.

The average time of aircraft parking on the apron can be found from table 2. For Gorno-Altai aerodrome, T_n is assumed to be 0,84 hours.

Equation (7) can be solved for each group of aircraft, and averagely for all groups. Considering that the overwhelming number of

takeoff and landing operations (TOL) at Gorno-Altai aerodrome are performed by aircraft of groups II–IV, we obtain a minimum probability of service failure in the range of 0,0112...0,0126 (at a TOL intensity of 10 aircraft/h) and 0,158...0,315 (at TOL intensity of 15 aircraft/h).

Taxiing speed restrictions affect runway occupancy times. Thus, when an aircraft takes off, the occupancy time $T_{takeoff}$ is estimated as:

$$T_{takeoff} = t_{taxi} + t_{th} + t_{run} + t_{ag} \tag{8}$$

where t_{taxi} – time of taxiing to the line-up position;

t_{th} – time of stay of the aircraft at the line-up position to bring the engine thrust to takeoff mode;

t_{run} – aircraft takeoff run time;

t_{ag} – time of acceleration and gaining the altitude.

When landing an aircraft, the occupancy time T_{land} is estimated as:

$$T_{land} = t_{gl} + t_{lrun} + t_{ltaxi} \tag{9}$$

where t_{gl} – aircraft gliding time from the decision altitude until touching down the runway;

t_{lrun} – aircraft landing run time;

t_{ltaxi} – time of aircraft taxiing after landing beyond the side boundary of the runway (outside the LOC critical area).

To carry out the assessment calculation, we will accept typical values of the indicated time intervals characteristic of Gorno-Altai aerodrome (Table 3). The values of taxiing to the line-up position and taxiing after landing are

Table 2

Duration of aircraft parking on the apron

Aircraft group	Duration of aircraft parking on the apron with regard to different types of flights			
	Transit	Return	Final destination	Origin departure
I	1,50	2,10	0,90	0,90
II	1,00	1,20	0,80	0,90
III–IV	0,55	0,75	0,40	0,80

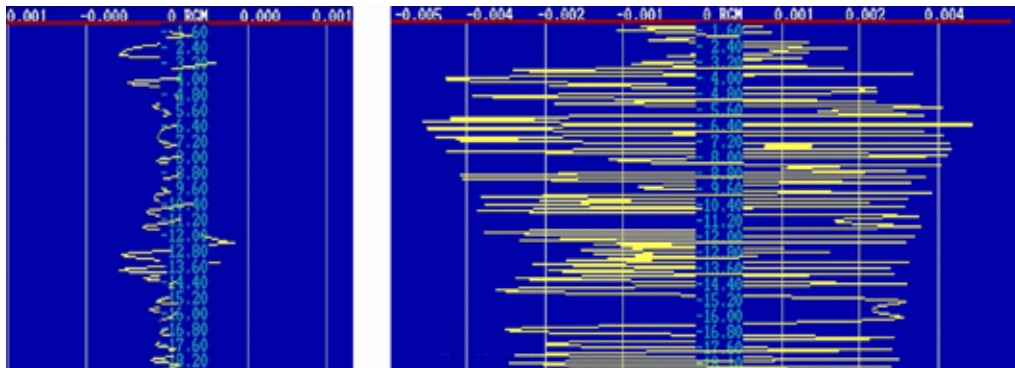
⁵ Glushkov, G. I., Babkov, V. F., Trigoni, V. E. [et al]. Research and design of an aerodrome: Textbook for universities. Ed. by G. I. Glushkov. 2nd ed. Moscow, Transport publ., 1992, 463 p.



Table 3

Time interval values for assessing runway occupancy

Time interval	Value, s
Time of taxiing to the line-up position t_{taxi}	30...60
Time of stay of the aircraft at the line-up position to bring the engine thrust to take-off mode t_{th}	30...60
Aircraft takeoff run time t_{trun}	10...20
Time of acceleration and gaining the altitude t_{ag}	10...25
Aircraft gliding time from the decision altitude until touching down the runway t_{gl}	15...30
Aircraft landing run time t_{lrun}	15...25
Time of aircraft taxiing after landing beyond the side boundary of the runway (LOC critical area) T_{lrun}	30...60



Pic. 7. Curvature of the course lines and glide path of the ILS system of Gorno-Altai aerodrome for the existing aerodrome environs' area.

adopted in accordance with the condition of reducing speed and possible waiting before occupying PS, specified in the AIP.

Thus, the runway occupation time will be 80...165 s during takeoff and 60...115 s during landing. These time intervals can be reduced by reducing the taxiing to the line-up position and taxiing after landing. To solve this problem, it is necessary to expand the apron, which will make it possible not to reduce the speed when taxiing and to occupy parking stands PS2–PS6 and PS10 without the risk of blocking the path for the next aircraft. This solution requires a reduction in the size of LOC critical area, so it is advisable to

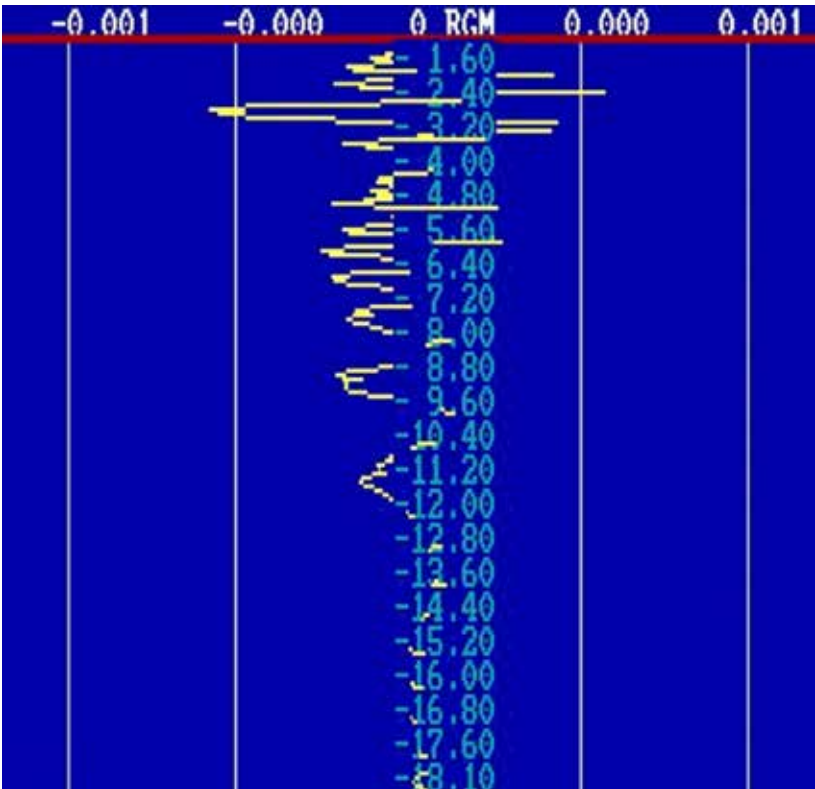
assess the feasibility of this solution and the possible impact of objects on the operation of the ILS.

We will use the developed algorithm, which includes 5 steps.

1. Let us evaluate the curvature of the course and glide path lines for the existing aerodrome environs' area using (5) and (6). Buildings and structures (Pic. 6) are objects of simple shape that can be approximated by the model of a reflecting object in the form of a wall; the elevated terrain is approximated by the model of a hemispherical diffuse reflecting object. We will present the results of the analysis in the form of



Pic. 8. Positioning of aircraft with dimensions corresponding to the Boeing-737 near the border of the LOC critical area.



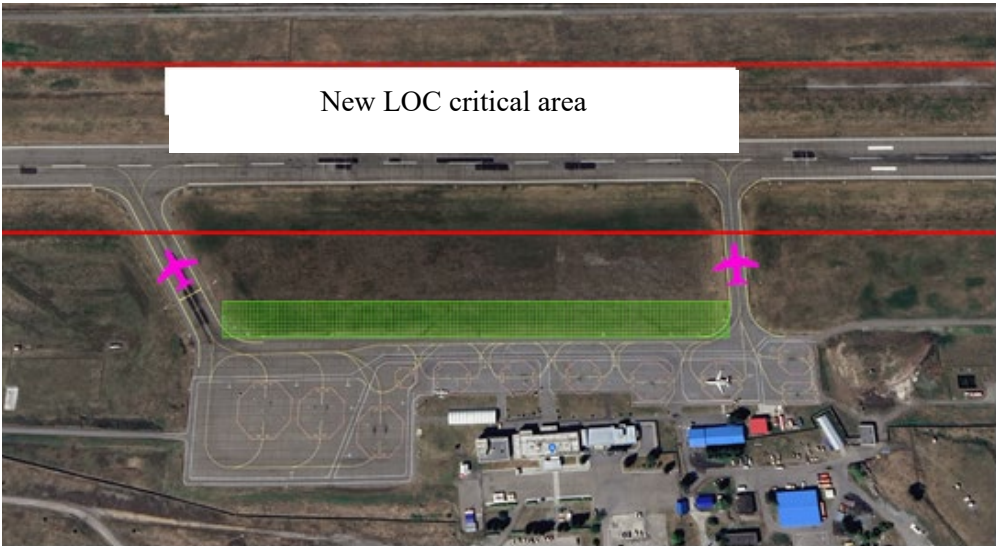
Pic. 9. Curvature of the course line of the ILS system of Gorno-Altai aerodrome when the Boeing-737 is located near the border of the LOC critical area.

graphs of curvature of the course and glide path lines, expressed in DDM units (Pic. 7).

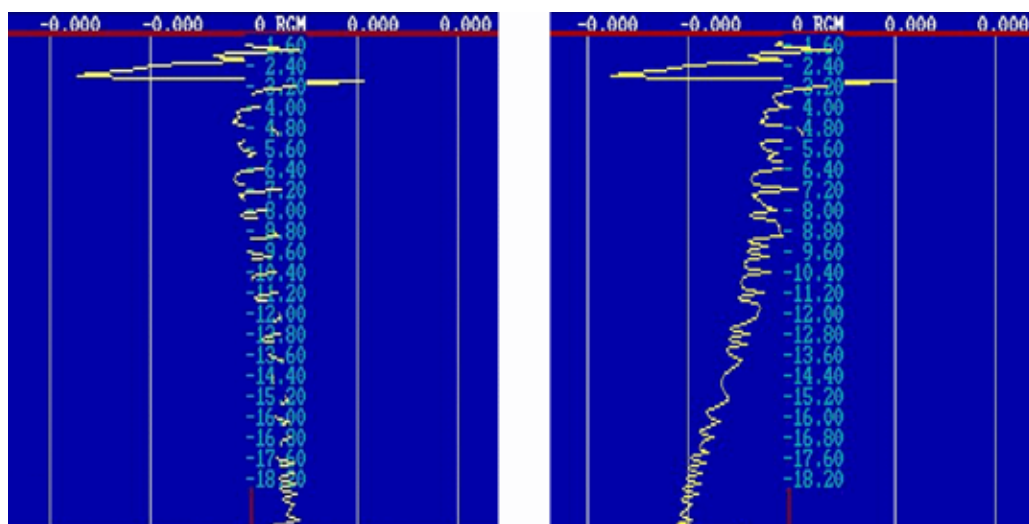
2. The results obtained allow us to conclude that Category I requirements have been met, which confirms the results of the flight check. Thus, the applied methodology provides an

adequate assessment for the conditions of Gorno-Altai aerodrome.

3. Let us evaluate the curvature of the course line when an aircraft with dimensions corresponding to the Boeing-737 is located near the border of the LOC critical area (Pic. 8). The



Pic. 10. Option for the expanded apron of Gorno-Altai aerodrome (a new LOC critical area and location of the objects under study are indicated).



Pic. 11. Curvature of the course line caused by aerodrome vehicles (car and tractor models).

results of the analysis are presented in Pic. 9. It can be seen that the curvatures do not go beyond the requirements of category I, thus, large reflecting objects do not cause significant distortions of the course line, which confirms the adequacy of the specified critical areas, the dimensions of which correspond to the requirements of FAP-297.

4. Let us evaluate the impact of objects for the reduced LOC critical area. The reduction in the boundaries of the LOC critical area is caused by the need to expand the apron. Pic. 10 shows a possible version of a new apron (the width has been increased by 30 m), as well as the boundaries of a new LOC critical area (the distance from the runway axis has been reduced to 80 m) and the location of objects. This will optimise taxiing procedures and also make it possible to modernise parking areas to receive heavy aircraft.

Let us evaluate the curvature of the course line for the following objects:

- aerodrome vehicles (car and tractor models);
- for light aircraft (L410);
- for medium aircraft (CRJ200);
- for heavy aircraft (Boeing-737).

At Gorno-Altai aerodrome there are no facilities that require the use of methods for assessing ESA of reflecting objects of various shapes, given in Table 1. There are no structures that require the use of a model of a complex object either (Pic. 4). Therefore, in this example, a simplified calculation is used: the technique is approximated by a model of a vertical wall, and

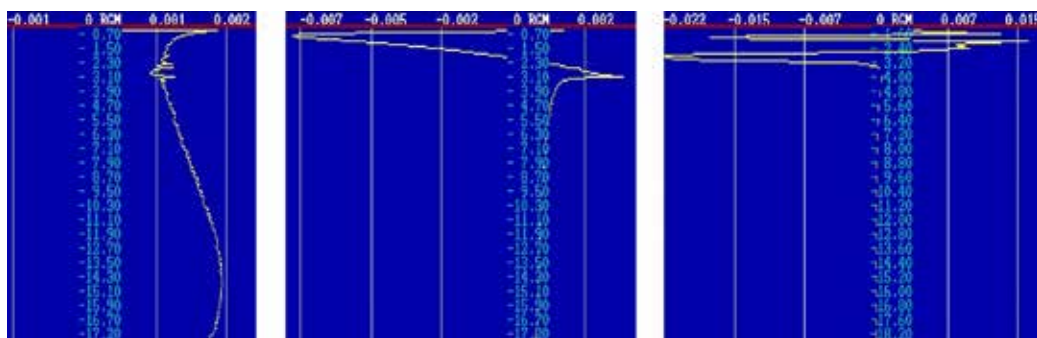
the aircraft is approximated by a model of a horizontal cylinder (fuselage) and a vertical wall (tail). For a more accurate calculation, it is recommended to take into account the complex shape of objects, as well as their structure. The simulation results are presented in Pics. 11 and 12.

5. The simulation results (Pics. 11 and 12) show that when placing objects (aerodrome vehicles and aircraft of various classes) in the positions shown in Pic. 10, the curvature of the course line does not exceed the standard values for category I. It can be concluded that it is possible to reduce the size of the LOC critical area in accordance with ICAO recommendations.

DISCUSSION

During further studies, it is planned to refine the presented methodology by including factors not previously considered in the analysis, which will increase the accuracy and reliability of the results. In this case, one should take into account the mathematical complexity of the modernised methodology, as well as the possibility of its implementation in the form of a software package.

Let's look at some analogues. Currently, methods have been developed and implemented for assessing and considering the curvature of the course and glide path lines for the ILS system. Thus, Airbus, together with the French National School of Civil Aviation (Ecole Nationale de l'Aviation Civile, ENAC) and the European Aeronautic Defense and Space Company



Pic. 12. Course line curvatures caused by light, medium and heavy aircraft.

(EADS), has developed software products: ATOLL and LAGON, which allow modelling the impact of terrain and local objects on operation of the ILS system using the physical optics method [1].

The work [7] has applied the ATOLL program to assess the influence of the designed building and construction cranes (with different boom rotation angles) on the LOC operation at Riga aerodrome. The modelling method has helped to prove that the new building will allow maintaining the existing landing category, however, during construction it is necessary to select placement points for construction cranes and monitor the angle of rotation of their booms when the aircraft is landing, as this can lead to unacceptable curvatures of the course line.

Study is also underway on the use of the method of moments and the multilevel multipole method. At the same time, in [1] it is noted that these methods have a number of constraints, in particular, they are not able to consider the influence of the underlying surface in the form of a ledge. In general, considering the underlying environment (slope in the longitudinal and transverse directions, uneven microrelief, the presence of snow or vegetation and its heterogeneity) is a separate area of research [13–15], and in the future it will have to be used within promising methods for assessing the curvature of the ILS course line and glide path.

CONCLUSION

Following the improvements in the features of ILS systems, the sizes of ILS critical areas (regulated by FAP-297) can be reduced. ICAO documents present the recommended sizes of critical areas, and it is noted that it is preferable to model the influence of objects on LOC and GP operation.

The article has presented a method for assessing the curvature of course and glide path lines and developed an algorithm for its application. Using the example of Gorno-Altai aerodrome, an assessment has been made of the influence of objects located within the existing LOC critical area. It has been proven that the LOC critical area can be reduced, which will make it possible to expand the apron by 35 m and eliminate the current problem with limiting taxiing speed and blocking the movement of aircraft with a wingspan of more than 25...29 m when occupying aircraft parking stands PS2–PS6 and PS10.

When expanding the apron, it will be possible to obtain a probability of denial of service in the range of 0,001...0,003 (at TOL intensity of 10 aircraft/hour) and 0,05...0,105 (at TOL intensity of 15 aircraft/hour), which is 3...11 times less than the existing probability.

The expansion of the apron will make it possible not to reduce the taxiing speed and eliminate waiting time for aircraft when parking stands PS2–PS6 and PS10 are occupied. Thus, the time of taxiing before takeoff and after landing will be reduced to approximately 20...40 and 15...30 s. This will lead to a reduction in runway occupancy time to 70...145 s during takeoff and 45...85 s during landing, which is 12.5...26 % better than existing indicators. Improved performance (probability of service failure and runway occupancy time) will increase the aerodrome's capacity.

Since FAP-297 defines fixed sizes of the LOC and GP critical areas, it is recommended to amend existing regulations to take into account ICAO recommendations and ensure the possibility of reducing the ILS critical areas while maintaining a required level of flight safety.



It is necessary to identify cases requiring mandatory flight inspection of new critical areas and develop a program of special flight inspections. It is also necessary to identify cases that allow establishing the boundaries of critical areas based on simulation results and develop a single methodology and algorithm for carrying out calculations.

In further research, it is planned to modernise the methodology for assessing the curvature of the course and glide path lines to take into account additional factors, including the characteristics of the underlying surface that affect the spatial characteristics of the LOC and GP radiation.

REFERENCES

1. Voytovich, N. I., Ershov, A. V., Yungaitis, E. M. Diffraction of electromagnetic waves on a half-plane in relation to the aircraft landing system on aerodromes with a high level of snow cover and difficult terrain in the approach zone. *Journal of the Ural Federal district. Information security*, 2022, Iss. 1 (43), pp. 11–21. DOI: 10.14529/secur220102.
2. Tong, Kuang; Song, Yang; Kong, Xiangfen; Zhang, Kaiwen; Chen, Zijian. An integrated method for accurate identification and dynamic monitoring of buildings in aerodrome obstacle free space. ICAS 2020, pp. 1–14. [Electronic resource]: https://icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_1061_paper.pdf. Last accessed 17.06.2023.
3. Mitsevlch, L., Zhukovskaya, N. Geospatial modeling, analysis and mapping for aerodrome land. E3S Web of Conferences, 2021, Vol. 310. EDP Sciences, pp. 1–10. DOI:10.1051/e3sconf/202131004003.
4. Rubtsov, E. A. Automation of assessment of the impact of construction projects on operation of radio equipment for flight support [Avtomatizatsiya otsenki vliyaniya obektov stroitelstva na rabotu sredstv radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov]. *I-methods*, 2022, Vol. 14, Iss. 3. [Electronic resource]: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2022/3/4-rubcov.pdf>. Last accessed 17.06.2023.
5. Iungaitis, E. M., Ershov, A. V., Zhdanov, B. V., Voytovich, N. I. Curvature of a radio engineering glide path as a holographic portrait of the terrain. *Microwave technology and telecommunication technologies (KryMiKo'2019)*, Sevastopol, 2019, pp. 43–48. EDN: SRRJJO.
6. Iungaitis, E. M., Ershov, A. V., Zhdanov B. V., Voytovich, N. I., Zotov, A. ILS Glide Slope Antenna Array for Airfields with a High Level of Snow Cover. 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019. Krakow, 2019, 8740267. [Electronic resource]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8740267>. Last accessed 17.06.2023.
7. Vorontsov, K., Lacane, M. A. Case Study for Riga International Airport Modernization: ILS Localizer Signal Accuracy Depending on Ground Obstacles Located Nearby. International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, Cham, 2020, pp. 235–245. DOI: 10.1007/978-3-030-68476-1.
8. Zotov, A. V., Zhdanov, B. V., Voytovich N. I. Theory and experiment of ILS localizer course line electronic adjustment. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Sochi, 2019, 8743091. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743091.
9. Vozhdaev, V. V., Teperin, L. L. Characteristics of radar signature of aircraft [Kharakteristiki radiolokatsionnoi zametnosti letatelnykh apparatov]. Moscow, FIZMATLIT, 2018, 376 p. ISBN 978-5-9221-1782-1.
10. Ryapolov, I. E., Vasilets, V. A., Sukharevsky, O. I., Tkachuk, K. I. High-frequency method for calculating secondary radiation of a fuselage model of an unmanned aerial vehicle [Vysokochastotnyy metod rascheta vtorichnogo izlucheniya modeli fyuzelyazha bespilotnogo letatel'nogo apparata]. *Sistemi ozbroeniya i viiskova tekhnika*, 2014, Iss.1 (37), pp. 222–225. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/370806235_VYSOKOCASTOTNYJ_METOD_RASCETA_VTORICNOGO_IZLUCENIYA_MODELI_FUZELAZA_BESPILOTNOGO_LETATELNOGO_APPARATA. Last accessed 17.06.2023.
11. Sukharevsky, O. I., Vasilets, V. A., Kukobko, S. V. [et al]. Scattering of electromagnetic waves by air and ground radar objects: Monograph [Rasseyaniye elektromagnitnykh voln vozduzhnymi i nazemnymi radiolokatsionnymi obektami: Monografiya]. Ed. by Sukharevsky, O. I. Kharkov, KhUPS, 2009, 468 p. ISBN 978-9-6646-8040-7.
12. Nechitaylo, S. V., Orlenko, V. M., Sukharevsky, O. I., Vasilets, V. A. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects. SRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA. 2014, 334 p. ISBN 9781315214511.
13. Zotov, A. V. Study of the influence of terrain on the output characteristics of the localizer of the instrumented landing system for aircraft. Abstract of Ph.D. (Eng) [Issledovanie vliyaniya relefa mestnosti na vykhodnye kharakteristiki kursovogo radiomayaka sistemy instrumentalnoi posadki samoletov. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk]. Yekaterinburg, 2017, 22 p. [Electronic resource]: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/13585/000555376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Last accessed 17.06.2023.
14. Iungaitis, E. M., Voytovich, N. I., Golovnin, A. A., Zhdanov, B. V. The influence of terrain in the form of a ledge on the behaviour of the trajectory for aircraft landing. *Microwave technology and telecommunication technologies (CriMiKo'2017): Proceedings of the 27th International Crimean Conference. In 9 volumes, Sevastopol, September 10–16, 2017. Volume 2*. Sevastopol, Sevastopol State University, 2017, pp. 379–386. EDN: YNKSNY.
15. Iungaitis, E. M., Zhdanov, B. V., Ershov, A. V., Voytovich, N. I. Behaviour of the information parameter of the glide slope of the aircraft landing system. *Microwave technology and telecommunication technologies*, 2020, Iss. 1–2, pp. 74–75. EDN: IDPLUN.

Information about the authors:

Rubtsov, Evgeny A., Ph.D. (Eng), Deputy Director of the Academy of Civil Aviation of Russian University of Transport, Moscow, Russia, rubtsov.rut.miit@yandex.ru.

Kudryakov, Sergey A., D.Sc. (Eng), Senior Researcher, Director of Scientific and Educational Centre for Air Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, psi_center@mail.ru.

Dalinger, Iakov M., Ph.D. (Eng), Vice-Rector of Russian University of Transport, Moscow, Russia, iakovdalinger@gmail.com.

Article received 29.05.2023, approved 01.10.2023, accepted 09.10.2023.



Technical Preparation for Scheduled Preventive Maintenance of Double-Decker Rolling Stock



Andrey S. Shinkaruk

Federal Passenger Company JSC, Moscow, Russia.

✉ Shinkarukas@mail.ru.

Andrey S. SHINKARUK

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the process of technical preparation preceding scheduled preventive maintenance of newly commissioned double-deck passenger coaches. The paper considers the main tasks and goals of technical preparation, including the step-by-step process of car repair, as well as repair planning, formation of a range of applied materials, tools, and step-by-step control of work performed during repair and maintenance. Upon identifying features and inconsistencies that arise during technical preparation for repair of double-deck coaches of a new model range, ways to solve them are proposed.

The paper considers the main directions in organisation of preventive maintenance in terms of implementation of measures to integrate into the process the features associated with the specifics of the assemblies, parts and materials used in those coaches; main tasks of preparing for scheduled preventive

maintenance with regard to provision of workshops, of developing forms, methods and adjusting production processes, as well as of employing small-scale mechanisation tools, and manufacturing devices to speed up the repair process. The processes of carrying out scheduled preventive maintenance are structured allowing development of a process model for repair of a double-decker coaches when they are delivered at maintenance and repair facilities.

The study allows regulating and improving the efficiency of technical preparation for repair of double-deck coaches, ensuring higher quality and speed of repair work, as well as effectively assessing the real need for spare parts and materials used during the repair process, since the operation of these coaches provides for a new set of spare parts, materials and elements in comparison with single-deck analogues already manufactured.

Keywords: railways, double-deck coach, passenger car, personnel, costs, unification, model, design.

For citation: Shinkaruk, A. S. Technical Preparation for Scheduled Preventive Maintenance of Double-Decker Rolling Stock. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-6>.

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

Railway transport plays a key role in the economics of the Russian Federation. Railways are the main medium for transporting goods over long distances, which is useful, first, for development and maintenance of the industries ensuring economic growth and prosperity. Most cargo, especially food products, is shipped by rail, which is also important for ensuring food provision of the population. Due to implementation of various projects, for example, construction and modernisation of railway lines, the number of deliveries and speed of cargo transportation, as well as rail transportation process are significantly increasing and improving.

Railway transport is also important for passenger transportation, especially when transporting passengers over long distances, which provides an opportunity to travel around Russia and get acquainted with its beauty and culture. It also connects different regions and cities, providing access to labour and natural resources.

The Decree of the Government of the Russian Federation of May 18, 2001 No. 384 approved the «Program for the Structural Reform of Railway Transport»¹ which sets out the concept of reforming the railway transport and its passenger complex, in particular it provided for subsequent differentiation of certain areas for development of passenger transportation that englobe long-distance, suburban and high-speed traffic.

On March 27, 2007, JSC Russian Railways approved Regulation No. 405 «On the Federal Passenger Directorate – a branch of JSC Russian Railways»,² within the framework of which the transition and structuring of long-distance passenger transportation as a separate business structure began. This process resulted in its complete transformation based on the principles of territorial-administrative management.

In 2009, the Board of Directors of JSC Russian Railways approved the creation of Federal Passenger Company Open Joint Stock

Company (hereinafter JSC FPC) as an independent structural entity and, since 2010, this company began its production and financial activities. JSC FPC's assets include locomotive-hauled passenger coaches, passenger car depots and territorial sections, luggage facilities and rail ticketing agencies.

In accordance with the Long-Term Development Program of JSC Russian Railways until 2025, approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 466-r on March 19, 2019,³ and to implement it, it was established that to achieve an increase in passenger turnover, an average purchase of 600 cars is required annually. The implementation of these requirements will make it possible to maintain the share of long-distance passenger traffic at the level of 26–28 percent, achieving 116,7 billion passenger-kilometres in long-distance traffic by 2025³.

The world leader in the number of passengers travelling with all types of traffic is China [1], where 3 billion people were carried in 2021, followed by India (1,25 billion), and Germany ranked the third (1,2 billion). In Russia, this figure is 1,06 billion departure passengers and corresponds to the 5th place in the world ranking.⁴

When transforming this indicator into billion pass.-km, it was found that Russian railways in this segment are inferior to Chinese carriers with a volume of 946 billion pass.-km and Indian railway transportation with 201 billion pass.-km. In Russia, the indicator of railway passenger transportation in all segments for 2021 amounted to 104,2 billion passenger-km.⁵ The difference in indicators refers, among other things, to the fact that residents of Europe and Asia use high-speed rail services as a priority.

When considering the mobility of passengers and their preferences in using different modes of transport, it was found that 54 % of passengers use air transport services [2], 23 % travel with railway transport, 15 % with road transport, 8 % with metro, and less than 1 % use water transport⁵.

¹ Decree of the Government of the Russian Federation of May 18, 2001 r. No. 384 «On the Program for the Structural Reform of Railway Transport». [Electronic resource in Russian]: <https://base.garant.ru/183354/>. Last accessed 02.03.2023.

² Regulation No. 405 «On the Federal Passenger Directorate – a branch of JSC Russian Railways». [Electronic resource in Russian]: <https://docs.cntd.ru/document/901989485>. Last accessed 02.03.2023.

³ Decree of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 No. 466-r «On approval of the long-term development program of JSC Russian Railways until 2025». [Electronic resource in Russian]: <http://government.ru/docs/36094/>. Last accessed 15.01.2023.

⁴ Based on: [Electronic resource]: <https://uic-stats.uic.org/list/>. Last accessed 20.05.2023.

⁵ Transport in Russia. 2022: Statistics collection. Rosstat, Moscow, 2022, 101 p. [Electronic resource in Russian]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf. Last accessed 25.02.2023.

To increase volumes of transportation in long-distance passenger traffic, it is necessary to develop both convenient transport logistics and connectivity between transportation areas, using various modes of transport (multimodality) [3], and improve the quality of service, as well as the comfort of offered rolling stock [4].

The age of rolling stock has a primary influence on improvement of passenger travel conditions. Thus, in the Russian Federation over the past decade, implementation of the investment program for purchase of rolling stock has made it possible to reduce the average age of a passenger coach from 19,2 to 17,5 years, and to reduce its wear and tear from 66,4 % to 54,4 %, ⁶ which had a positive effect on both the quality of services, and on attracting passengers to travel in the long-distance segment of transportation [5].

However, despite a significant increase in purchase of rolling stock in recent years, the available number of passenger coaches is still not enough to meet all the needs for passenger transportation during peak periods. To meet them on a systematic basis, opportunities are being sought and prospects are being considered for increasing the use of rolling stock in operation through introduction of promising diagnostic tools [6], which reduce the risk of significant damage or wear of car components [7–9], as well as the use of elements with increased operational reliability and service life [10]. Technological processes for organising maintenance and scheduled preventive maintenance are also being improved.

Along with improving the technical features of rolling stock, the carrier is also interested in increasing the capacity of the passenger car [11]. So, from November 1, 2013, a train has been launched, formed with double-decker domestic-made coaches on Adler–Moscow route. This type of rolling stock has become in great demand for passengers, and at present, more than 850 cars are already running on the railway network, connecting regional centres, as well as resorts on the Black Sea coast.

Thus, the role of preparing production facilities for organising preventive maintenance to ensure efficient maintenance and scheduled preventive repairs during the entire operational stage of the life cycle grows taking into account the constant increase in the fleet of double-deck passenger coaches, results of the analysis of

organisation of work on preparation for production, development and operation of rolling stock in foreign companies [12–14].

The *objective* of the study is to analyse technical preparation for scheduled preventive maintenance of double-deck coaches of a new model range at the production facilities of passenger car depots. The study used the *methods* of engineering modelling, regulatory analysis, as well as a comparative study.

RESULTS

Carrying out scheduled preventive maintenance of passenger rolling stock includes equipping sections and workshops of the relevant enterprises with appropriate equipment, measuring tools and fixtures, ⁷ as well as implementation of other measures to integrate design features of various models of cars into the technological process. The process of mastering a new production process for repair of double-deck rolling stock is systematised in accordance with the requirements of the Single Design Documentation System, in accordance with which the developed manual for depot and overhaul (KR-1) repairs of passenger double-deck cars (LV1.0058 RK) ⁸ was extended to repair of a new prototype. Based on the results of the pilot repair and testing, the existing manual will be amended with assignment of the letter «RO», a set of coaches will be repaired according to the revised manual, acceptance tests will be carried out and the letter «RA» will be assigned to repair documentation, allowing extending repairs to cars of these models on an ongoing basis. Due to the unity of forms and rules of general requirements in accordance with requirements of GOST [State Standard] 2.602–2013, ⁹ formation of a standard manual for repair of rolling stock is greatly simplified.

Structural enterprises are developing their own technological processes interconnected with both repair and operational documentation for the corresponding car models.

⁷ Decree of JSC FPC dated 2.12.2020, No. 1072r «On Approval of the Regulations on Technological Equipment for Maintenance and Repair of Passenger Cars». Moscow, JSC FPC, 2020, 63 p.

⁸ Guidelines for depot and overhaul (KR-1) repairs of passenger double-deck coaches LV1.0058 RK. Moscow, JSC Russian Railways, 2021, 294 p.

⁹ GOST 2.602-2013. Single Design Documentation System. Repair documents. Moscow, Standartinform publ., 2014, 20 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200106870>. Last accessed 25.02.2023.

⁶ Annual report of JSC FPC. 2021. Key figures [Electronic resource in Russian]: <https://ar2021.fpc.ru/ru/company/results>. Last accessed 25.02.2023.



However, to increase the efficiency of formation of local technological processes at the structural enterprises of the passenger complex, it is necessary to create a regulatory document regulating the procedure for sending newly commissioned models of passenger coaches and their components for scheduled preventive maintenance, as well as technical preparation of production facilities for repair and procedure assessment of quality of the repaired car with its acceptance control for compliance with quality of repair and maintenance of relevant components and parts.

To implement the process of technical preparation of the repair facility and interconnection of governing documents, JSC FPC developed the Procedure for preparation, coordination and approval of technological processes in the structural divisions of JSC FPC branches, approved by Order of JSC FPC dated August 26, 2021 No. 893r.¹⁰ It contains the requirements for preparation, coordination and approval of technological processes.

This procedure regulates the requirements for development of technological processes, considering local conditions, capacities of workshops and sites, normative control, labour protection requirements, fire and industrial safety, and also establishes the procedures for updating, adjusting and revising the frequency of technological processes and linear schedules.

However, this Procedure does not reflect the process of preparing production for repair of passenger coaches of a new model range, taking into account their design features and new elements.

Organisation Process at Production Facilities for Repair of Double-Deck Rolling Stock: Prospective Requirements

To form a single approach to organising the preparation of production facilities for repair of new models of double-deck passenger rolling stock, it is required to ensure the implementation of the following main stages, this is formation of a linear schedule, conduct of standard control, assessment, and confirmation of quantitative characteristics of the equipment used for maintenance and repair, identification of the staff and their qualifications¹⁰.

¹⁰ Decree of JSC FPC dated 26.08.2021 No. 893r «On approval of the Procedure for preparation, coordination and approval of technological processes in the structural divisions of JSC FPC branches». Moscow, JSC FPC, 2021, 33 p.

Upon the results of development of a single technological process for implementation of the procedure for technical preparation of production facilities, it is necessary to include the following areas: development of a project for re-equipping the structural unit with necessary equipment, fixtures and measuring tools; reprofiling or mastering repair of new units and parts (backlash-free coupling units (BCU), converters, etc.); training and staffing; identification, formation and maintenance of a working stock of spare parts and materials¹⁰.

The task of re-equipping the structural unit with necessary equipment, fixtures and measuring instruments is to fulfil one of the stages of preparation for production facilities to ensure high-quality and timely repair of purchased new models of double-deck rolling stock in compliance with all the requirements laid down by the manufacturers of both the rolling stock itself and its elements.

The task of re-profiling production facilities or individual production sites (workshops) for repair of newly commissioned models of double-deck rolling stock is to reduce the cost of repairs, optimise downtime in repairs, reduce the financial burden in terms of additional purchase of parts to form a working stock or use rolling stock repair services from third party contractors.

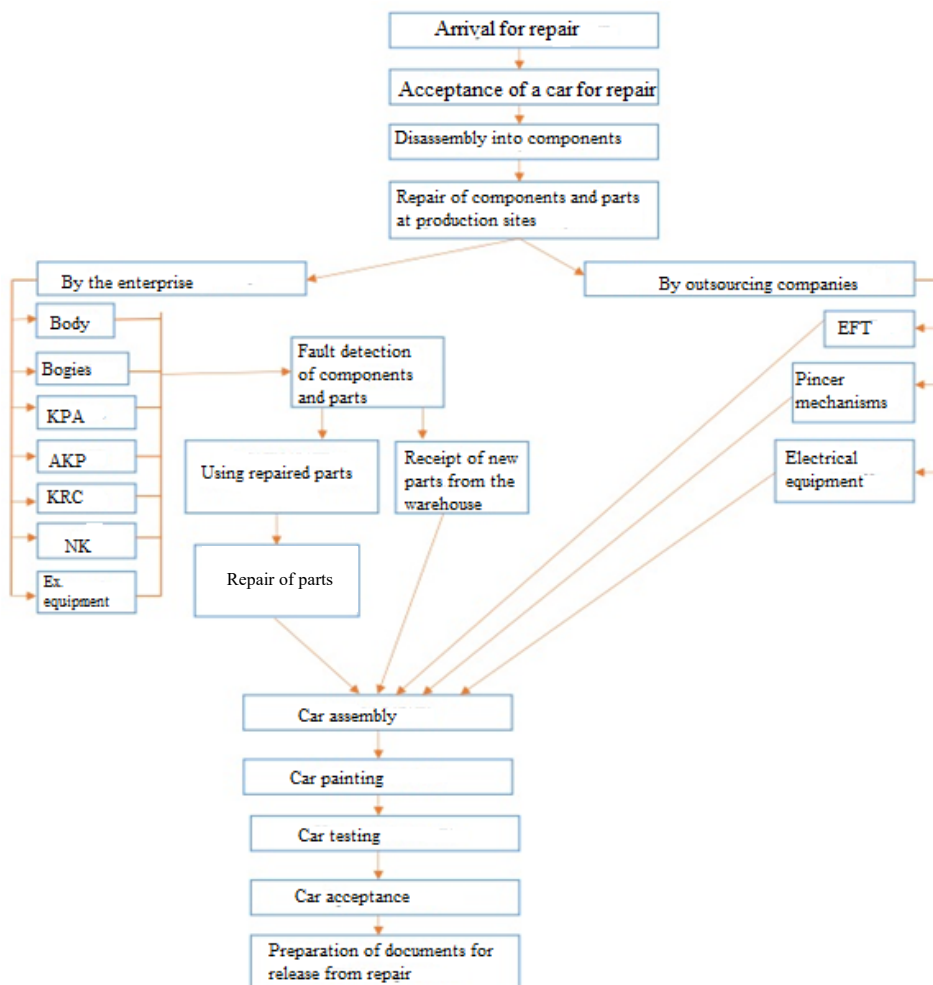
The task of staffing and training personnel is to make them acquire the skills to master repair of new components and parts of the rolling stock introduced by the manufacturer in new coaches.

In general, the scheme for carrying out scheduled preventive maintenance is structured in Pic. 1.

The general goal of preparing production facilities for scheduled preventive maintenance of double-deck passenger coaches of a new model range is development of optimal technological processes (both for general KR-1 depot and overhaul maintenance and repair of the coach, as well as regarding its components and parts) that would ensure repair of products of a given quality with minimal time, production, and financial costs.

The main objectives of scheduled preventive maintenance are:

- Development and implementation of technological processes (both for workshops and sites incorporated in the structural unit, and for outsourcing companies).
- Providing workshops and sites with measuring tools.



Pic. 1. Step-by-step scheme for repair of a double-deck passenger coach [performed by the author].

- Implementation of re-profiling of sites and workshops for mastering repair of new equipment.

- If necessary, a certification procedure or expansion of the range of the activity of repurposed workshops (sections).

- Development of forms and methods for organising production processes.

- Providing the enterprise with means of small-scale mechanisation for transportation and warehousing.

- Development of technologies and means of technical control of production processes.

- The use of small-scale mechanisation, measuring tools and equipment in the technological process during repair of car components and parts.

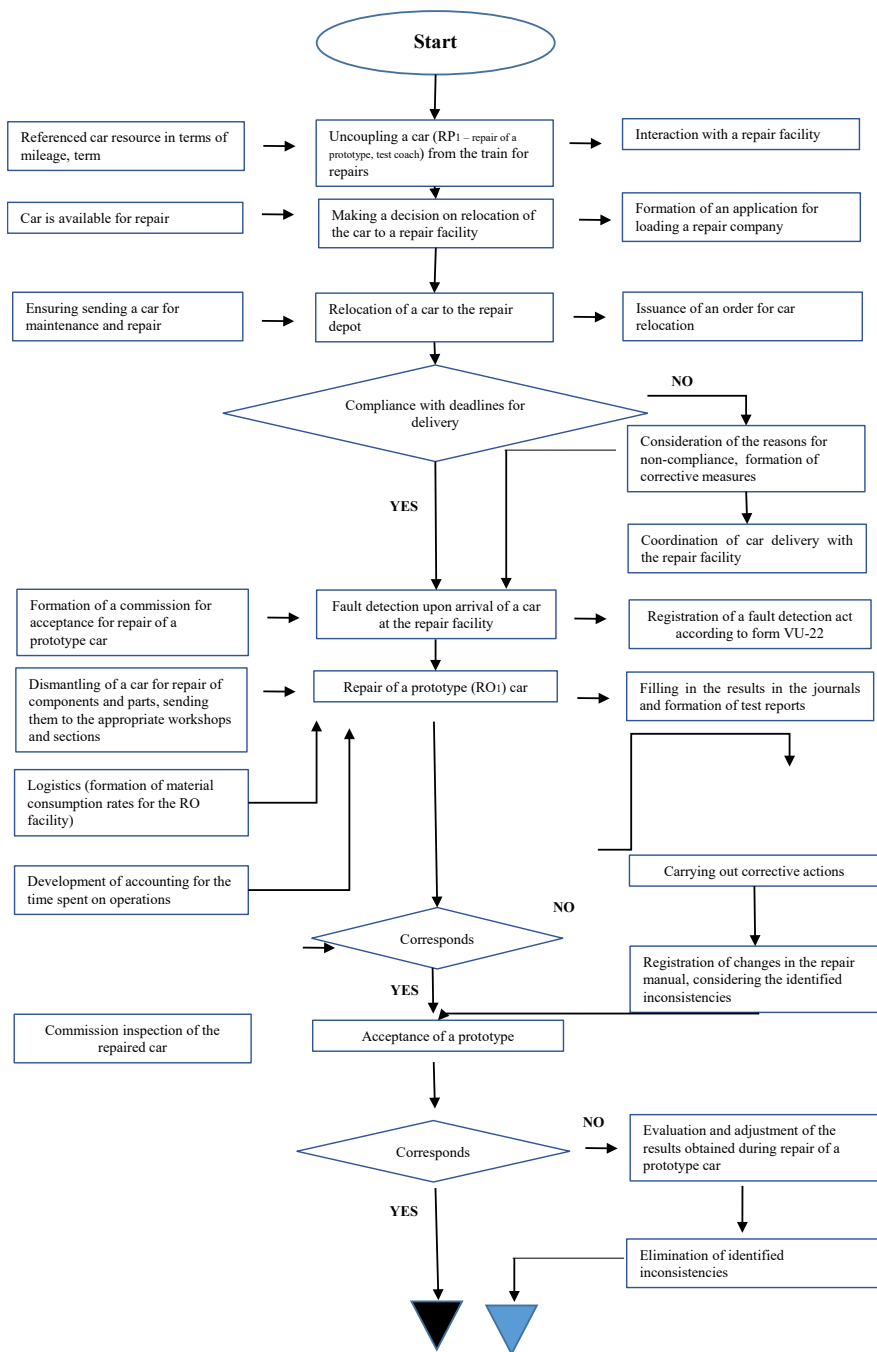
- Repair of a prototype with subsequent commission acceptance.

- Adjustment of technological processes, their components and parts, revision of the

program for retrofitting the enterprise for technical preparation of production.

The continuity of the transportation process, the demand for double-deck rolling stock requires production facilities to master maintenance and/or preventive maintenance as soon as possible and with minimisation of losses during performance of basic technological operations and of costs. At the same time, for formation of technological operations for repair and restoration of components and parts, this primarily concerns electrical, electronic equipment, as well as systems to ensure comfortable travel for the passenger (environmentally friendly toilet complexes (EFT), air conditioning units, etc.), it is necessary to promptly update changes, additions and innovations with relevant changes in the design documentation. As a rule, these changes are sent to the structural subdivisions with a significant delay and it is not possible to organise repairs in



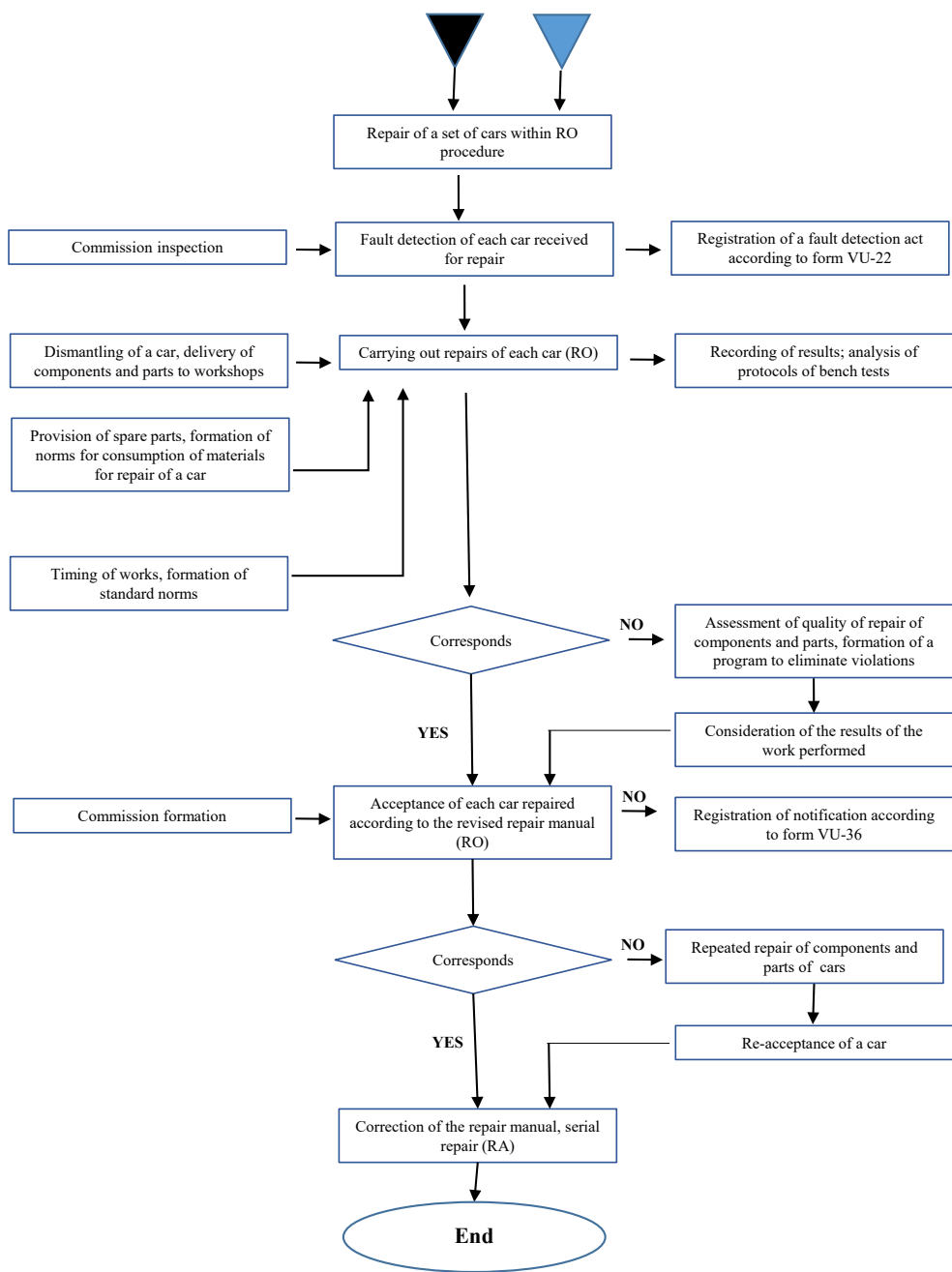


Pic. 2. A process model for repair of a double-deck passenger coach when it enters maintenance facility [performed by the author].

full accordance with the requirements of design or operational documentation due to the technical complexity of a number of components and parts that require additional preparation of production facilities, personnel or the need to purchase bench equipment within the framework of investment program, which is a lengthy procedure.

So, on a systematic basis, additions are made to systematise organisation of repair of electrical converters located in the under-roof space of the car, backlash-free coupling devices.

The process algorithm for solving the problem of mastering production with engineering modelling of the processes of repairing a passenger double-deck coach is shown in Pic. 2.



Pic. 2. A process model for repair of a double-deck passenger coach when it enters maintenance facility [performed by the author] (end of the chart).

This approach allows us to consider in detail all the aspects that arise during repair, and during implementation of the stages of this engineering model, it is possible to consider any stage that the car passes when it is delivered at maintenance and repair facility, including setting standard spending of material resources, labour costs, wording and updating of the specifications, regulatory and

technological documentation, as well as qualifications and training of personnel. Those specific practices are the most effective and allow us to adjust the process, considering the conditions of the existing production facilities, to quickly build optimal technological operations with preparation of necessary text and graphic documents, technical charts used in repair and



maintenance, tools and fixtures. In addition, one of the key stages of implementation as part of technical preparation of production facilities is development of a manual for serial repair of new models of double-deck rolling stock that makes it possible to assess the real need, first, for material, time and human resources, determine the layout and, if necessary, redevelop individual workshops or sections, as well as determine the capacity of each of them. Even taking into account significant financial investments in technical preparation of production facilities, the results are always justified and the economic effect of increasing productivity significantly exceeds their share in the total costs of the structural unit.

CONCLUSIONS

The process model for maintenance and repair of double-deck passenger rolling stock is aimed at a qualified organisation and technical preparation of production facilities for scheduled preventive maintenance of newly commissioned cars. Considering the need for maintaining continuous and uninterrupted transportation process, it was determined that the process of mastering maintenance and repair of a new model range rolling stock requires the soonest implementation with minimal losses to perform the main technological process of an enterprise.

In particular, the relevance of technical preparation of production facilities has been confirmed to master maintenance and repair of a new model range of rolling stock introduced as part of the reform of the long-range passenger complex.

Based on the results of considering the structure of organising the launch of maintenance and repair of a new model range of passenger rolling stock, the main goals and objectives were formulated (updating technological processes, re-profiling sections and workshops, equipping production with the necessary equipment, etc.).

Based on the results of preparation of production facilities for maintenance and repair of serially produced rolling stock, the main production processes were identified that require adaptation (list and rate of replacement of spare parts, personnel qualifications, labour costs).

REFERENCES

1. Tereshina, N. P., Zhu Jialin, Steblyanskaya, A. N. Strategies for improving the quality of passenger service on high-speed railways in China. *Transport business in Russia*, 2021, Iss. 6, pp. 118–122. DOI: 10.52375/20728689_2021_6_118.
2. Manvelidze, A. B. Comparison analysis of passenger traffic by air and rail transport. *Strategic decisions and risk management*, 2018, Iss. 1 (106), pp. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-1-88-101>.
3. Guts, A. V., Dunaev, O. N. Passenger transportation market and the methods for organisation of multimodal transportation. *Transport Rossijskoi Federatsii*, 2019, Iss. 1 (80), pp. 23–27. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37616738>. Last accessed 23.02.2023.
4. Gurlev, I. V. Passenger safety management on railway transport. *Vestnik Evrazijskoi nauki*, 2020, Iss. 1, Vol. 12, P. 37. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42809638>. Last accessed 23.02.2023.
5. Zaripov, R. Yu., Zhekenov, A. B. Improving passenger transportation in long-distance trains [Sovershenstvovanie passazhirskih perevozok v poezdakh dalnego soobshcheniya]. *Vestnik KazATK*, 2021, Iss. 1 (116), pp. 154–161. DOI: 10.52167/1609-1817-2021-116-1-153-161.
6. Kulikov, M. Yu., Shinkaruk, A. S., Kurin, P. S. The System for Diagnosing a Passenger Car, as an Element of Information Security and Management of an Operational Resource. Proceedings of the 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), pp. 155–157. DOI: 10.1109/ITQMIS56172.2022.9976760.
7. Kopachev, S. V. Improving the technological preparation for repair of rolling stock [Sovershenstvovanie tekhnologicheskoi podgotovki remonta podvizhnogo sostava]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2012, Iss.3, pp. 68–74. [Electronic resource]: http://ntt.rgotups.ru/2012_3.html. Last accessed 23.02.2023.
8. Lebedev, V. A., Zagladova, N. A. Tensions in the elements of double-deck railway coach. *World of Transport and Transportation*, 2012, Iss. 6, pp. 48–51. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18268064>. Last accessed 23.02.2023.
9. Shadur, L. A., Chelnokov, I. I., Nikolsky, L. N., Nikolsky, E. N., Proskurnev, P. G., Koturanov, V. N. [et al]. Cars: Design, theory and calculation [Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet]. Ed. by L. A. Shadur. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1980, 440 p.
10. Khokhlov, A. A. Dynamics of complex mechanical systems [Dinamika slozhnykh mekhanicheskikh sistem]. Moscow, MIIT publ., 2002, 172 p.
11. Suvorova, T. A. Double-decker railway passenger trains history of origin and development. *Visnik Pridniprovskoi derzhavnoi akademii budivnitsva ta arkhitekturi*, 2011, Iss. 8, pp. 55–64.
12. Dong-ling Cai, Yi-bin Xiao, Changmin Jiang. Competition between high-speed rail and airlines: Considering both passenger and cargo. *Transport Policy*, 2021, Vol. 110, pp. 379–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.06.015>.
13. Bosso, N., Gugliotta, A., Zampieri, N. Design and Simulation of a Railway Vehicle for the Transport of People with Reduced Mobility. *Svol*. 2018, Article ID 9207639. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9207639>.
14. Milković, V., Lisjak, D., Kolar, D. New Reliability-Based Model of Stock Optimisation for Railroad Passenger Wagon Maintenance. *FME Transactions*, 2020, Vol. 48 (4), pp. 914–921. DOI: 10.5937/fme2004914M.

Information about the author:

Shinkaruk, Andrey S., Ph.D. (Eng), Chief Inspector for Train Traffic Safety of JSC Federal Passenger Company, Moscow, Russia, Shinkarukas@mail.ru.

Article received 23.05.2023, approved 13.10.2023, accepted 16.10.2023.



Improving Transportation and Traffic Safety with Digital Infrastructure and Telematic Systems for Mountain Vehicle Operations



Nadezhda A. FILIPPOVA



Abakar A. ABAKAROV



Alikadi T. AMIROV



Shamil M. IGITOV

Nadezhda A. Filippova¹, Abakar A. Abakarov², Alikadi T. Amirov³, Shamil M. Igitov⁴

¹ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia.

¹ North-Eastern Federal University in Yakutsk, Yakutsk, Russia.

^{2, 3, 4} Makhachkala branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Makhachkala, Russia.

✉ ¹ umen@bk.ru.

✉ ² abakarmadi@list.ru.

ABSTRACT

Digital transformation strategies have been developed and approved in the federal constituent entities of the Russian Federation. The strategy of digital transformation of the Republic of Dagestan has comprised transport among main areas.

The strategy of digital transformation in the field of transport involves introduction of navigation systems on public transport, ensuring the comfort of passenger travel, including ease of payment, and reduced waiting time.

Research has shown that in recent years the number of road traffic accidents in the mountainous regions of Dagestan and their severity has increased. This is due to an increase in the number of cars operated on the road network of the Republic, especially by motor tourists, a decrease in driver discipline, and the low level of development of telematics systems and digital infrastructure on mountain roads.

In this work, the authors have proposed organisational, technical and engineering measures for development of digital infrastructure for the mountainous road conditions of the Republic of Dagestan, which include the creation of a Situation Centre in the Traffic Control Centre (TCC) with introduction of an automated transport mobility management system, systems for monitoring meteorological and road conditions, installation of dynamic information boards, updating of navigation maps and enhancement of the functions of voice messages.

The implementation of the proposed measures will improve transportation and road traffic safety when transporting passengers in the mountainous areas of Dagestan and reduce the number of road traffic accidents.

Keywords: transport, Dagestan, digital transformation, mountain roads, telematic systems, digital infrastructure, road traffic safety.

For citation: Filippova, N. A., Abakarov, A. A., Amirov, A. T., Igitov, Sh. M. Improving Transportation and Traffic Safety with Digital Infrastructure and Telematic Systems for Mountain Vehicle Operations. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 207–216. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-7>.

**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

The objective of the digital transformation strategy is the scaling of competitive national solutions into different sectors of Russian economics, social sphere, and public administration.

Following the commission of the President of the Russian Federation, digital transformation strategies were developed in all country's regions.

The head of the Republic of Dagestan approved in 2021 the «Strategy in the field of digital transformation of sectors of the economy, social sphere and public administration of the Republic of Dagestan»¹ (hereinafter called Strategy). The strategy comprised seven sectors, particularly transport, 43 projects, including a project in transport and logistics.

New edition of the Strategy was approved by the decree of the Government of the Republic of Dagestan No. 461-r of October 11, 2022.²

As of 2023, «the Strategy of the digital transformation of the Republic of Dagestan has incorporated 17 sectors with 77 on-going projects. Most activity is held within the framework of primary sectors: public administration, education, public healthcare, construction and urban environment, roads, which have been complemented by tourism, culture, sports which are topical for the region... Dagestan has exceeded the planned performance indicators regarding growth of digital maturity... In 2021 the digital maturity indicator of the region was of 37 %, at the end of 2022 it attained the value of 58 % while it was planned to attain 46 % by the end of the year».³

In accordance with the Strategy, the challenges (guidelines) for the development of the transport and logistics industry are as follows: «1) creating conditions for building optimal routes and information and navigation provisions for planning passenger trips; 2) increasing the safety of passenger transportation; 3) ensuring the possibility of cash-free payment for travelling in buses carrying out regular passenger transportation; 4) creating conditions for the development of electronic

platforms for ordering freight transportation, logistics services and e-commerce services; 5) development of a system for tracking cargo transportation using electronic navigation seals; 6) creation of an intelligent transport system within Makhachkala agglomeration on the territory of the Republic of Dagestan; 7) integration of regional transport systems with the Situation information centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation; 8) digitalisation of public services in the field of transport safety and security; 9) creation of conditions for the introduction of technology of information modelling of capital construction objects of transport infrastructure; 10) introduction of artificial intelligence technologies in the design, construction, repair and maintenance of transport infrastructure facilities; 11) application of the technology of 3D modelling in the development of transport infrastructure facilities»².

Given the difficult conditions of mountain roads in the Republic of Dagestan, special attention is required to comprehensive measures aimed at improving road traffic safety.

The *objective* of the study is to analyse the current traffic conditions in the Republic of Dagestan, to develop and propose organisational, technical and engineering measures for the development of digital infrastructure to improve road traffic safety for mountain conditions.

RESULTS

Analysis of the Digital Maturity of the Transport Industry of the Republic of Dagestan

Appendix No. 19 to Decree No. 542 of the Government of the Russian Federation dated April 3, 2021, approved the «Methodology for calculating the Digital Maturity Indicator of the Public Authorities of the Constituent Entities of the Russian Federation, Local Self-Government Bodies and Organisations in the Field of Healthcare, Education, Urban Economy and Construction, Public Transport, Implying the Use of Domestic Information Technology Solutions».⁴ In accordance with the appendix to the Methodology, taking into account

¹ Strategy in the field of digital transformation of sectors of the economy, social sphere and public administration of the Republic of Dagestan. In Russian. [Electronic resource]: https://digital.gov.ru/uploaded/files/respublika-dagestan_JwoZYnH.pdf. Last accessed 21.03.2023.

² In Russian. [Electronic resource]: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/respublika-dagestan.pdf>. Last accessed 21.03.2023.

³ The number of the sectors of the economy included in the Strategy of the digital transformation of Dagestan has grown from 7 to 17. Ministry of digital development of Dagestan. 23.05.2023. In Russian. [Electronic resource]: <https://dagestan.digital/press/50853>. Last accessed 15.05.2023.

⁴ Decree of the Government of the Russian Federation dated April 3, 2021, No. 542, on «Approval of the techniques to calculate indicators to assess the performance of the senior officials of the federal constituent entities of the Russian Federation and of the executive bodies of the federal constituent entities of the Russian Federation, as well as on recognition of some provisions of the Decree of the Government of the Russian Federation dated July 17, 2019, No. 915 invalid» (as amended and enlarged). In Russian. [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/400584539/>. Last accessed 15.05.2023.

the changes made by Decree No. 1094 of the Government of the Russian Federation dated July 1, 2023, the composition of indicators characterising the achievement of the digital maturity indicator in terms of public transport includes: «the share of buses engaged in regular passenger transportation in urban, suburban and intercity (within the federal constituent entity of the Russian Federation) equipped with cashless fare payment systems; the share of buses engaged in regular urban, suburban and intercity transportation (within the federal constituent entity of the Russian Federation) for which information on their actual movement along the route is available in open access mode; share of buses engaged in regular urban, suburban and intercity passenger transportation (within the federal constituent entity of the Russian Federation) equipped with video surveillance systems (with a recording function) that comply with the requirements for the protection of personal data».⁵

At the same time, in accordance with the Strategy in the field of digital transformation of sectors of the economy, social sphere and public administration of the Republic of Dagestan, the share of buses for which information about their real-time positioning on routes was provided in open access mode in 2022 was of 5 %, by 2024 it should reach 17 %. The share of bused equipped with cashless fare payment systems is of 3 % and 15 %, respectively. The share of bused equipped with video surveillance systems in passenger compartments with a recording function that comply with personal data protection requirements is of 3 % and 10 % respectively.² The appropriate tasks have been implemented consistently. With the total number of buses in the Republic of Dagestan, estimated in April 2023 to attain 3900 units, as of «August 25, 2023, the number of vehicles equipped with cashless fare collection systems has reached 340 units. The possibility of cashless payment is implemented in trolleybuses and small-class buses in the cities of Makhachkala and Kizlyar, as well as in small and medium-class buses transporting passengers on the new inter-municipal routes Makhachkala – Airport and Kaspiysk – Makhachkala – Leninkent».⁶

⁵ In Russian. [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/400584539/66ac2cc39f09c332a272af3e76947f0b/>. Last accessed 15.07.2023.

⁶ Yusupova, A. The cashless fare payment will be introduced in public transport in large cities in Dagestan. 26.08.2023. In Russian. [Electronic resource]: https://riadagestan.ru/news/economy/beznalichnuyu_oplatu_proezda_v_obschestvennom_transporte_vvedut_v_krupnykh_gorodakh_dagestana/. Last accessed 26.08.2023.

Currently, a digital platform for managing the public transport system is being created in Makhachkala. In 2021, as part of implementation of an intelligent transport system in the city, 2 modules and 7 subsystems, a data processing centre and a traffic management centre (TMC) were created.

These systems cover several public transport management modules. In particular, a coordinated traffic management module, a subsystem for traffic lights control, monitoring of traffic flow parameters and a video surveillance subsystem for detecting road traffic accidents and emergency situations on the region's roads have been introduced in Makhachkala agglomeration.

In addition, for monitoring public transport, a traffic control module, a subsystem for monitoring movement of transport, a subsystem for priority emergency vehicles and route management, as well as «smart public transport stops» have been developed [1–3].

The analysis of the issue showed that the digital transformation strategy in the field of transport is generally aimed at optimising the operation of urban public transport and ensuring comfortable passenger transportation.

At the same time, according to authors' opinion, insufficient attention is paid to ensuring safety of transportation and traffic on mountain routes.

The Relevance of the Problem of Road Traffic Safety for Mountain Roads

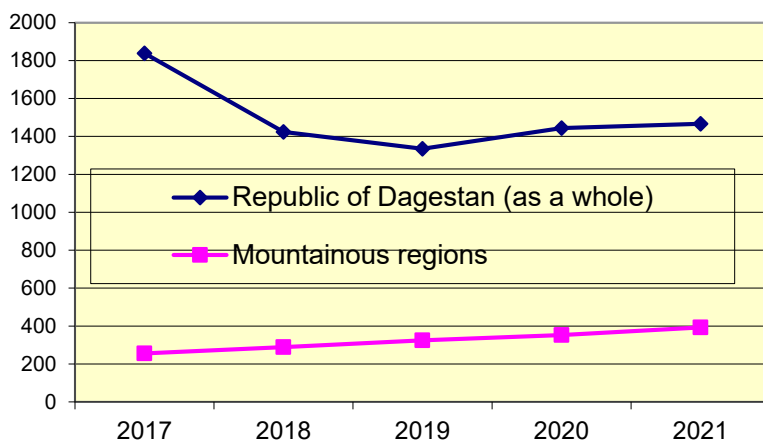
The urgency of the problem is due to the increase in the number of road traffic accidents on mountain routes, the increase in severity of accidents, and a significant increase in the number of tourists travelling by car in mountainous areas.

The diagram (Pic. 1) shows the dynamics of changes in the number of road traffic accidents in the Republic as a whole and in the mountainous regions of Dagestan over the past five years. The share of road traffic accidents on mountain roads, as well as their absolute number, has increased significantly.⁷

In the Republic of Dagestan in the first half of 2022, 655 road traffic accidents occurred, in which 109 people died and 910 people received injuries of varying severity. In recent years, a difficult situation with RTA rates has been observed not only on federal highways, but also in almost all cities and mountainous areas.

⁷ Road traffic safety indicators. In Russian. [Electronic resource]: <http://stat.gibdd.ru/>; <https://rusdtp.ru/stat-dtp/respublika-dagestan/>. Last accessed 30.11.2022.





Pic. 1. Dynamics of changes in the number of road accidents in the Republic of Dagestan and mountainous regions 7.



Pic. 2. A car with six tourists fell into a ravine [<https://erenlar.ru/news/media/2022/7/3/v-dokuzparinskom-rajone-mashina-s-shestyu-turistami-oprokinulas-v-uschele/>].



Pic. 3. A Datsun car overturned into the Tobot Falls canyon [<https://www.stav.kp.ru/daily/27424/4624519/>].

Here are examples of road accidents on the mountain roads of the Republic of Dagestan over the past year.

On July 3, 2022, a car with six tourists, approaching the village of Kurush, fell into a ravine. As a result of the incident, the driver of the car received serious injuries, and the tourists received minor and moderate injuries. The Land Cruiser 200 was driven by an experienced local driver, but nevertheless, when driving uphill due to weather conditions, the driver lost control⁸ (Pic. 2).

On July 22, 2022, on the outskirts of the village of Khunzakh, a Datsun car overturned from a height of more than 90 meters into the

canyon of the Tobot waterfall. A 35-year-old resident of the Orenburg region was driving, his wife and their two young children were passengers. All four died on the spot⁹ (Pic. 3).

On June 14, 2022, in the village of Mitliurib, Shamil district of Dagestan, a Volkswagen Tiguan fell off a 100-meter cliff. A woman tourist from Nizhny Novgorod died after having lost control. An 11-year-old child travelling with her in the car was hospitalised¹⁰ (Pic. 4).

On September 29, 2022, the driver of a KamAZ truck, according to preliminary

⁸ A car with six tourists fell into a ravine in Dokuzparinsky district. In Russian. [Electronic resource]: <http://erenlar.ru/news/media/2022/7/3/v-dokuzparinskom-rajone-mashina-s-shestyu-turistami-oprokinulas-v-uschele/>. Last accessed 27.11.2022.

⁹ A family from Orenburg crashed in the mountains of Dagestan. In Russian. [Electronic resource]: <https://rusdtp.ru/semya-iz-orenburga-razbilas-v-gorah-dagestana/>. Last accessed 28.11.2022.

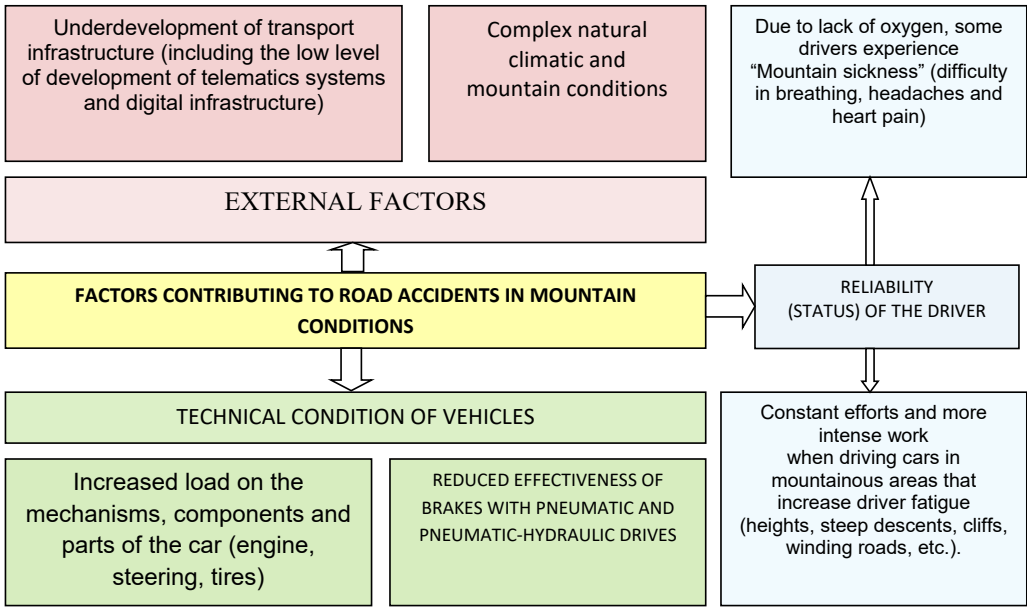
¹⁰ A car with tourists flew off a cliff in Dagestan. A woman died. In Russian. [Electronic resource]: <https://www.fontanka.ru/2022/06/14/71408972/?ysclid=lnygmvu3lq432147646>. Last accessed 28.11.2022.



Pic. 4. A Volkswagen Tiguan fell off a 100-meter cliff.



Pic. 5. A KamAZ car, due to a failure of the braking system on a descent, collided with three cars.



Pic. 6. Factors contributing to the occurrence of road traffic accidents in mountainous conditions [performed by the authors].

information, due to a failure of the brake system on a descent, lost control and collided with a passenger minibus, after which he collided with the LADA Niva and VAZ-2109 cars. As a result of the accident, the driver of the truck and three passengers of the minibus died at the scene. Another 10 participants in the accident were brought to medical institutions in Makhachkala with various injuries¹¹ (Pic. 5).

¹¹ In Dagestan, one of the victims of an accident with a minibus remains in serious condition. In Russian. [Electronic resource]: <https://tass.ru/proisshestiya/15913905?ysclid=lnyh8c8q8t139153550>. Last accessed 28.11.2022.

Features of Ensuring Road Traffic Safety in Mountain Conditions

The share of mountain roads in the Republic of Dagestan is 80 % of the total length of roads, which is about 8 thousand km.

Based on the location above the sea level and operating conditions of vehicles, the relief of Dagestan can be conditionally divided into four parts: flat – up to 500 m, hilly – 500–1000 m, mountainous – 1000–2000 m and high-mountainous – more than 2000 m above sea level.

On mountain roads there are a large number of ups and downs, dangerous turns with limited





Pic. 7. Mountain roads.

visibility, narrow sections of roads where oncoming traffic is difficult or impossible.

The fear of individual drivers, especially motor tourists, to drive in mountainous conditions, thin air, as well as high requirements for traffic safety require drivers to be in good health and have excellent driving experience.

Let us consider the factors contributing to the occurrence of road traffic accidents in mountainous conditions (Pic. 6).

In the mountains of Dagestan, there are currently roads on which oncoming traffic is difficult or impossible due to the fact that there is only a single lane for traffic. On such roads, one of the drivers will have to reverse until the roadway widens, which is a dangerous manoeuvre not only for tourists, but also for local drivers. Such sections of roads are found, for example, in Charodinsky, Laksky, Agulsky, Khunzakhsky, Rutulsky and other districts of the Republic. The same section of road with a single lane is found on the Glavryba – Boat Station segment with a length of 12 km, where there is a large flow of tourists throughout the year. There are chasms on the segment that are more than 100 m deep (Pic. 7).

These factors contribute to the occurrence of road traffic accidents, and the severity of the consequences of RTAs increases significantly.

Digital Infrastructure and Telematic Systems to Ensure Traffic Safety on Mountain Roads

Problems of ensuring safety on mountain sections of roads can be solved by using digital infrastructure and telematic systems for vehicles carrying out mountain transportation [4–6].

Fields of implementation of telematic systems in urban passenger transport and of development of transport digital infrastructure have been widely studied and described in the works of D.Sc. (Eng), Professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University V. M. Vlasov.¹²

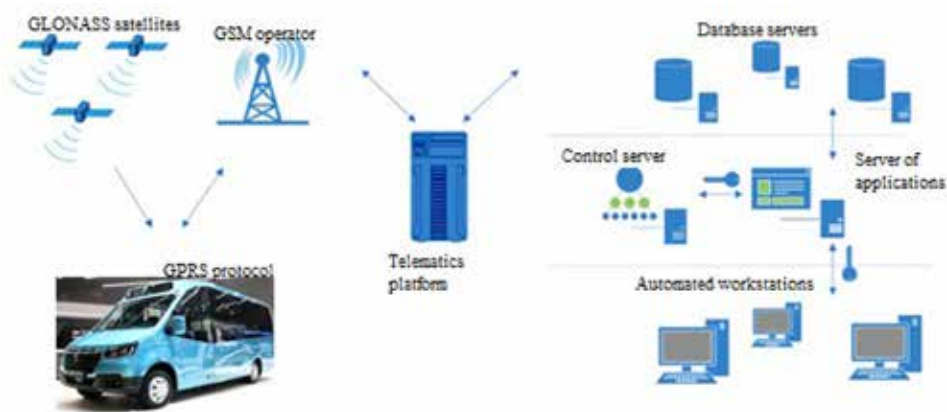
Issues of using digital infrastructure in logistics and development of modern automated control systems in transport are considered in the scientific works of a coauthor of the article, D. Sc. (Eng), Professor N. A. Filippova, including those related to development of TLC (transport and logistics centre), centralisation of planning systems for multimodal cargo transportation to ensure safety, reliability and management of transportation processes [7–9].

An automated system for managing transport mobility in mountainous areas and difficult climatic conditions, proposed by coauthor, Prof. Filippova N.A. for the conditions of Tajikistan can be recommended for implementation when organising passenger transportation in the mountainous conditions of Dagestan (Pic. 8).

In this case, the telematics platform may be configured as the Situation Centre (monitoring department) within the Road Traffic Management Centre (TMC) of the Republic of Dagestan, which is planned to be launched in 2023.

Vehicle monitoring includes displaying the location of vehicles at any time with grouping

¹² Vlasov, V. M., Efimenko, D. B., Bogumil, V. N. Application of digital infrastructure and telematic systems in urban passenger transport: Textbook. Moscow, INFRA M publ., Moscow, 2018, 352 p. ISBN: 978–5–16–013194–8.



Pic. 8. Automated system for managing transport mobility in the mountainous areas of the Republic of Dagestan [authored by N. A. Filippova].

according to various criteria (fleet, type of transport, on-job/off-job, special objects), communication with drivers, complete information about the vehicle in real time, weather in real time with a forecast for the current day anywhere in the country (including wind speed and direction, possible precipitation and air humidity),¹³ control of operational tasks with colouring of geofences in real time depending on whether they are visited at the moment [10; 11].

Based on the research of a coauthor, Prof. Filippova N.A. and the analysis carried out by the coauthors regarding the mountain conditions of Dagestan, measures were proposed to minimise risks when organising and managing passenger transportation. They include both external factors (climatic and mountain conditions, level of development of transport infrastructure, social factors) and internal ones (reducing travel and transportation time, ensuring technical condition of vehicles during transportation, ensuring the reliability of personnel involved in the organisation and implementation of transportation) [12; 13].

Currently, to ensure safety of transportation and road traffic in the mountainous areas of Dagestan, road maintenance services and the State Traffic Safety Inspectorate of the Republic of Dagestan are carrying out certain activities and organisational and technical work, which include not only standard and typical activity to

install road signs and markings, but also «digitalisation» of transport.¹⁴ These include:

Installation of road warning, prohibition and information signs, primarily in dangerous areas.

Installation of fences with various types of reflectors, as well as protective barriers.

Installation of lighting equipment on dangerous sections of roads (works are scheduled for a long period).

Installation of cat's eye retroreflectors on the roadway (work is planned for the future).

Installation of «smart pedestrian crossings» (installed so far in 5 places in Dagestan, including 3 in mountainous areas).

Installation of two comprehensive road monitoring stations for meteorological data (CRMS MD). Installed so far on 2 segments: 1) Makhachkala – Buinaksk – village Levashi – village Verkhniy Gunib, 2) Buinaksk – village Gimry – village Chirkata.

The automatic weather station is designed to record basic meteorological parameters (Infometeos LLC): air temperature and humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction, precipitation (snow, rain, hail, freezing rain, drizzle, sleet are distinguished), CO₂ content (Pic. 9).

CRMS MD can also provide monitoring of the condition of the road surface and its parameters, analysis of traffic flows, identification of the type of vehicle, characteristics of traffic

¹³ Vartanov, F. V., Veremeenko. E. G. Information technology to ensure cargo transportation [Informatsionnye tehnologii po obespecheniu gruzovykh perevozok]. Engineering journal of Don, 2018, Iss. 1. [Electronic resource]: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_106_veremeenko-vartanov.pdf_3beda71350.pdf. Last accessed 30.03.2023.

¹⁴ Reforming and digitalisation of public transport of Makhachkala were discussed by the Government of Dagestan. In Russian. [Electronic resource]: https://riadagestan.ru/news/the_government_of_the/reformirovanie_i_tsifrovizatsiyu_obshchestvennogo_transporta_makhachkaly_obsudili_v_pravitelstve_dagestana/?ysclid=lnyhvn8et635567491. Last accessed 28.11.2022.





Pic. 9. Sensor for recording basic meteorological parameters.



Pic. 10. Road surface condition sensor.

flows by each lane, video recording of road traffic accidents and saving a video fragment for examination. Sensors for measuring the condition of the road surface, included in the CRMS MD, are designed to carry out remote measurements of the temperature of the surface of the road surface, determining the thickness of the layer of water, ice and snow on the road surface (Pic. 10).

Information from CRMS MD is processed using software and then transmitted to the data collection centre in real time. This information is used for various purposes for publishing on the Internet, analysing the current situation, developing forecasts, etc.¹⁵

Installation of information boards (2 pieces installed so far, see Pic. 11). The cost of one U-shaped board is approximately 11,5 million rubles.

Installation of cameras for photo-video recording of violations (regarding exceeding speed limit and trespassing solid line). Currently, 77 cameras are installed throughout the Republic.

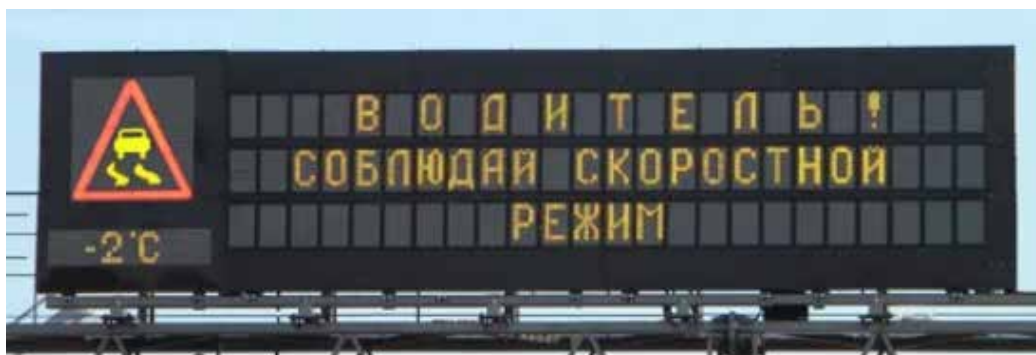
The Ministry of Transport of Dagestan has carried out preparatory work to connect 20 complexes of automatic photo-video recording of traffic offenses to the software called «Web».

Creation of the Situation Centre (monitoring department) in the Traffic Management Centre (TMC) of the Republic of Dagestan. It is planned to install 50 video surveillance cameras in the

¹⁵ Use of video surveillance systems in transport. In Russian. [Electronic resource]: <https://radioterminal.ru/resheniya/videonablyudenie-na-transporte/ispolzovanie-sistem-videonablyudeniya-na-transporte>. Last accessed 30.03.2023.



Pic. 11. Information board [TMC of the Ministry of Transport of the Republic of Dagestan].



Pic. 12. Light display of variable information.

Republic, recording the condition of the road, weather, information about road load, etc. (Video analytics).

As a result of the research and analysis of this problem, the authors of the paper proposed the following organisational, technical and engineering measures based on telematics systems, including digital infrastructure, aimed at improving transportation and road traffic safety in mountainous conditions¹⁶:

Opening of a Situation Centre (with a traffic monitoring system) in the Road Traffic Management Centre of the Republic of Dagestan.

Implementation of an automated management system of transport mobility in mountainous conditions based on the Situation Centre's facilities.

It is advisable to extend the use of road information boards linked to the Situation Centre, as well as of automatically controlled road warning, prohibition and information signs on dangerous sections of roads: in places of possible falling stones, strong winds, fog, abysses, steep slopes or descent, limited visibility, as well as to regulate oncoming traffic on a single-lane road in mountainous areas. Signs must be controlled through the Situation Centre.

Light displays of variable information (dynamic information boards) will inform drivers about the location of travel objects (settlements, tourist centres, etc.), weather, road conditions, avalanches, landslides, road traffic accidents and traffic jams, about the nearest motels and shops, and will provide advertising information, and also warn drivers about the inadmissibility of traffic violations and the dangers when driving on mountain roads (Pic. 12).

¹⁶ A digitalisation strategy will be developed in Dagestan. In Russian. [Electronic resource]: <https://mkala.mk.ru/politics/2022/10/19/v-dagestane-vyrabotayut-strategiyu-cifrovizacii-transportnoy-otrasli.html>. Last accessed 29.11.2022.



Pics. 13, 14. Dynamic information boards.

Installation of additional CRMS MD in mountainous areas, connecting them to the Situation Centre for online transmission of information to drivers about the road situation along the route (Pics. 13, 14).

Updating of the satellite online navigation map for car drivers. This includes, for example, the use of voice messages («100 m from here there is a cliff, be careful», «In 100 m there is a precipice», «In 100 m there is a dangerous turn to the right», «There is a possibility of rocks falling in the area, be careful», «After next 100 m begins a narrow road with 1 lane, be careful», «After 100 m there is the beginning of a steep



ascent», «After 100 m there begins a steep descent»), etc. Online navigation voice messages and dynamic boards should also inform drivers about the correct choice of speed or gear on steep descents, climbs and dangerous sections of roads. In particular, the message «There is a steep descent ahead, driving in 1st gear is recommended. Do not turn off the engine!», «There is a steep climb ahead, driving in 1st gear is recommended».

Equipping road barriers with retroreflectors (reflectors) of various types, including LED ones, installing «cat's eye» retroreflectors on the roadway in cases of lack of artificial lighting, in low light conditions, in the dark and in foggy conditions.

CONCLUSION

The implementation of the listed organisational, technical and engineering measures will improve safety of passenger transportation on the mountain roads of Dagestan, prevent the occurrence of road traffic accidents, reduce their number and severity, ensure the effective functioning of navigation systems and an automated transport mobility management system.

REFERENCES

1. Vlasov, V. M., Baitulaev, A. M., Bogumil, V. N. Digital infrastructure and telematic systems for monitoring work on the maintenance of highways [Tsifrovaya infrastruktura i telematicheskie sistemy kontrolya rabot po sodержaniyu avtomobilnykh dorog]. Moscow, LLC «NIC INFRA-M» publ., 2021, 229 p. ISBN: 978-5-16-015013-0. DOI: 10.12737/1014643.
2. Volichenko, O. V., Baichubekova, B. T. Principles for creating a «smart city» environment [Printsipy sozdaniya sredi «umnogo goroda»]. Vestnik KRSU, 2019, Vol. 19, Iss. 12, pp. 119–126. EDN: BAESBA.
3. Karchagin, E. V. Smart cities and the problem of equity [Umnite goroda i problema spravedlivosti]. Sotsiologiya goroda, 2019, Iss. 2, pp. 14–22. EDN: KSPJUB.
4. Sayidkamolov, I. R., Kulikov, A. A. Improving the organisation of passenger transportation on city routes served by MUP VPATP No. 7 by increasing the efficiency of the formation of the route network. XXV Regional Conference (November 24–27, 2020): Proceedings of the conference. Volgograd, VolgSTU, 2021, pp. 76–78. EDN: YMYFTE.

5. Sayidkamolov, I. R., Kulikov, A. A. Formation of a transformed urban route network of public passenger transport in Volgograd, taking into account new school routes of the fifth lyceum and the first gymnasium. XXVI Regional Conference (November 16–28, 2021): Proceedings of the conference. Volgograd, VolgSTU, 2022, pp. 54–56. EDN: WZMGYD.

6. Taranenko, I. S., Batyrova, D. E. Application of modern information technologies in methods for reducing childhood injuries in a smart metropolis. XXIV Regional Conference of Young Scientists and Researchers of Volgograd region. Volgograd, VolgSTU, 2020, pp. 127–129. EDN: OKJOZH.

7. Filippova, N. A., Vlasov, V. M., Belyaev, V. M. Navigation Control of Cargo Transportation in the North of Russia. World of Transport and Transportation, 2019, Vol. 17, Iss. 4(83), pp. 218–231. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-4-218-231.

8. Filippova, N. A., Bezyazychnaya, T. A. Methods and means of managing information flows in transport systems of varying complexity [Metody i sredstva upravleniya informatsionnymi potokami v transportnykh sistemakh razlichnoi slozhnosti]. Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh, 2016, Iss. 4 (21), P. 4. EDN: YVNDOR.

9. Filippova, N. A. Prospects for development of modern automated transport mobility management systems in mountainous areas and difficult climatic conditions. International conference «Logistics and its advantages in the development of transport links between Tajikistan and the countries of the region.» October 18–19, 2022.

10. Filippova, N. A., Vlasov, V. M. Hierarchical levels of management of a multimodal transport system for the transportation of northern goods [Ierarkhicheskie urovni upravleniya multimodalnoi transportnoi sistemoi dlya perevozkh gruzov severnogo zavoza]. Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI), 2019, Iss. 4 (59), pp. 99–102. EDN: QYGDNN.

11. Filippova, N. A., Shutovskaya, G. A. Analysis of measures to reduce the impact of motor transport on the environment [Analiz meropriyatiy po snizheniyu vozdeystviya avtotransporta na okruzhayushchuyu sredu]. Youth in science: new arguments. Collection of scientific works of VI International Youth Competition, 2017, pp. 172–175. EDN: ZBPFZX.

12. Filippova, N. A., Procdilo, S. B. Analysis of Measures to improve the competitiveness of Russian road hauliers in international traffic. Norwegian Journal of development of the International Science, 2017, Vol. 1, Iss. 4, pp. 74–76. [Electronic resource]: <https://www.calameo.com/read/005798408b5a756030dc5>. Last accessed 17.05.2023.

13. Filippova N. A., Suslakova, T. I., Bezyazychnaya, T. A. Analysis of the current state of transport infrastructure [Analiz sovremennogo sostoyaniya transportnoi infrastruktury]. Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh, 2017, Iss. 2 (23), P. 8. EDN: YVNEEY.

Information about the authors:

Filippova, Nadezhda A., D.Sc. (Eng), Professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow; North-Eastern Federal University in Yakutsk, Yakutsk, Russia, umen@bk.ru.

Abakarov, Abakar A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at Makhachkala branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Makhachkala, Republic of Dagestan, abakarmadi@list.ru.

Amirov, Alikadi T., Ph.D. (Eng), Associate Professor at Makhachkala branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Makhachkala, Republic of Dagestan, alikasi77@yandex.ru.

Igitov, Shamil M., Ph.D. (Eng), Associate Professor at Makhachkala branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Makhachkala, Republic of Dagestan, shamiligitov@yandex.ru.

Article received 30.01.2023, enlarged 28.08.2023, approved 14.09.2023, accepted 02.10.2023.



Legal Regulation of Military Transport Obligation in the Russian Federation



Ivan V. Kholikov

Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.

✉ iv_kholik@mail.ru.

Ivan V.KHOLIKOV

ABSTRACT

The article examines the essence, characteristics of normative legal regulation and problematic aspects of implementation of military transport obligation in the Russian Federation. The author notes that in difficult modern conditions, fulfilment by citizens and organisations of their constitutional responsibilities to ensure the defence of the country and the security of the state is an important area of preserving the sovereignty and territorial integrity of Russia. The social, historical and legal roots of military transport obligation are described. It has been studied that in Russia, the legal acts at the federal level have established necessary regulatory and legal requirements, characterised by completeness, accessibility for

acquaintance and general elaboration of regulated issues. Military transport obligation in the country has been established to provide state armed forces with vehicles during the period of mobilisation and during wartime. The paper substantiates that military transport obligation appears to be an important structural and functional construct in the material, technical and regulatory support of the country's defence capability and state security. The author has formulated specific proposals for improving the current state legal regulation of the issue under consideration, to increase the level of mobilisation readiness of vehicles and ensure better performance of military transport obligation.

Keywords: transport military transport obligation, mobilisation preparation, mobilisation, vehicles, legal acts, cost compensation.

For citation: Kholikov, I. V. Legal Regulation of Military Transport Obligation in the Russian Federation. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 217–222. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-8>.

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

In the modern conditions of transformation of the world legal order, military problems of international law are become more actual [1], since they are intended to regulate a wide range of different legal relations arising from the need to counter new multi-vector threats to international security, in general, and the national security of Russia, in particular [2]. International law and international humanitarian law have been experiencing crisis trends for some time now. We are forced to observe numerous practical evidence of this, as well as a real deepening of contradictions between countries everywhere, which is also noted in the scientific literature [3–6].

Military security and military organisation of the state are closely interconnected with certain institutions and sections of military law, including recruitment for a military organisation, military service, legal responsibility, socio-legal institutions, logistics, etc. [7].

One of the most important components of mobilisation preparation and mobilisation in Russia is military transport obligation, the essence of which is to carry out a set of measures to account, prepare, reserve and provide vehicles to the Armed Forces and other troops and constantly ensure their performance and maintenance. Considering the continuing military threats to the Russian Federation, these issues are objectively becoming more actual, forcing attraction of closer attention from both the state and researchers [8–14].

In this regard, constructive criticism in the review of the fundamental three-volume monograph «Military Law» edited by Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences A. N. Savenkov [4–5], published this year, seems logical. Thus, the reviewers noted that the most acute problems seem to be accounting and preparation for transfer, the actual transfer of equipment to both legal entities and individuals, its further use and return, as well as payment of compensation in case of its damage or destruction [15].

Being one of the co-authors of this monograph and completely agreeing with the reviewers, in this article the author tried to compensate for this shortcoming. Thus, the *objective* of the article is in-depth study of the essence and characteristics of legal regulation and problematic issues of the implementation of military transport obligation.

RESULTS

Regulatory and Legal Characteristics of Military Transport Obligation

Legal acts at the federal level in the Russian Federation have established the necessary regulatory and legal requirements, characterised by completeness, accessibility for acquaintance and general elaboration of regulated issues. Military

transport obligation in our country was established to provide state armed forces with vehicles during the period of mobilisation and during wartime. To implement military transport obligation, vehicles must be understood as railway, water, air, pipeline, automobile, horse-drawn and pack transport, motorcycles, fishing and special vessels, tractors, road-building, hoisting and other machines and mechanisms.

The legal basis for military transport obligation is formed by the Federal constitutional laws «On martial law» and «On the state of emergency», the Federal laws «On mobilisation preparation and mobilisation in the Russian Federation», «On defence», «On countering terrorism» and the Decree of the President of Russia dated October 2, 1998 No. 1175, «On approval of the Regulations on military transport obligation», which establish that military transport obligation applies to federal executive authorities; executive authorities of the federal constituent entities of the Russian Federation and local government authorities; organisations, regardless of their form of ownership, that are owners of vehicles; citizens who are vehicle owners.

Historical and Legal Aspect of Military Transport Obligation

It should be noted that the military transport obligation is not something new for Russian legislation. It came to it with some changes from Soviet legislation, in which it had been first established by the Decree of the Central Executive Committee and the Council of People's Commissars of the USSR of January 11, 1924, «On military horse and military cart conscription» and the Resolution of the Central Executive Committee and the Council of People's Commissars of the USSR of 22.02.1924 «On military motor transport obligation». These legislative acts were declared repealed by the Decree of the Presidium of the USSR Supreme Soviet of May 15, 1970, No. 5118-UP, which introduced the Regulations «On Military Transport Obligation» from June 1, 1970.

Military transport obligation in accordance with these Regulations was provided for not only during wartime and during mobilisation, but also in peacetime, «when transferring troops to a position of certain degrees of combat readiness or in other emergency situations». It applied to owners of railway, sea, river, air, and pipeline transport, to owners of fishing and special vessels, tractors, road construction and lifting and transport machines and mechanisms, as well as to ports, marinas, airports, airfields, oil depots, transshipment fuel depots, transport maintenance enterprises and other organisations that ensure operation of transport vehicles.

Vehicles were used temporarily or confiscated from their owners and transferred to the armed

forces of the USSR by ministries, departments, as well as enterprises, institutions, and organisations free of charge. For vehicles belonging to collective farms and individual citizens, payment of their value was expected according to procedure determined by the Council of Ministers of the USSR.

Inspection of the technical condition of motor vehicles intended for transfer to the armed forces of the USSR was carried out by the State Automobile Inspectorate of the USSR Ministry of Internal Affairs with participation of bodies of the USSR Ministry of Defence [16].

Contents of Military Transport Obligation

Currently, federal executive authorities, executive authorities of federal constituent entities of the Russian Federation, local government authorities and organisations perform military transport obligation in peacetime by carrying out activities related to registration of vehicles, as well as by advance preparation of vehicles provided to troops and authorities and ensuring the operation of these vehicles in accordance with mobilisation tasks. During the period of mobilisation and in wartime, it is implemented by providing troops, units and bodies with vehicles and ensuring their work in accordance with mobilisation tasks.

For these purposes, mobilisation tasks are established by the Government of the Russian Federation for federal executive authorities, executive authorities of federal constituent entities of the Russian Federation; by heads of executive authorities of the federal constituent entities of the Russian Federation for local government authorities, which ensure their implementation by organisations located on their territories. In addition, such tasks are established for organisations according to the procedure determined by the regulatory legal acts of the Russian Federation.

The list of vehicles provided to troops, units and bodies is established by the Order of the Russian Ministry of Defence dated March 14, 2014, No. 151, «On approval of the List of vehicles provided to the Armed Forces of the Russian Federation, other troops, military units and bodies, as well as for special units created for wartime, and the Procedure for recording vehicles provided to the Armed Forces of the Russian Federation, other troops, military units and bodies, as well as special units created for wartime»¹ and by the Order of the Russian Ministry of Defence dated January 21, 2014, No. 15, «On approval of lists of water transport, special vessels and vessels of the fishing fleet provided to troops, military units and bodies, and the Procedure for registering water transport,

special vessels and vessels of the fishing fleet in the Armed Forces of the Russian Federation» (as amended and complemented)².

The Order of the Ministry of Defence of Russia dated June 10, 2021, No. 342, made a number of changes to the of the Russian Ministry of Defence of March 14, 2014, No. 151, regarding the List of vehicles provided to the Armed Forces of the Russian Federation, other troops, military units and bodies, as well as special units created for wartime (Appendix No. 1) and the Procedure for recording vehicles provided For the Armed Forces of the Russian Federation, other troops, military units and bodies, as well as special units created for wartime (Appendix No. 2)³.

Federal executive authorities, executive authorities of federal constituent entities of the Russian Federation, local government bodies and organisations prepare and ensure operation of vehicles provided to troops, units and bodies. The Russian Ministry of Defence, in agreement with the Russian Ministry of Economic Development and the Russian Ministry of Finance, determines a list of measures and mandatory requirements, as well as forms of documents defining mobilisation readiness and ensuring the operation of vehicles provided to troops, units and bodies.

The selection of vehicles of organisations to ensure mobilisation readiness should be carried out jointly with representatives of the troops, units and bodies to which they are to be supplied. For these purposes, vehicles must be kept in a state of readiness for provision to troops, units and bodies. Organisations are required to carry out preparatory measures for installing special equipment on the presented vehicles, as well as for checking the availability and technical condition of vehicles in accordance with the requirements of current instructions and rules. To maintain vehicles in good condition, the accumulation, storage and renewal of stocks of material assets of the mobilisation reserve and other property are carried out in accordance with mobilisation tasks.

In necessary situations, organisations must ensure that troops, units and bodies are provided with information about availability and technical condition of vehicles. To allow inspections of the mobilisation readiness of vehicles, organisations are required to provide access to representatives of federal executive authorities, executive authorities of federal constituent entities of the Russian Federation, local government authorities, military commissariats, military command and control bodies and of troops, units and bodies. The procedure, transfer points and timing for provision of vehicles to troops, formations and bodies are

¹ [Electronic resource]: <https://garant.ru/products/ipo/prime/doc/70606938/>.

² [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/70706938/>.

³ [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/402833506/>.



established by the Ministry of Defence of the Russian Federation, the relevant information is communicated to organisations in peacetime.

Organisations provide vehicles to troops, units and bodies on time at transfer points with appropriate documentation, in technically sound condition. Delivery of vehicles to transfer points, carrying out preparatory measures for the installation of special equipment on them, re-equipment or retrofitting of vehicles are carried out by the forces and means of organisations.

In peacetime, troops, units and bodies have the right to attract vehicles intended for provision to them (except for vehicles owned by citizens). This occurs in the case of exercises and training on mobilisation deployment and implementation of mobilisation tasks, as well as during experimental activities for conversion and (or) retrofitting of vehicles, relevant tests of special equipment installed on them, and checks of the readiness of vehicles for provision to troops, units and bodies. The number of vehicles involved in these cases by troops, units and bodies, and the timing of their involvement are determined by the Government of the Russian Federation.

Military transport obligations are fulfilled by citizens in wartime by providing troops, units and bodies with the vehicles they use. At the same time, citizens are issued documents confirming the provision of vehicles.

Lists of vehicles to be provided to troops, units and bodies by citizens are established by the Ministry of Defence of the Russian Federation. The procedure for registering citizens' vehicles is determined by the Ministry of Defence of the Russian Federation in agreement with the authorities carrying out state registration of vehicles. For these purposes, in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation dated August 12, 1994, No. 938, «On state registration of motor vehicles and other types of self-propelled equipment on the territory of the Russian Federation», a joint Order of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation and the Ministry of Defence of the Russian Federation dated September 21, 2009, No. 724/ 881, «On the procedure for interaction between units of the State Road Safety Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation and military commissariats when providing information about vehicles registered for citizens of the Russian Federation and subject to registration in military commissariats» was issued⁴.

Not long ago, registration, changes in registration data associated with a change in the type (purpose) of vehicles or information about the owner, deregistration of cars, car trailers and semi-

trailers intended for them, buses, truck cranes, heavy-duty motorcycles with sidecars belonging to legal entities, as well as the specified actions in relation to all-terrain passenger cars (all-wheel drive) of domestic production, trucks and special vehicles on truck chassis, trailers and semi-trailers for them, truck cranes, buses and heavy-duty motorcycles with sidecars owned by individuals, were carried out after the appropriate marks from the military commissariat, but currently this is done without participation of vehicle owners.

The military transport obligation does not apply to diplomatic missions and consular offices of foreign states, foreign and international organisations, foreign citizens and stateless persons.

Inspection of the technical condition of vehicles provided to troops, units and bodies is carried out by divisions of the State Road Safety Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation and other bodies of state supervision and control over the technical condition of vehicles in the Russian Federation with participation of representatives of troops, units and bodies.

Financing the Performance of Military Transport Obligation

Financing and stimulation of performance of military transport obligation are carried out in accordance with federal laws and other regulatory legal acts of the Russian Federation. Compensation by the state for losses incurred by organisations and citizens in connection with provision of vehicles and other property owned by them to troops, units and bodies is carried out according to the procedure determined by the Government of the Russian Federation. Citizens and private enterprises are paid compensation based on the book (residual) value of transport. The state enterprise provides transport at the expense of its funds.

Decree of the Government of the Russian Federation dated April 4, 2003, No. 195, approved the «Rules for provision of subsidies to transport organisations that purchase automobile equipment to replenish the rolling stock of military-type automobile convoys, within the framework of the Road Maintenance subprogram of the state program of the Russian Federation «Development of the Transport System».

Subsidies are provided by the Federal Road Agency at the expense of federal budget funds allocated to it for the purposes specified in these Rules, under the subsection «Transport» of the section «National Economy» of the classification of budget expenditures, for each unit of Russian-made automobile equipment and for each unit of automobile equipment produced in other states of the Customs Union, with a year of manufacture no earlier than 3 years before the date of submission

⁴ [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/12171031/>.

of the application for a subsidy, in the amount of 190 thousand rubles for buses up to 7,5 meters long inclusive and 475 thousand rubles for buses over 7,5 meters long, as well as trucks with a carrying capacity of at least 8 tons, provided that it is purchased and enrolled in the prescribed manner in the staff of a military-type automobile convoy and the organisation does not have overdue debts on payments to the federal budget and state extra-budgetary funds.

In addition, there are features of implementation of military transport obligation regarding certain modes of transport. In particular, in accordance with the Federal Law of February 27, 2003, No. 29-FZ, «On the Peculiarities of Management and Disposal of Railway Transport Property», the Government of the Russian Federation exercises on behalf of the Russian Federation the powers of a shareholder of a single economic entity in accordance with the legislation of the Russian Federation on privatisation and joint stock companies. A single economic entity ensures the implementation of measures for mobilisation preparation, including technical coverage of railway transport facilities, civil defence in accordance with the established task and is responsible for their implementation, and also provides internal affairs bodies in transport and special transportation bodies, military transport bodies necessary property in accordance with the legislation of the Russian Federation.

The expenses of a single economic entity associated with implementation of the measures specified in this paragraph are compensated from the federal budget.

Military transport obligation is performed by the sea and river fleets based on the Decree of the Government of the Russian Federation of July 23, 2004, No. 371, «On approval of the Regulations on the Federal Agency for Maritime and River Transport» and other regulatory legal acts that provide for mobilisation preparation, as well as control and coordination of activities in this area [17].

Problematic Issues in Implementation of Military Transport Obligation

As mentioned above, there are some problematic issues that negatively affect the state of mobilisation readiness of vehicles and the performance of military transport obligation by officials, legal entities and citizens.

There can be observed a lack of incentive measures aimed at ensuring high-quality implementation of the mobilisation task by organisations. For example, there are no uniform approaches between government bodies of the federal constituent entities of the Russian Federation and local government bodies regarding practices of providing tax benefits to organisations. At the same time, the Tax Code of the Russian Federation

reserves the rights to provide benefits for transport tax precisely to the state authorities of the federal constituent entities of the Russian Federation, and for land tax – to local government bodies.

A separate problem, which has important, including social, significance, is preparedness of ambulance columns to carry out the tasks of transporting wounded and sick military personnel in wartime. The procedure for re-equipping buses in the relevant organisations has not been approved, and, as a result, no decision has been made on organisation of industrial transport and sanitary equipment developed in the framework of relevant development work in peacetime, as well as the procedure for its storage.

The issue of compensation for costs to organisations and citizens in connection with provision of vehicles belonging to them to the Armed Forces remains also problematic to some extent. The reducing number of Kamaz and Ural vehicles with a carrying capacity of 6–10 tons of cross-country ability in organisations may also have a negative impact.

For 16 years, starting in 2007, low levels of administrative fines might potentially contribute to the commission of administrative offenses in the field of military transport obligation. One would like to hope that the amendments to the Code of the Russian Federation on Administrative Offenses, adopted in July 2023 and come into force on October 1, 2023, to tighten administrative liability in terms of increasing administrative fines by twenty times, will change the situation for the better⁵.

CONCLUSION

Military transport obligation seems to be an important structural and functional construct in the material, technical and regulatory support of the country's defence capability and state security. Constitutional norms establish that protecting the Motherland is the duty and responsibility of any citizen. Therefore, military transport obligation is a necessary contribution that citizens and organisations can and must make to support the Armed Forces and other troops during difficult socio-economic period and in the context of ongoing sanctions pressure from behalf of the unfriendly states. At the same time, the principles of constitutionally significant principles of democracy, humanity and proportionality, characteristic of domestic legislation, are manifested in the fact that fulfilment of military transport obligation is not gratis.

A consistent study of the historical, legal and regulatory aspects carried out in the paper allows

⁵ On amendments to the Code of the Russian Federation on Administrative Offenses: Federal. Russian Law dated July 31, 2023, No. 404-FZ. Rossiyskaya Gazeta, 2023, August 3.



us to assert that the existing (current) legal framework regulating the implementation of military transport obligation is, in general, sufficient.

As proposals to improve the current state legal regulation of the issue under consideration, to increase the level of mobilisation readiness of vehicles and ensure better fulfilment of military transport obligation, it seems advisable to carry out a set of legal and organisational measures to clarify and detail the legal regulation of the problematic issues identified above, and also further organise the work of the ministries and departments participating in implementation of military transport obligation with Federal Agency responsible for state reserves to ensure that the necessary volumes of material state reserves are kept stored in peacetime.

REFERENCES

1. Kholikov, I. V., Milovanovich, A., Naumov, P. Yu. Dynamics of Functioning of International Law in the Conditions of Transformation of Modern World Order: Post Non-Classic Approach. *Journal of Russian Law*, 2022, Vol. 26, Iss. 11, pp. 132–148. DOI: 10.12737/jrl.2022.122. EDN: ABBLM.
2. Kholikov, I. V. Current issues of legal support for forces and means of defence and security of Russia in the context of modern challenges and threats [*Aktualnye voprosy pravovogo obespecheniya sil i sredstv oborony i bezopasnosti Rossii v usloviyakh sovremennykh vyzovov i ugroz*]. *Law in the Armed Forces – Military Legal Review*, 2021, Iss. 12 (293), pp. 116–120. EDN: VBEXDG.
3. Gavrilov, S. O., Glebov, I. N., Chukin, S. G. [et al]. Law at the bifurcation point: discussion of the conceptual study on military problems of International Law (Discussion in the format of the «Round Table» based on the materials of Chapter 6 «Military problems of International Law», Volume III of the monograph «Military Law»). *Gosudarstvo i pravo*, 2022, Iss. 12, pp. 59–67. DOI: 10.31857/S102694520023301-2. EDN: XHOVFE.
4. Military Law: Monograph in 3 Vol. [*Voennoe pravo: Monografiya v 3 t.*]. General ed. by A. N. Savenkov, A. V. Kudashkin. Vol. II: Modern state of military law (military law institutions) [T. II: *Sovremennoe sostoyanie voennogo prava (instituty voennogo prava)*]. Moscow, Centre for Legal Communications, 2021, 888 p. EDN: WODYTL.
5. Military law: Monograph in 3 Vol. [*Voennoe pravo: Monografiya v 3 t.*]. General ed. by A. N. Savenkov, A. V. Kudashkin. Vol. III: Main problems and promising directions of military legal research [T. III: *Osnovnye problemy i perspektivnye napravleniya voenno-pravovykh issledovaniy*]. Moscow, Centre for Legal Communications, 2022, 712 p. EDN: SNMELJ.
6. Kudashkin, A., Kholikov, I. Conceptualizing special military operations in contemporary law. *Pathways to Peace and Security*, 2023, Iss. 1 (64), pp. 31–47. DOI: 10.20542/2307-1494-2023-1-31-47.
7. Damaskin, O. V., Kholikov, I. V. Current problems of protecting Russian statehood and national sovereignty in modern conditions [*Aktualnye problemy zashchity gosudarstvennosti i natsionalnogo suvereniteta v sovremennykh usloviyakh*]. *Representative power – XXI century: legislation, comments, problems*, 2017, Iss. 4 (155), pp. 1–5. EDN: YZKCCV.
8. Bukhtiyarov, I. V., Kholikov, I. V., Bolshakova, V. M., Naumov, P. Yu. Experience of conceptualization of military aspects of medical law (discussion of chapter 14 of the textbook «Medical Law of Russia», editor-in-chief A. A. Mokhov, Prospect Publishing House, 2022, – discussion materials). *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 2023, Vol. 63, Iss. 1, pp. 67–73. DOI: 10.1089/1026-9428-2023-63-1-67-73. EDN: FWIGUF.
9. Damaskin, O. V., Kholikov, I. V. Current issues of legal support for the forces and means of defence and security of Russia in the conditions of modern military conflicts [*Aktualnye voprosy pravovogo obespecheniya sil i sredstv oborony i bezopasnosti Rossii v usloviyakh sovremennykh voennykh konfliktov*]. *Bulletin of the Academy of Military Sciences*, 2018, Iss. 4 (65), pp. 121–128. EDN: APXXIB.
10. 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.
11. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
12. Kholikov, I. V., Naumov, P. Yu., Bolshakov, V. M. [et al]. Federal state control (supervision) over compliance with legislation in the field of ensuring the safety of fuel and energy complex facilities: a new stage of regulation and enforcement. *Ugol*, 2022, Iss. 10 (1159), pp. 66–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-66-71.
13. 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. EDN: KBLAQ.
14. Zemlin, A., Pishchelko, A., Kharlamova, Yu. Problems of Realisation of Public Oversight in the Field of Transport Counterterrorism Policy. *Kutafin University Law Review*, 2020, Vol. 7, No. 1 (13), pp. 67–78. DOI: 10.17803/2313-5395.2020.1.13.067-078. EDN: YSCBWQ.
15. Glushachenko, S. B., Zelepukin, R. V. Military Legal Knowledge for Future Transport Employees (Review of the Three-Volume Monograph «Military Law»). *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 134–137. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-21-1-16.
16. Khilov, S. V. Problems of legal regulation of military transport obligation in the USSR in the 70–80s [*Problemy pravovogo regulirovaniya voenno-transportnoi obyazannosti v SSSR v 70–80 gg*]. *Bulletin of Volga State Academy of Water Transport*, 2013, Iss. 36, pp. 39–43. EDN: SOAVXD.
17. Sokolov, S. A. Legal foundations of military transport obligation in the Russian Federation [*Pravovie osnovy voenno-transportnoi obyazannosti v Rossiiskoi Federatsii*]. *Bulletin of VGIAT*, 2013, Iss. 36, pp. 118–124. EDN: SOAWDH.

Information about the author:

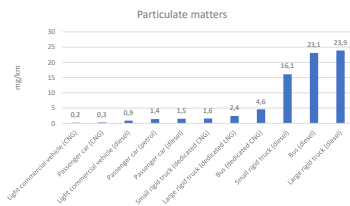
Kholikov, Ivan V., D.Sc. (Law), Professor, Chief Researcher at the Centre of International Law and Comparative Legal Research, Professor at the Department of International Law of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, iv_kholik@mail.ru.

Article received 18.09.2023, approved 28.10.2023, accepted 02.11.2023.



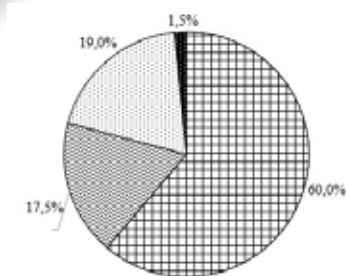
DAMAGEABILITY AND USEFUL LIFE 224

Risk-oriented approach to assessment of the railway transportation assets.



ALTERNATIVE FUEL 232

Scenarios of applicability of gas fuel for road transport and effects for the economy and environment.



ELECTRIC VEHICLES 242

Comparative advantages of the use of electric batteries and hydrogen fuel cells.



BIOFUEL 248

Comparative features of the mixtures with different contents of biofuel.

SAFETY AND SUSTAINABILITY





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-9>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 224–231

Development of Risk-Based Approaches to Determining the Damageability and Useful Life of Railway Transportation Assets



Nikolai A. MAKHUTOV



Mikhail M. GADENIN



Valery S. KOSOV



Dmitry A. KNYAZEY



Nikolai F. KRASYUKOV

*Nikolai A. Makhutov*¹, *Mikhail M. Gadenin*², *Valery S. Kossov*³, *Dmitry A. Knyazev*⁴, *Nikolai F. Krasuykov*⁵

^{1, 2} Institute of Mechanical Engineering named after A. A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences (IMASH RAS), Moscow, Russia.

^{3, 4, 5} JSC «Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock» (JSC «VNIKTI»), Kolomna, Russia.

✉ ⁴ knyazev-da@vnikti.com.

ABSTRACT

Modern problems of railway transport in Russia, such as the general technical condition of transportation assets, and relevant issues of their safe operation, substitution of imported equipment and its components, implementation of the programs of technological development give rise to the need to create new equipment and technologies, constructing schemes for long-term development of transport based on new safety requirements and strategic planning. Current level of developments does not allow to completely eliminate damage, failures and accidents regarding railway transportation assets manufactured in accordance with the current regulatory framework. Solving these problems is possible by identifying the actual state of an object regarding cyclic, corrosion, wear and other damage accumulated during operation, which determines the onset of limit states of the basic elements of an asset, taking into account resource recovery

technologies at various stages of the life cycle, both in standard (design) operating conditions and beyond them.

The article refers to the problems associated with ensuring safe operation of railway transport, with the aim of substantiating based on existing regulatory and technical documents of new approaches to the analysis of damageability, vulnerability of objects and assessment of the risks of accidents and disasters. The development of interaction through a system of new problem statements and regulatory and technical documents, as well as more active involvement in the use and development of the fundamental laws of physics, chemistry, and mechanics of real-life processes in the environment, make it possible to implement new concepts, strategies, and developments of advanced research for technical objects with the use of digital and intelligent technologies.

Keywords: railway transport, rolling stock, locomotive fleet, safety, useful life, service life, life cycle, reliability, accumulation of damage, diagnostics, dangerous state, risks, accidents, disasters.

For citation: Makhutov, N. A., Gadenin, M. M., Kossov, V. S., Knyazev, D. A., Krasuykov, N. F. Development of Risk-Based Approaches to Determining the Damageability and Useful Life of Railway Transportation Assets. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 224–231. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-9>.

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

Implementation of new technology, machinery and rolling stock, the current pace of the comprehensive improvements in railway transport highlights relevance of constructing patterns of its further development based on new requirements for safety and strategic planning.

It equally refers to all the interconnected aspects of railway transportation. For example, as for the locomotive fleet of railways, besides rolling stock itself, there is a need for a certain categorisation of the condition of railway facilities supporting its operation (railway bridges, tunnels, and other artificial structures), of their quantity and stages of operation. In this categorisation, it is important to identify a group of assets intended for long-term operation with damage accumulated in their structural elements.

Among most important factors, one can distinguish innovations, focus on new solutions, new equipment, new vehicles, new technologies that require equally new approaches to determining their reliability and useful life.

Another task is related to the fact that there are imported assets and equipment used at railway transport facilities, and it is necessary to provide for functioning of imported assets with domestic regulatory and technical documents.

It is also important to consider other factors as global change in the natural environment and climate.

The *objective* of the study is to substantiate new system approaches to the analysis of

damageability, reliability of the assets and to the assessment of accidents and disasters.

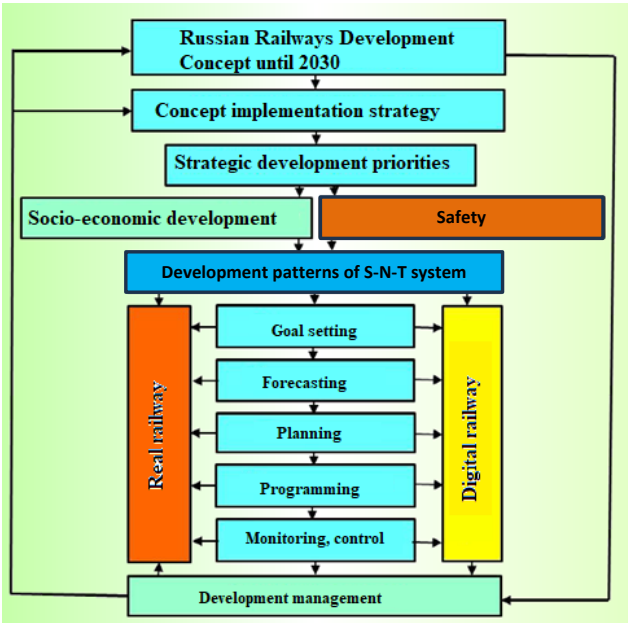
RESULTS

Relevance of Solving Useful Life and Safety Problems

Railway transport should be considered as an integral part of social, state, natural, technogenic systems. Identification of a certain sequence in its development (goal setting, forecasting, planning, programming) is a component of planning to achieve the strategic goals of modern development of a state.

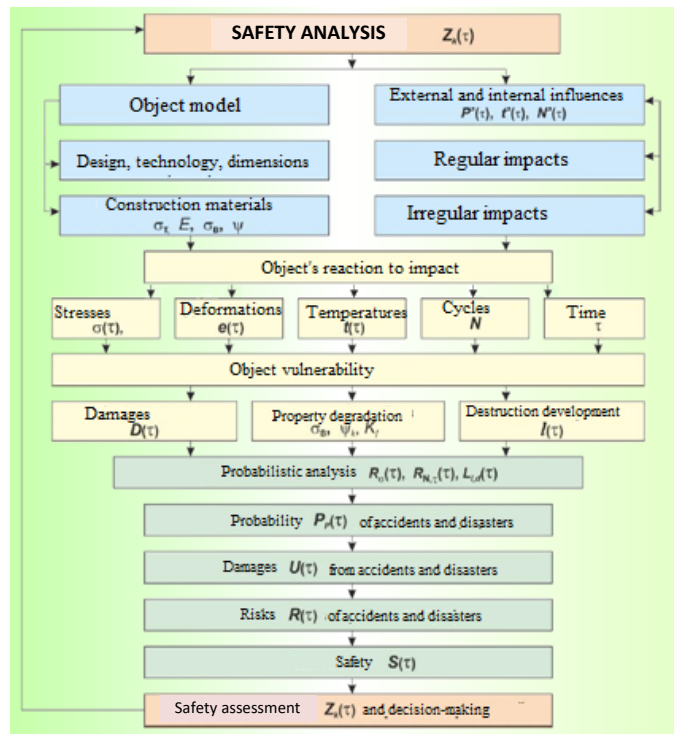
Based on this, we should dwell on the issue of constructing patterns for future development of transport based on new safety requirements and strategic planning (example of JSC Russian Railways, Pic. 1) [1–3]. Here it is important to determine availability of knowledge, real approaches and technologies, big database, hardware systems from the point of view of strategic planning.

In the diagram (Pic. 1) S-N-T is a combination of social, natural, technogenic spheres, determined by indicators of strength, useful life, safety, workload of assets. On the one hand, it is desirable to increase these indicators. On the other hand, it is imperative to consider the fact that neither failures, nor accidents, nor catastrophes occur instantly (suddenly) (Pic. 2). Then it becomes clear that the analysis of the real accumulated damage, of the degradation of the systems themselves during their operation [4]



Pic. 1. Structural diagram of the prospects for development of railway transport in aggregate [1–3].





Pic. 2. Basic model algorithm for computational and experimental determination of strength, useful life and safety according to risk criteria [4], where σ_B is the temporary resistance of the material; ψ – relative narrowing of the neck of a standard material sample; K_i – crack resistance; L (L_d, l_{cr}) – survivability at various stages of life cycle; R_d, R_R – and other letter combinations in this and subsequent figures functionally indicate the risks of destruction and resource exhaustion, respectively, according to damageability mechanisms (wear, corrosion, etc.), respectively, the list is not exhaustive and serves to demonstrate fundamental approaches.

constitutes the basis. These indicators are fundamental.

The problem of damageability itself comes first. Now the state legislation raises the issue that the stage of activity defined by a new requirement for the justification of the useful life and safety should be deemed among the most important ones. The word «justification» means that in some cases it is impossible to fully use the current regulatory and technical documentation. In case of deviations, when new circumstances and conditions arise, the current regulatory and technical documentation does not allow correct selection of solutions. Therefore, this requirement in legislation, which will be widespread in industrial safety to justify the useful life and safety, will become very important.

Methodology for Damage Analysis and Risk Assessment

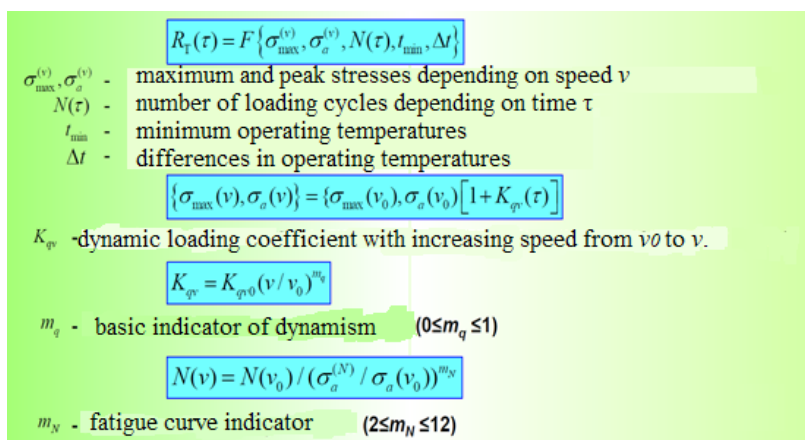
A certain criterion-based ground for analysing damage under normal and abnormal operating conditions, damageability associated with time (τ) and the number of loading cycles (N), are the determining fundamental parameters on which further consideration of the risk of damage can

be based (Pic. 3). This will include loading conditions, environmental conditions, and degradation of structures and materials. Considering all these factors will come down to the fact that the parameters that determine the state of systems are damageability and vulnerability [5]. The transition to these parameters referring to both rolling stock and infrastructure is extremely important.

The damageability itself as a function of time determines the risks (Pic. 4). Direct damage that turns into failures, destruction, accidents, disasters implies that specific methods of analysis, diagnostics, management, technology, and repair and restoration work must be inherent for each stage. The damage curve becomes key indicator in this case [6].

If damageability is taken as the main parameter, then other characteristics (strength, useful or service life, wear resistance, cold resistance, reliability, survivability, risks, safety) turn out to be functional from this key parameter (Pic. 5) [7].

If this approach is accepted, then for long-term objects, for imported, heavily damaged and new objects, a system of defining analytical



Pic. 3. Coherent analysis of technogenic and natural risks during normal operation [5].

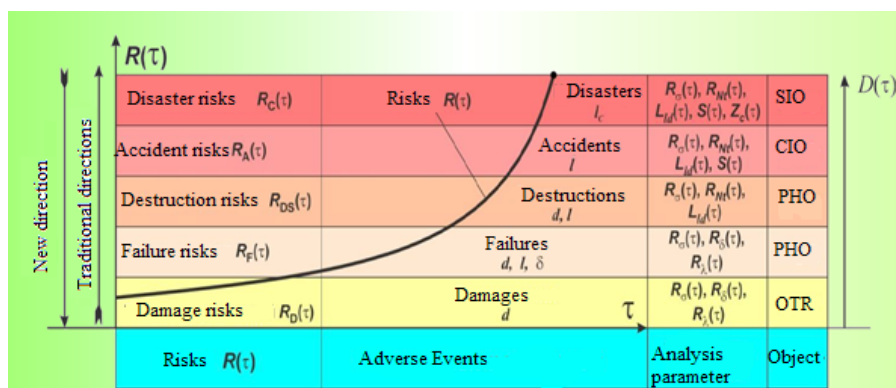
expressions should be built, which will then be supported by digital and intelligent technologies. The necessary initial analytical base exists. Joint research by specialists from JSC VNIKTI and the Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, developments by JSC VNIIZhT related to safe traffic systems, have revealed that this kinetic structure of the work processes themselves, transformed into kinetics and levels, calculated and analytical damage curves, becomes the most important (examples of general foundations and criteria are shown in Pic. 6) [8].

The problem of determining the service life of an object is solved by computational and experimental research methods including an assessment of physical and mechanical characteristics of the material, the stress-strain state of structural elements of the object, and the kinetics of damage accumulation in them. At the same time, determining safety and durability margins requires probabilistic approaches with construction of histograms (blocks) of distribution

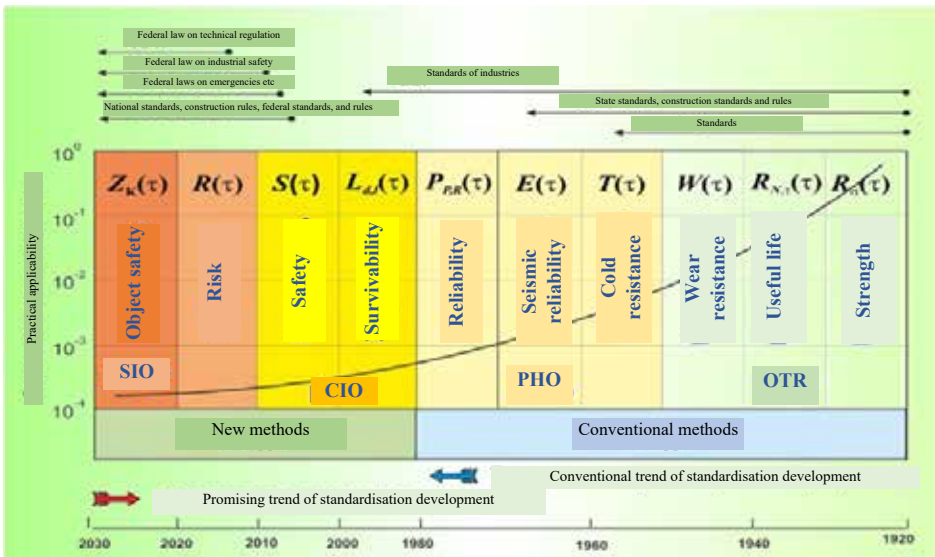
of current values of load amplitudes (stresses) under various operating modes of the object (for example, when changing the speed of rolling stock), calculating their equivalent values for the entire range of impacts, considering their shares in operation.

Consequently, it is relevant today to bring the existing methods for determining the actual useful life of railway facilities to the possibility of their incorporation into the regulatory framework. This will become a scientific and technical tool for justifying the safe operation period of an object with the required reliability.

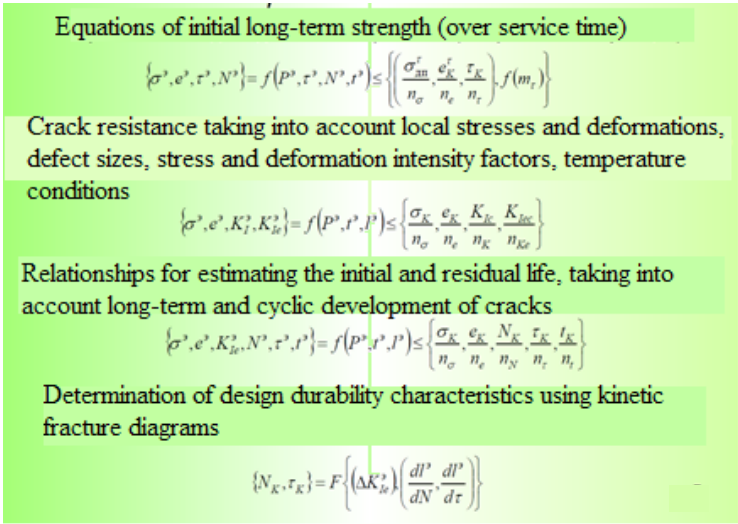
Then, the decisions that will be made on any of the existing assets will be resumed to the statement that there are parameters such as time, number of cycles, years, ton-kilometres, initial and residual service life, accumulated and limit service life, which are subject to theoretical analysis. Therefore, the curve presented in Pic. 7 (the same picture shows also some key calculation formulas) can be implemented and used in all major regulatory and technical



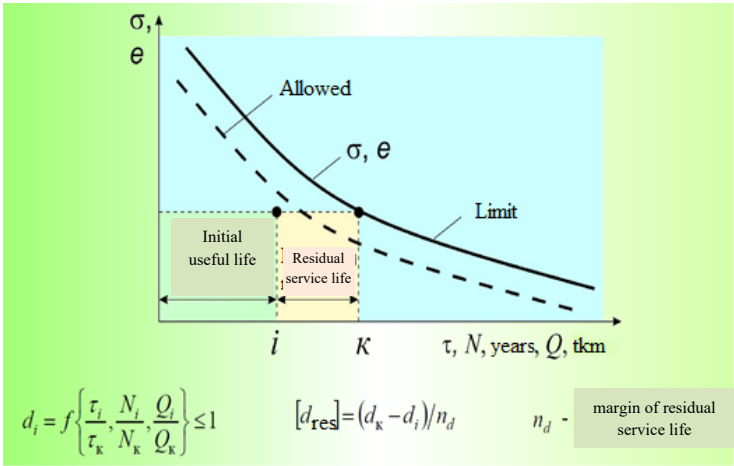
Pic. 4. The sequence of analysis of hazardous conditions of assets and of corresponding risks: OTR – objects that are subject to technical regulation; PHO – potentially hazardous objects; CIO – critically important objects; SIO – strategically important objects [6].



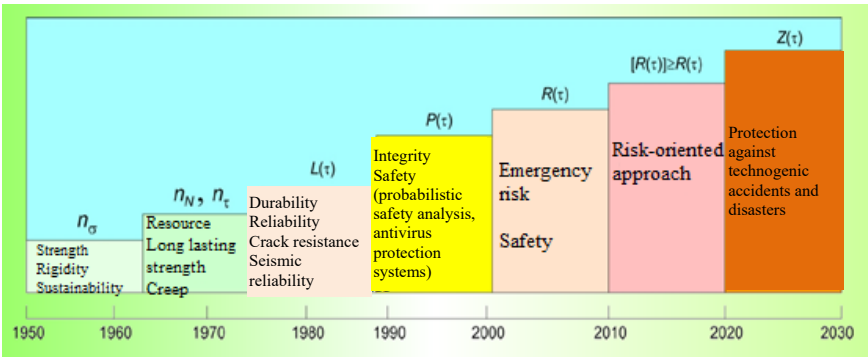
Pic. 5. Model complex mechanisms for analysing and managing strength, useful life and safety [7].



Pic. 6. Examples of general principles and criteria of strength, service life, risk, and safety [8].



Pic. 7. Justification of residual service life [8].



Pic. 8. Sequence of formation and development of a risk-oriented approach to CIO and SIO [8].

METHODS OF DIAGNOSTICS OF THE CONDITION												
Methods	Defects			Temperature			Stresses			Mech.properties		
	Size <i>l</i>	Shape <i>a/l</i>	Place <i>S</i>	Value <i>t</i>	Cycle τ_c	Time τ	Value σ_a	Cycle <i>N</i>	Time τ	Strength σ_T, σ_v	Plast. δ, ψ	Crack. K_{I0}, K_{ICV}
Ultrasound	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
MPT	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vis.control	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X-ray	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-
Vibrometry	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Acous.control	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Acous.emis.	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
Holography	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
Thermal imaging	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tomography	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
F.-sc. str. gauge	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
DESIGN RATIOS												
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$						- Full-scale strain gauge						
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$						- Thermal imaging						
$A\Theta = f(\sigma_a, e_p, K_{I0}, l)$						- Acoustic emissions						
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$						- Holography						

Pic. 9. Possibilities of diagnostic methods for analysing parameters of an object state [9].

documents based on the level of damageability, useful life, safety, fault tolerance, resistance to accidents and disasters [8].

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Based on all the developments already made also in the regulatory and technical framework, adopting, and moving to risk-oriented approaches, which is now required by law, it is necessary not to fight all negative phenomena and risks not during operation, but to transfer this «struggle» to the design stage [8]. This ideology will be decisive for new assets and future development.

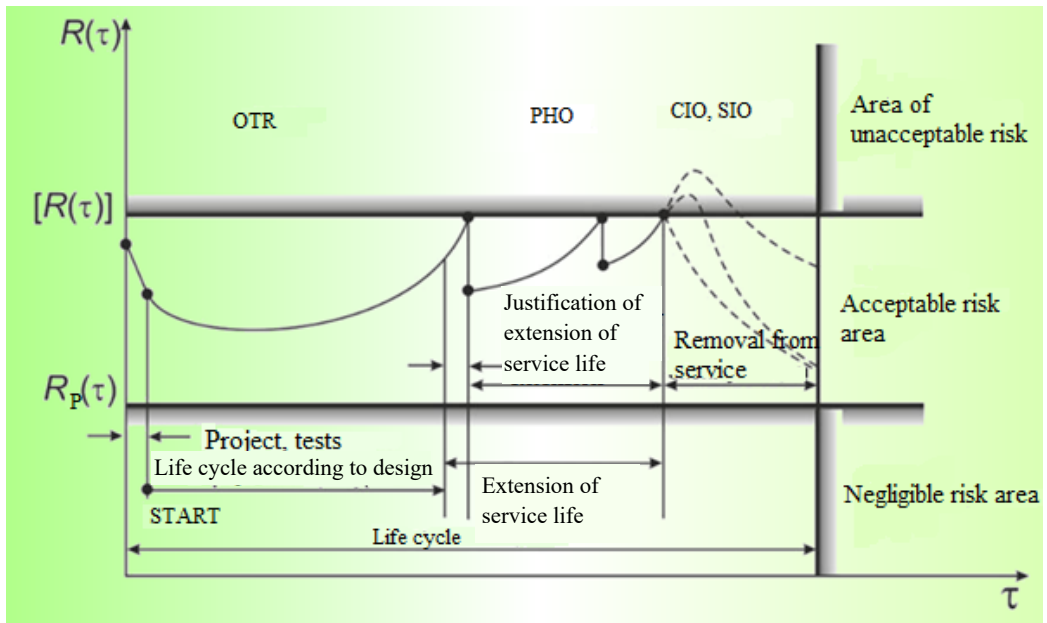
Diagnostic systems must be adjusted so that these real technical conditions, considering damageability, are determined by a large group of parameters that go beyond the traditional standards of diagnostics and control. Pic.9 shows which parameter and by what method can be obtained and illustrates examples of ratios and

equations [9]. Once such approach is implemented, those parameters obtain decisive role. On-board recorders of service life, that will take into account the accumulated damage in elements, components, units, locomotives, wagons, will become models that will not only record the current state and create extensive Big Data statistics, but also predictive models based on physical, mechanical, chemical processes actually occurring in vehicles, structures and control systems.

Then management of the condition itself, management of risks, service life in terms of the level of damage and risks becomes not a periodically prescribed work and inspection to assess the need for maintenance and repair, but a scientifically based activity (Pic. 10) [10].

Within the context of comprehensive study of the problems stated in the research it is advisable to consider modern international



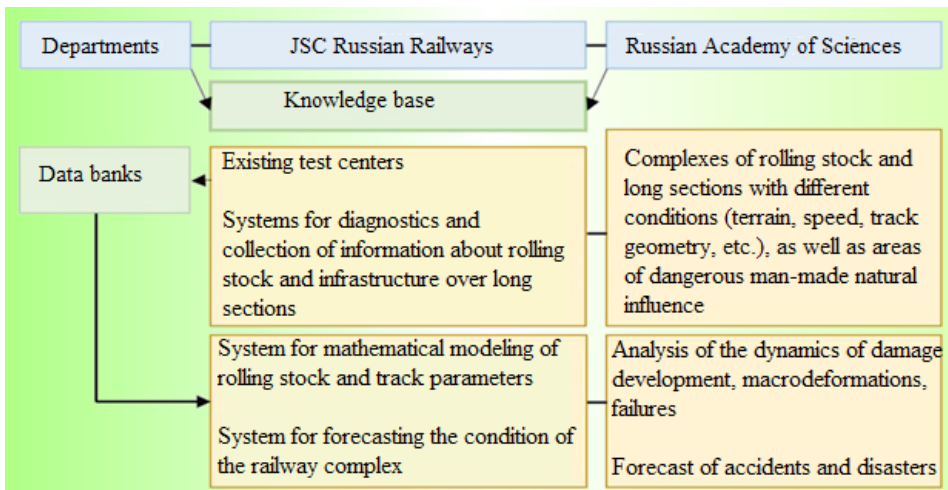


Pic. 10. Risk management for various stages of objects' life cycle [10].

research papers and expertise (the relevant analysis because of the vastness of the topic is beyond the purpose of the article and needs thorough particular consideration).

Considering the above and with respect to railway transport, the relevance of scientific follow-up of rail operational activity becomes quite evident. Particularly, the interaction that has developed between JSC Russian Railways and the Russian Academy of Sciences should obtain new development (Pic. 11). It must be implemented through a system of new problem statements and regulatory and technical documents, as well as concepts and strategies [11–15].

In this case, it is advisable for the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, research and scientific organisations and specialists of the railway transport industry to focus on the fact that the fundamental laws of physics, chemistry, mechanics of actually existing processes in the environment for technical objects should be more actively involved in use and development. The introduction of intelligent and digital technologies should ensure not just the recording of some actually developing situations, but also take into account the real patterns of deformation, damage, destruction and degradation. This direction becomes decisive.



Pic. 11. Concept of advanced research and development using digital and intelligent technologies [11–15].

REFERENCES

1. Security of Russia. Legal, socio-economic, and scientific-technical aspects. Scientific foundations of technogenic safety of railway transport [*Bezopasnost Rossii. Pravovie, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Nauchnie osnovy tekhnogennoi bezopasnosti zheleznodorozhnogo transporta*]. Ed. by N. A. Makhutov. Moscow, MGOF Znanie, 2020, 720 p. ISBN 978-5-87633-189-2.
2. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Technogenic safety of railway rolling stock [*Bezopasnost Rossii. Pravovie, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Tekhnogennaya bezopasnost podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta*]. Ed. by N. A. Makhutov. Moscow, MGOF Znanie, 2020, 488 p. ISBN 978-5-87633-193-9.
3. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Technogenic safety of railway transport infrastructure [*Bezopasnost Rossii. Pravovie, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Tekhnogennaya bezopasnost infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta*]. Ed. by N. A. Makhutov. Moscow, MGOF Znanie, 2021, 876 p. ISBN 978-5-87633-198-4.
4. Makhutov, N. A., Kossov, V. S., Gadenin, M. M., Oganyan, E. S. Calculation and experimental assessment of the strength, service life and survivability of elements of carriage bogies [*Raschetno-eksperimentalnaya otsenka prochnosti, resursa i zhivuchesti elementov vagonnykh telezhek*]. In: Railway Renaissance: Basic Research and Breakthrough Innovation. Ed. by B. M. Lapidus. Noginsk, Analitika Rodis publ., 2015, pp. 113–125. ISBN 978-5-905277-63-4.
5. Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Safety of railway transport in Siberia and the North [*Bezopasnost Rossii. Pravovie, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Bezopasnost zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh Sibiri i Severa*]. Ed. by N. A. Makhutov. Moscow, MGOF Znanie, 2014, 856 p. ISBN 978-5-87633-127-4.
6. Makhutov, N. A., Reznikov, D. O., Oganyan, E. S., Kossov, V. S., Volokhov, G. M., Ovechnikov, M. N., Protopopov, A. L. Methods for determining the resource of non-redundant load-bearing elements of rolling stock and tracks [*Metody opredeleniya resursa nerezerviruemykh nesushchikh elementov podvizhnogo sostava i puti*]. Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, 2017, Iss. 3, pp. 19–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30113989>. Last accessed 13.01.2023.
7. Grigoriev, A. V., Lepov, V. V. Reliability and service life of technical systems in extreme operating conditions of the Arctic and Subarctic [*Nadezhnost i resurs tekhnicheskikh sistem v ekstremalnykh usloviyakh ekspluatatsii Arktiki i Subarktiki*]. In: Railway transport. Novosibirsk, SB RAS publ., 2018, 112 p. ISBN 978-5-7692-1623-7.
8. A system of methods for computational and experimental determination and standardisation of the useful and service life of technical objects of railway transport. Critical railway equipment and infrastructure. Nomenclature, categories, limit states. [In Russian]. Kolomna, VNIKI – IMASH RAN, 2020, 108 p.
9. Pogodin-Alekseev, G. I. Dynamic strength and fragility of metals [*Dinamicheskaya prochnost i khrupkost metallov*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1966, 244 p. [Electronic resource]: https://openbooks.itmo.ru/lib_book/25456/25456.pdf. Last accessed 13.01.2023.
10. Volokhov, G. M., Kossov, V. S. Assessment of acceptable risk values for transporting goods of various hazard categories on railway transport [*Otsenka dopustimyykh velichin riska perevozki gruzov razlichnoi kategorii opasnosti na zheleznodorozhnom transporte*]. Tyazheloe mashinostroenie, 2010, Iss. 1, pp. 28–30. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13064940>. Last accessed 13.01.2023.
11. Makhutov, N. A., Reznikov, D. O., Kossov, V. S., Oganyan, E. S., Volokhov, G. M., Ovechnikov, M. N., Protopopov, A. L. Methods for determining the service life of non-redundant load-bearing elements of rolling stock and tracks [*Metody opredeleniya resursa nerezerviruemykh nesushchikh elementov podvizhnogo sostava i puti*]. Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, 2017, Iss. 3, pp. 19–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30113989>. Last accessed 13.01.2023.
12. Makhutov, N. A., Lygaev, A. V., Bolshakov, A. M. Cold resistance (engineering evaluation method) [*Khladoistoikost (metod inzhenernoi otsenki)*]. Ed. by M. P. Lebedev, Yu. G. Matvienko. Novosibirsk, SB RAS publ., 2011, 195 p. ISBN 978-5-7692-1202-4.
13. Cold resistance of materials and structural elements: results and prospects [*Khladoistoikost materialov i elementov konstruktssii: rezulyaty i perspektivy*]. Ed. by V. V. Filippov. Novosibirsk, Nauka publ., 2005, 290 p. ISBN 5-02-032442-6.
14. Makhutov, N. A., Filin, V. M., Volokhov, G. M., Gordeev, S. V. Problems of bionetics, bionics and cybernetics [*Problemy bionetiki, bioniki i kibernetiki*]. Ekonomicheskie strategii, 2017, Iss. 3, pp. 6–15. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30469902>. Last accessed 13.01.2023.
15. Golubeva, M. V., Sych, O. V., Khlusova, E. M. Study of the structure and properties of welded joints made of high-strength cold-resistant steel grade 09KhGN2MD, produced by electric arc and laser welding [*Issledovanie struktury i svoystv svarnykh soedinenii iz vysokoprochnoi khladoistoiko stal marki 09KhGN2MD, poluchennykh elektrodugovoi i lazernoii svarkoi*]. Tyazheloe mashinostroenie, 2018, Iss. 7–8, pp. 23–32. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36300501> [restricted access]. ●

Information about the authors:

Makhutov, Nikolai A., D.Sc. (Eng), Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the Institute of Mechanical Engineering named after A. A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences (IMASH RAS), Moscow, Russia, kei51@mail.ru.

Gadenin, Mikhail M., D.Sc. (Eng), Professor, Chief Researcher at the Institute of Mechanical Engineering named after A. A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences (IMASH RAS), Moscow, Russia, safety@imash.ru.

Kossov, Valery S., D.Sc. (Eng), Professor, General Director of JSC «Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock» (JSC «VNIKI»), Kolomna, Russia, vskossov@icloud.com.

Knyazev, Dmitry A., Ph.D. (Eng), Deputy Head of the Department of JSC «Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock» (JSC «VNIKI»), Kolomna, Russia, knyazev-da@vniiki.com.

Krasyukov, Nikolai F., Ph.D. (Eng), Leading Researcher of JSC «Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock» (JSC «VNIKI»), Kolomna, Russia, timakov-mv@vniiki.com.

Article received 04.04.2023, approved 17.11.2023, accepted 20.11.2023.



ORIGINAL ARTICLE

JEL: R40, R42, R48

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-10>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 232–241

Scenario Analysis of the Prospects for the Use of Alternative Fuels for Road Transport in Russia



Dmitry S. GORDEEV



Alexander O. TOMAEV

Dmitry S. Gordeev¹, Alexander O. Tomaev²^{1,2} *Institute of Applied Economic Research of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia.*✉ ¹ gordeev@ranepa.ru.

ABSTRACT

The article examines the economic and environmental consequences for the Russian Federation that may be caused by the transition of road transport to natural gas fuel and electricity. According to strategic planning documents, public authorities are pursuing the policy aimed at converting a significant share of road transport to natural gas fuel. As singled out, this policy is mainly motivated by the issues of limiting emissions of harmful substances into the atmosphere from the combustion of oil products. In addition to a positive impact on the environment, this transformation should have a positive impact on the economy, since the use of alternative energy sources reduces transport costs, and construction of the necessary related infrastructure will create additional growth points for the economy.

The objective of the study described in the article is to investigate the economic and environmental effects for the Russian Federation from the transfer of road transport to natural gas fuel. Main economic indicators analysed comprise subsidies that are necessary to create conditions for development of the relevant market, changes in budget revenues from the mineral extraction

tax and excise duty on oil products, as well as additional gross value added due to multiplier effects in the economy. The study of environmental effects consists in assessing the reduction of emissions of greenhouse gases and particulate matter into the atmosphere.

The analysis of the effects for the Russian economy from the transfer of road transport to alternative energy sources has shown that due to the multiplier effect, for the period up to 2035, gross value added will increase by 3,6 trillion rubles, and investments in the necessary infrastructure will amount to about 2,7 trillion rubles, which is about 13 % of the projected investment in the road sector. Due to the use of gas motor fuel and electric vehicles, by 2035 CO₂ (carbon dioxide) emissions will be reduced by 11 million tons annually, which represents only 0,5 % of nationwide emissions. This means that the transfer of road transport to alternative energy sources is not effective enough from the point of view of the existing motivation, and the motivation must be changed in favour of positive economic effects.

Keywords: road transport, gas motor fuel, electric vehicles, infrastructure investment, ecology.

For citation: Gordeev, D. S., Tomaev, A. O. Scenario Analysis of the Prospects for the Use of Alternative Fuels for Road Transport in Russia. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 232–241. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-10>.

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.

INTRODUCTION

In most developed and developing countries of the world, there is a trend aimed at replacing oil products in the motor transport sector in favour of alternative energy sources. Currently, the most popular alternative energy sources are electricity, natural and associated petroleum gas. The transport sector is one of the largest consumers of energy in Russia, because of which this trend may lead also to a significant transformation of the energy sector of the economy. Due to the operation of road transport, significant budget revenues are formed due to such tax components as the mineral extraction tax (MET) on oil and excise duty on oil products. Given the high tax burden on energy resources, following the transformation of the energy structure of consumption by road transport, budget revenues will also be subject to significant changes. An early analysis of the consequences for the budget and the entire economy will minimise potential risks from a reduction in budget revenues from oil and gas revenues in the future.

At the same time, the growth in the number of vehicles powered by alternative energy sources will also require development of related infrastructure, such as electric charging stations and gas fuelling stations. Without their development, consumers will not use electric vehicles and gas motor fuel since their charging or refuelling will be associated with significant time and value costs. The creation of the minimum required amount of associated fuelling and charging infrastructure is a critical condition for development of road transport using alternative energy sources. Best international practices show that at the initial stage of development, most of the costs are borne by the state.

The *objective* of the study is to analyse economic and environmental effects for the Russian Federation of the transfer of road transport to gas motor fuel.

This paper assesses the investment required to provide the minimum amount of required infrastructure, multiplier effects for the economy based on input-output tables, as well as budget losses from lost revenues from MET and excise duty on oil products.

Additionally, the paper assesses the environmental consequences of the transition of road transport to alternative energy sources.

RESULTS

Overview of the Current State of the Automotive Market in the Russian Federation

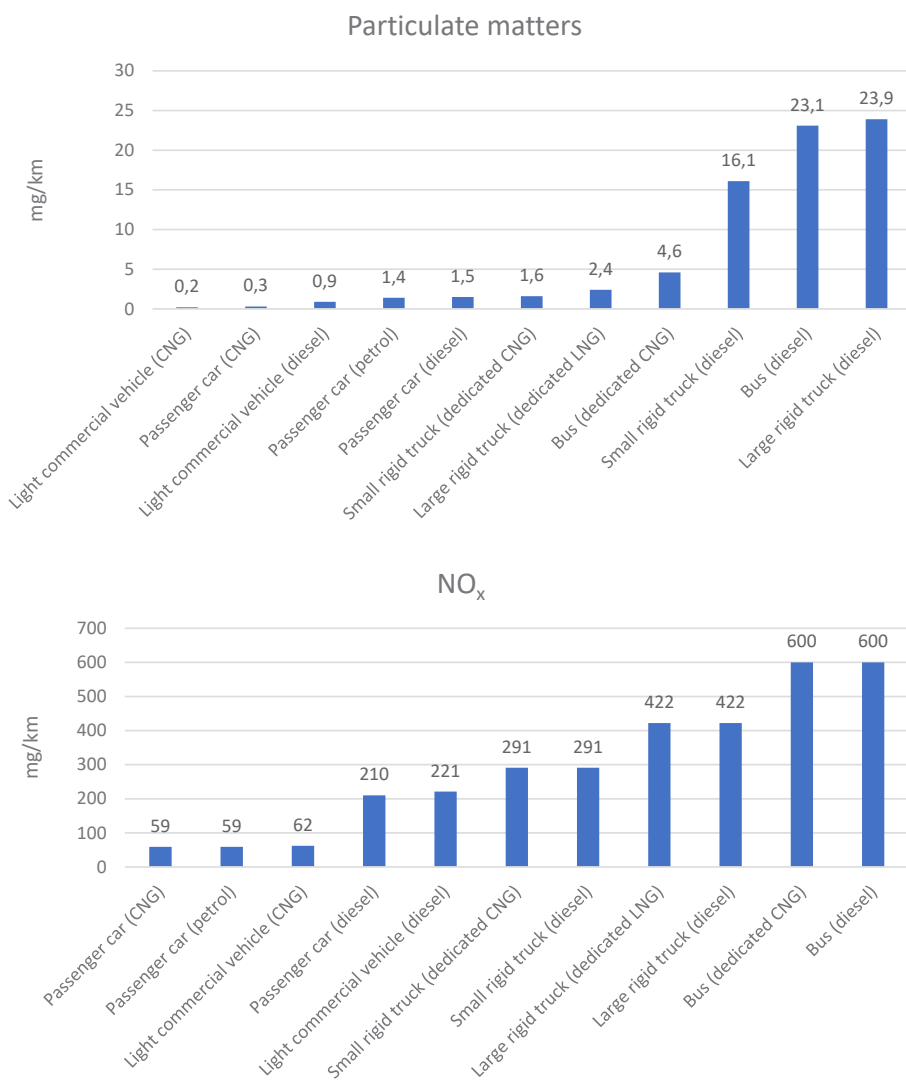
In Russia, main types of fuel for road transport are refined oil products. Mainly, petrol is used as fuel for passenger cars, while diesel fuel is used for road freight vehicles, passenger cars and specialised vehicles. The carbon intensity of refined products is almost one and a half times higher than that of natural gas. This means that to obtain the same amount of energy, burning diesel or petrol releases one and a half times more carbon dioxide than burning natural gas. According to measurements, to obtain 1 Mbtu (1BTU = 1055–1059 J) of energy from burning natural gas, 52,9 kg of CO₂ will be released into the atmosphere, and when burning petrol, 70,7 kg of CO₂¹ will be released into the atmosphere. Besides carbon dioxide, the combustion of oil products also releases other harmful substances into the atmosphere, of which the greatest harm to health is caused by particulate matter that provokes cancer [1; 2].

It has been measured that the use of natural gas fuel allows emitting five times less particulate matter per 100 km [3] than when using diesel fuel, which is especially important in megacities (Pic. 1). If replacement of refined fossil fuels with natural gas motor fuel will for sure guarantees reduction of specific emissions of harmful substances into the atmosphere per 1 km of the distance travelled, then for electric vehicles, not everything is as simple as it is commonly believed. Indeed, when consuming electricity, an electric vehicle almost does not emit harmful substances into the atmosphere. However, it is necessary to consider emissions into the atmosphere during production of electricity at power plants, as well as losses occurring during transportation of electricity to the consumer. However, the main environmental impact of electric vehicles is the use of heavy metals in production of batteries [4; 5]. Large amounts of heavy metals in the composition of batteries and the difficulties of their disposal [6; 7] imply that the overall negative effect on the environment over the life cycle of an electric vehicle is even more than of vehicles with internal combustion engines.

It is the reduction of greenhouse gas emissions and particulate matter that is the

¹ Carbon Dioxide Emissions Coefficients, EIA. [Electronic resource]: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php. Last accessed 11.07.2023.





Pic. 1. Emissions of harmful substances into the atmosphere by some types of road vehicles. Charts built by the authors based on the data retrieved from [3, pp. 30–31].

main motivation for replacing oil refinement products in road vehicles with alternative energy sources in developed countries. The environmental agenda is also relevant in the Russian Federation and certain steps are being taken to reduce greenhouse gas emissions by road transport. However, in addition to the environmental aspect, for the Russian Federation, the transfer of road transport to alternative energy also promises direct economic benefits. The use of gas engine fuel and electricity can significantly reduce the costs associated with transportation. According to the authors' calculations, at the current levels of fuel prices, for a trip over the same distance the cost of gas motor fuel will be

2–2,5 times lower than when using oil products, and 3–10 times lower for electricity, depending on the chosen tariff (Table 1).

Depending on the type of road vehicle, the payback period may vary. Table 2 shows the calculations of the payback period for the transfer of a vehicle to gas motor fuel. As can be seen from this table, the payback period for all types of vehicles is less than 200 days. It should be noted that for passenger cars, a small maximum mileage with a full tank of gas motor fuel is a significant barrier, since with a run of 100 km per day, it will be necessary to refuel once every three days. For city buses and freight vehicles, the limited range is not so critical, since buses can be refuelled at the end stations, and the range

Table 1

Fuel costs for passenger vehicles per 100 km [authors' calculations]

Fuel type	Measurement unit	Price, rub. per unit	Energy cost per 100 km***, rub.
Petrol AI-92	l	47,6	476
Petrol AI-95	l	54.1	541
Petrol AI-98	l	59,83	599
Diesel fuel	l	54	432
Compressed natural gas (CNG)	m ³	22,50	202,5
Electricity* (day tariff)	kWh	5,92	148
Electricity* (night tariff)	kWh	1,74	43,5
Charging stations **	kWh	0–9	0–225

* Charging from the mains supply of an apartment building, day and night tariffs, as for consumption of 25 kWh per 100 km.

** Charging from a specially equipped charging station.

*** With an average petrol consumption of 10 litres per 100 km, natural gas consumption of 9 m³ per 100 km.

of freight road vehicles will be limited not by fuel reserves, but by the need of the driver to rest. The quick payback of vehicles running on gas engine fuel already makes vehicle owners install gas equipment on their own.

According to statistics of «Gazprom gas motor fuel», over the past ten years, the gas-fuelled fleet in Russia has quadrupled and amounted to 259000 vehicles², or 0,4 % of the total vehicle fleet. Liquefied petroleum gas (LPG) is predominantly used in passenger cars (it accounts for 73 % of gas consumption in passenger cars and for 89 % in light commercial

vehicles)³, while the share of CNG for gas-fuelled passenger cars is only 9 %. This statistic confirms that the use of CNG in passenger cars is in low demand due to the short range on a full tank.

The number of LPG and CNG fuelling stations (NGFS) that provide services for refuelling vehicles with natural gas in 2022 was equal to 711 units, of which 393 belonged to Gazprom³. Of course, such a small number of gas fuelling stations is a significant barrier to the start of mass use of gas motor fuel, since the costs of finding consumers will be very high. In

² Gazprom – gas motor fuel. [Electronic resource]: <https://gmt.gazprom.ru/press/news/2022/09/188/>. Last accessed 11.07.2023.

³ Using natural traction. Kommersant newspaper. [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/doc/5017206>. Last accessed 11.07.2023.

Table 2

Payback period for the transition of the vehicle to gas motor fuel [authors' calculations]

Model variables	Measurement unit	Passenger car	Bus	Freight road vehicle
Retrofitment cost	rub.	50 000	212 500	700 000
Type of base fuel	–	AI-92	Diesel fuel	Diesel fuel
Base fuel price per litre	rub.	51	54	54
Base fuel consumption per 100 km	l	9,3	25	40
Methane consumption per 100 km	m ³	8,1	27,3	43,6
Volume of CNG tank	l	90	250	1420
Mileage per day	km	100	250	300
CNG compression ratio	times	222	222	222
CNG price per 1 m ³	rub.	22,5	22,5	22,5
Range available with one CNG filling	km	246,9	203,7	723,1
Savings from the use of CNG relative to the use of the base type of fuel per 1 km of run	rub.	2,9	7,4	11,8
Mileage corresponding to the return on investment in the re-equipment of the vehicle	km	17 241	28 612	59 322
Payback period	days	172	114	197

Source: authors' calculations using GOST [State Standard] 27577-2000-CNG, GOST R 52087-2018-LPG.



works devoted to assessing the optimal number of NGFS, researchers agreed that the optimum is achieved in the range from 1000 to 1500 vehicles per one NGFS [8; 9]. For example, in countries such as Iran, China, Pakistan, India, Brazil and Italy, with a significant proportion of road vehicles that use gas motor fuel, this figure varies from 850 to 1800⁴. A higher value of the index will lead to an increase in the cost of searching for gas fuelling stations, and a lower value of this index is a barrier to infrastructure development, as there may be insufficient demand for gas fuelling station services. One of the exceptions is Sweden, where the specific indicator of the number of gas-fuelled vehicles per fuelling station is about 200 units [10]. Researchers note that development of the gas fuelling station network and the transition of cars to gas motor fuel must be carried out simultaneously, otherwise either the payback period for creation of gas fuelling stations will be very long due to insufficient demand for services, or the cost of searching for gas fuelling stations by motorists will be a barrier to market development [11–13].

The development of electric vehicles in Russia is also associated with certain barriers. In those countries where electric vehicles have now become widespread, a significant number of owners live in their own homes, which makes it possible to easily charge an electric car in the garage or on the site. According to studies, 88 % of electric vehicle owners charge their electric vehicles at home, most often at night⁵. If an owner of an electric vehicle lives in an apartment building, then this becomes a significant obstacle to recharging the vehicle.

Another significant barrier to development of electric vehicles in the Russian Federation is associated with climatic conditions. Low ambient temperatures will significantly limit the range of trip with a single charge due to decrease in battery capacity and the need for heating in the vehicle. On the contrary, when the air temperature is high, it will be necessary to use the air conditioner, which will also quickly discharge the battery.

⁴ Natural Gas Vehicles Journal. [Electronic resource]: <http://www.ngvjournal.com>. Last accessed 11.07.2023.

⁵ Level Up: Electric Vehicle Owners with Permanently Installed Level 2 Chargers Reap Benefits from Their Investment, J. D. Power Finds, 2021. [Electronic resource]: <https://www.businesswire.com/news/home/20210203005223/en/Level-Up-Electric-Vehicle-Owners-with-Permanently-Installed-Level-2-Chargers-Reap-Benefits-from-Their-Investment--J.D.-Power-Finds>. Last accessed 01.03.2023.

The development of a network of electric charging stations will require significant investments. Private companies are not interested in developing a network of electric charging stations, since this market is a low-margin one⁶. This means that development of the electric charging network will either be carried out at the expense of the public authorities, or it will be necessary to provide various measures of public support to private companies, which will increase the return on investment.

Despite insufficient development of the electric charging network in Russia, the number of electric vehicles is gradually increasing. According to the statistics of the Avtostat analytical agency, as of July 1, 2022, 18,7 thousand electric vehicles were registered in Russia, which amounted to 0,04 % of the total number of passenger cars in the country⁷. To enhance the market for electric vehicles, the government approved a Concept for development of production and use of electric vehicles in the Russian Federation for the period up to 2030. The concept considers three main scenarios for development of the electric vehicle market in Russia: inertial, balanced, and the scenario of accelerated development. Each of them predicts an increase in production and use of electric vehicles, as well as development of refuelling infrastructure.

Various programs⁸ are currently in place in Russia to support the conversion of vehicles to natural gas fuel or the use of electric vehicles. Thus, the law adopted in 2012⁹ set the goal of stimulating the use of gas motor fuel in transport as an alternative fuel, as well as increasing the fleet of electric vehicles. In July 2020, the Government approved a program to subsidise

⁶ Electric Car-Charging Business Is Doing Everything But Making Money. Bloomberg. [Electronic resource]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/ev-charging-industry-is-doing-everything-except-showing-a-profit>. Last accessed 11.07.2023.

⁷ Avtostat analytical agency. «There are almost 19000 electric vehicles in Russia». [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/news/52361>. Last accessed 11.07.2023.

⁸ Subsidising the conversion of vehicles for the use of gas equipment, as well as financial assistance to plants producing hybrid vehicles.

⁹ Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated July 30, 2012, No. NA-96-r, «On approval of the Guidelines for installation of gas equipment on wheeled vehicles in operation in the Russian Federation». [Electronic resource]: www.garant.ru/products/ip. Last accessed 11.07.2023.

the conversion of vehicles to natural gas fuel¹⁰. According to the decree, 60 % of the cost of re-equipment will be compensated by the state, and 30 % by «Gazprom gas motor fuel» company. As a result, the total subsidy for vehicle retrofitting amounted to 90 %. Currently, discussions are underway on the allocation of budget subsidies by the Government for development of natural gas fuelling infrastructure. According to the draft decree, it is planned to allocate for the period 2023–2025 5,9 billion rubles¹¹. According to the draft General Scheme for Development of the Gas Industry of the Ministry of Energy of the Russian Federation, by 2035 the consumption of gas motor fuel in the Russian Federation should reach 13 billion m³.

To develop electric vehicles, the public authorities also apply several incentive programs. For electric vehicles in some regions, the transport tax has been cancelled¹², and from May 2020 to January 2022, a zero rate¹³ of import duty on electric vehicles was in effect. In some regions, owners of electric vehicles are entitled to free parking¹⁴ in the city. At the same time, starting from January 2022, in the Russian Federation, the import duty on electric vehicles amounted to 15 % of the cost, which also creates certain obstacles for development of the electric vehicle market but is aimed at supporting national manufacturers.

Russia's strategy for development of the electric vehicle market currently implies a gradual but steady increase in their share in the structure of motor transport fleet. Thus, production of electric vehicles in Russia, in accordance with the Concept for development of production and use of electric vehicles, should

increase to 44000 units in 2025 and to 217000 units in 2030. Moreover, by 2030, production of electric vehicles in Russia should reach 10 % of the total volume of car production in the country. Also in Russia, a policy is being pursued aimed at developing the infrastructure of electric charging stations, and by 2030 it is planned to build at least 72000 electric charging stations (as compared to 529 electric charging stations in 2021)¹⁵.

A Scenario Analysis of the Prospects for the Use of Alternative Fuels for Road Transport

For modelling, at the first stage of the study, a forecast is made for consumption of diesel fuel and petrol until 2035. The forecast for consumption of these types of fuel by road vehicles is based on scenarios for the growth of cargo and passenger road transport. It is assumed that cargo transportation is carried out using diesel fuel, but without the use of petrol, and passenger vehicles use petrol as fuel, since the share of diesel passenger cars in the Russian Federation is less than 6 %¹⁶.

The study uses the hypothesis that, over time, electric vehicles will increasingly replace petrol passenger cars, and freight vehicles using natural gas fuel will partially replace diesel trucks. This hypothesis is a consequence of existing technological barriers to the mass use of natural gas motor fuel in passenger cars and of electric vehicles for transportation of goods (nevertheless, it should be born in mind that rapid technological developments can update those scenarios).

To build a forecast for consumption of diesel fuel and petrol, the forecast of cargo and passenger traffic until 2035 of the Ministry of Transport of the Russian Federation, contained in the Transport Strategy of the Russian Federation, was assumed as a basic guideline¹⁷. As part of the study, it is assumed that the growth rate of petrol and diesel fuel consumption will correspond to the growth rate of transportation

¹⁰ Decree of the Government of the Russian Federation dated June 19, 2020m No. 886. [Electronic resource]: <http://government.ru/news/39909/>. Last accessed 11.07.2023.

¹¹ The government proposed to allocate 6 billion rubles for gas fuelling stations in 2023–2025. IA Interfax. [Electronic resource]: <https://www.interfax.ru/russia/873155/>. Last accessed 11.07.2023.

¹² Transport tax-2020. Who and why may avoid payment. IA «AUTONEWS». [Electronic resource]: <https://www.autonews.ru/news/5e745ec39a794727d794d4c5>. Last accessed 11.07.2023.

¹³ Import duty on electric vehicles will be zeroed for the entire EAEU, except for Russia. Vedomosti [Electronic resource]: <https://www.vedomosti.ru/auto/news/2022/03/18/914205-poshlinu-na-elektromobili-obnulyat>. Last accessed 11.07.2023.

¹⁴ Official website of the Mayor and the Government of Moscow. [Electronic resource]: <https://parking.mos.ru/news/2770/>. Last accessed 11.07.2023.

¹⁵ In Russia, the number of stations for charging electric vehicles has increased by 68 %. Komsomolskaya Pravda. [Electronic resource]: <https://www.kp.ru/online/news/4522921>. Last accessed 11.07.2023.

¹⁶ 15 % of all SUV in Russia are those with a diesel engine. IA Avtostat. [Electronic resource]: <https://www.avtostat.ru/news/49657/>. Last accessed 11.07.2023.

¹⁷ Federal Road Agency. Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast for the period up to 2035. [Electronic resource]: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>. Last accessed 11.07.2023.



Table 3
Key indicators used in modelling [compiled by the authors]

Variable name	Year			
	2021	2024	2030	2035
Freight road transportation, million tons	5488	5906	6117	6300
Transport mobility by road, km per person per year	5345	9000	13200	14200
Diesel fuel consumption without substitution, thousand tons	40101	39598	38612	37819
Petrol consumption without substitution, thousand tons	36437	59531	78693	77366
Gas engine fuel consumption in diesel equivalent, thousand tons	1005	2834	6491	9539
Number of passenger electric vehicles, thousand	18	76	1397	2089
Electricity consumption in petrol equivalent, thousand tons	20	93	1723	2577
The cost of gas fuelling stations, including connection works, million rubles	160			
Sales of NGV fuel at fuelling stations per year, thousand m ³	7200			
The cost of a slow-charging station, including connection works, million rubles	0.6			
The cost of a fast-charging station, including connection, million rubles	3,15			
Number of electric vehicles per 1 electric charging station	10.0			
Share of slow electric charging stations		0,691	0,69	0,548

volumes, considering changes in the level of energy efficiency of cars. It is assumed that the growth rates of energy efficiency are the same in all the regions of the Russian Federation, and during the considered time period this growth will be smooth and amount to 1 % per year.

The forecast is based on actual data from Rosstat [Federal State Statistics Service] on supply of petrol and diesel fuel (petrol shipments/diesel shipments) and supposes that these fuels are not stored in tanks but are completely consumed during the corresponding time periods.

Next, a forecast is made for consumption of gas motor fuel based on the scenario of the gas motor fuel market of the Ministry of Energy of the Russian Federation. According to the latter, by 2035 the level of natural gas consumption by road transport will reach 12,5 billion cubic meters¹⁸. The authors of the study assume that from the current level to the indicated value in 2035, consumption volumes will grow linearly.

A forecast for the growth in the number of electric vehicles and the energy they consumed was made in the similar manner. The concept approved by the Government of the Russian Federation for development of production and use of electric vehicles was used as a basis,

which was extended in the forecast until 2035, considering the average annual increase. Next, based on the predicted number of electric vehicles, a forecast was made of the energy consumption of electric vehicles. For this purpose, the average electricity consumption of electric vehicles in the United States was used¹⁹. At the next step, the forecast volumes of consumption of gas motor fuel and electricity were expressed in diesel and petrol equivalents, which made it possible to estimate substitution of their consumption in the Russian Federation.

To calculate the demand for fuelling stations, namely, CNG fuelling compressor stations, the average volume of gas motor fuel shipped by one of them per year was taken into account. The predicted consumption of natural gas motor fuel was divided by this value. The resulting predicted number of gas fuelling stations was multiplied by the average cost of gas fuelling stations. Similarly, the predicted number of electric vehicles was multiplied by the appropriate factor to obtain the predicted number of fast and slow charging stations. Then the number of slow and fast charging stations was multiplied by the cost of the first and second ones.

¹⁸ In Russia, consumption of natural gas motor fuel will grow to 12 billion m³ by 2035 // IA TASS. [Electronic resource]: <https://tass.ru/ekonomika/17567893>. Last accessed 11.07.2023.

¹⁹ Drive U. S. Summary Report on EVs at Scale and the US Electric Power System, 2019. [Electronic resource]: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/summary-report-evs-scale-and-us-electric-power-system-2019>. Last accessed 11.07.2023.

Table 4

Simulation results [performed by the authors]

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
NGV fuel consumption (in units of diesel equivalent), thousand tons	1615	2224	2834	3444	4053	4663	5272	5882	6491	7101	7710	8320	8930	9539
Consumption of electricity by road vehicles (in units of petrol equivalent), thousand tons	20	57	93	152	247	401	652	1059	1723	1894	2064	2235	2406	2577
Amount of total investment in infrastructure, million rubles	29430	60650	58662	91896	96420	135009	157109	216736	281768	269298	326579	321084	372088	372242
Amount of state subsidies, million rubles	5759	10442	10144	15167	15846	21634	24949	33893	43648	41834	50426	49601	57252	57275
Reduction in the amount of received excise duty payments, million rubles	15712	22929	30684	37855	45570	54172	64214	76599	92793	101643	110493	119343	128194	137044
Additional GVA due to the multiplier effect, million rubles	38259	78845	76261	119465	125346	175512	204241	281757	366299	350087	424553	417409	483714	483915
Reduction of CO ₂ emissions, thousand tons	965	1388	1809	2275	2815	3473	4325	5493	7173	7865	8557	9249	9941	10633
Reduction of particulate emissions, kg	109767	152127	194451	237483	281666	327722	376823	430874	492975	539557	586138	632719	679300	725882



The study also calculated tax implications of switching to natural gas motor fuel by freight road vehicles. For this purpose, the predicted volumes of diesel fuel, which are expected to not be used due to the transition of trucks to natural gas fuel, were multiplied by the excise duty rate. This made it possible to determine the amount of excise duties that will not be received as a result of this transition. To calculate the shortfall in MET funds, the volumes of diesel fuel that, according to the forecast, will not be consumed, were multiplied by a factor reflecting the volume of diesel fuel received from a unit volume of oil. Further, the received volume of oil was multiplied by the MET tax rate. Similarly, the amount that is supposedly expected to be lost by the state in the form of MET and excise duty, because of the partial transition of cars from using petrol to electricity, was calculated in a similar way.

Table 3 shows the main indicators used in the simulation.

Table 4 shows the main simulation results. According to the estimates, by 2035 the share of gas motor fuel consumption by freight and specialised vehicles will be about 34 %. To provide the required fuelling infrastructure by 2035, it will be necessary to build about 2000 fuelling stations. By 2035, the total accumulated investments for construction of fuelling stations will amount to about 1,5 trillion rubles. As for passenger cars, by 2035, the number of electric vehicles will reach 2,1 million units, and electricity consumption will be about 2,6 million tons of petrol equivalent, or about 9 % of the projected energy consumption by passenger cars. To ensure the possibility of recharging electric vehicles, it will be necessary to build 260000 slow- and fast-charging stations, and the total accumulated investment will amount to about 1,2 trillion rubles.

Thus, to achieve the target indicators laid down in the Transport Strategy and the General Scheme for development of the gas industry, the total investments for the period 2023–2035 into refuelling and charging infrastructure will amount to about 2,7 trillion rubles, which is about 13 % of the projected investments in the road sector, presented in the Transport Strategy. Due to the multiplier effect in the economy, the additional value added for the Russian economy from construction of refuelling and charging infrastructure for the period 2023–2035 will amount to 3,6 trillion rubles, which will have a positive impact on the economy. With current rates of excise duty payments on petrol and diesel

fuel and preservation of gas motor fuel as an excise-free product, the budget of the Russian Federation, starting from 2030, will annually lose about 100 billion rubles. From an environmental point of view, switching to natural gas by 2035 will reduce greenhouse gas emissions by 5,5 million tons annually. Cumulative reduction of greenhouse gas emissions for the period 2023–2035 will amount to 44,7 million tons of carbon dioxide (CO₂). The use of electric vehicles will further reduce carbon dioxide (CO₂) emissions in 2035 by 5,2 million tons, considering emissions from electricity generation if we take the current fuel balance for the basis.

Cumulative reduction in particulate matter emissions from switching to natural gas and electric vehicles over the period 2023–2035 will amount to 5,7 thousand tons.

CONCLUSION

The study simulated the consequences for the economy and the environment from replacement of oil refined products for road transport with alternative energy sources.

Simulation results have shown that to achieve the targets set in the Transport Strategy and the General Scheme for development of the gas industry, significant investments in gas fuelling and electric charging infrastructure will be required. Systematisation of the experience of countries in which gas-powered vehicles and electric vehicles are actively used has shown that the state policy to stimulate the use of vehicles powered by alternative energy sources should be carried out simultaneously with large-scale development of the refuelling and charging infrastructure network. To ensure the level required for the trouble-free use of gas-powered vehicles and electric vehicles, by 2035 it will be necessary to invest about 2,5–3 trillion rubles in fuelling infrastructure, which is about 13 % of the projected investments in the road sector presented in the Transport Strategy. Foreign experience recommends distributing construction of related infrastructure between the state and private investors. At the initial stage, the optimal strategy involves construction of the necessary infrastructure by the state to form the foundations of the market. After creating the foundations for functioning of the market, the inflow of private capital is stimulated by providing various types of state support, among which tax incentives are most often used in world practice. This mechanism will guarantee the necessary minimum level of

profitability to private investors at the initial stage of market formation when the demand for services may be insufficient. At the same time, the regulatory framework for this market should be fixed for a long period, which will reduce the risks for private investors associated with possible changes in legislation that may have a significant impact on the market (for example, legally approve zero excise duty on gas motor fuel for the next ten years). Investments in related infrastructure due to the multiplier effect will increase the gross value added by 3,6 trillion rubles, which will have a positive impact on the economy and will partly compensate for provision of tax incentives to private companies and shortfall in budget revenues from reduction in excise duties on oil products and the mineral extraction tax on oil.

From an environmental point of view, the transition of road transport to alternative energy sources will not significantly reduce greenhouse gas emissions. On a national scale, the annual reduction in emissions by 2035 will be about 0,5 % of all greenhouse gas emissions, excluding agriculture and farming. From a point of view of healthcare, the positive effect will result in reduced emissions of particulate matter into the atmosphere, which is especially important in large cities, as particulate matter provokes cancer.

Taking into account the foregoing, we can conclude that the transfer of road transport to alternative energy sources will not have a significant impact on reduction of greenhouse gas emissions and, given the high toxicity to humans of heavy metals used in batteries, it can also cause even negative consequences. The positive effects of switching to alternative forms of energy will not be in environmental aspects, but in economic ones.

First, the transfer of road transport to alternative energy sources, subject to creation of refuelling and charging infrastructure, will reduce transport costs, since the cost of gas motor fuel and electricity per 100 km of run is much lower.

Secondly, due to the multiplier effect, additional growth points for the economy will be created through construction of related infrastructure and introduction of new technologies.

Thirdly, maximising the use of natural gas motor fuel will contribute to the growth of gas consumption

which will also have a positive impact on the economy, since underused volumes of oil products can be exported to foreign markets.

REFERENCES

1. Benbrahim-Tallaa, L. [et al]. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*, 2012, Vol. 13, No. 7, pp. 663–664. DOI: 10.1016/s1470-2045(12)70280-2.
2. Loomis, D. [et al]. Carcinogenicity of benzene. *The Lancet Oncology*, 2017, Vol. 18, No. 12, pp. 1574–1575. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X).
3. Sujith, K. [et al]. The role of natural gas and biomethane in the transport sector. Report for Transport and Environment, Ricardo Energy & Environment, 2016. [Electronic resource]: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2016_02_TE_Natural_Gas_Biomethane_Study_FINAL.pdf. Last accessed 11.07.2023.
4. Nealer, R., Hendrickson, T. P. Review of Recent Lifecycle Assessments of Energy and Greenhouse Gas Emissions for Electric Vehicles. *Current Sustainable/ Renewable Energy Reports*, 2015, 2 (3), 2, pp. 66–73. DOI: 10.1007/s40518-015-0033-x.
5. Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C., Gallagher, K. G. The significance of Li-ion batteries in electric vehicle lifecycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. *Energy Environ Sci.*, 2014, Vol. 8 (1), pp. 158–68. DOI: 10.1039/C4EE03029J.
6. Huang, B. [et al]. Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of Power Sources*, 2018, Vol. 399, pp. 274–286. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2018.07.116.
7. Harper, G. [et al]. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 2019, Vol. 575, No. 7781, pp. 75–86. DOI: 10.1038/s41586-019-1682-5.
8. Yeh, S. An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 2007, Vol. 35, No. 11, pp. 5865–5875. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.06.012.
9. Janssen, A. [et al]. Model aided policy development for the market penetration of natural gas vehicles in Switzerland. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2006, Vol. 40, No. 4, pp. 316–333. DOI: 10.1016/j.tra.2005.06.006.
10. Hagos, D. [et al]. A state-of-the art review on the development of CNG/LNG infrastructure and natural gas vehicles (NGVs). Technical report FutureGas project – WP3 Gas for transport, 2018. [Electronic resource]: https://futuregas.dk/wp-content/uploads/2018/08/FutureGas-WP3-Deliverable_Task-3.1.1_Review-natural-gas-vehicles_Final-002.pdf. Last accessed 01.03.2023.
11. Wang, H. [et al]. Development of natural gas vehicles in China: An assessment of enabling factors and barriers. *Energy Policy*, 2015, Vol. 85, pp. 80–93. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.05.012.
12. Hao, H. [et al]. Natural gas as vehicle fuel in China: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2016, Vol. 62, pp. 521–533. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.015.
13. Khan, M. I. Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. *Energy Policy*, 2017, Vol. 110, pp. 126–136. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.08.017. ●

Information about the authors:

Gordeev, Dmitry S., Ph.D. (Economics), Senior Researcher at the Institute of Applied Economic Research of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia, gordeev@ranepa.ru.

Tomaev, Alexander O., Researcher at the Institute of Applied Economic Research of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia, tomaev-ao@ranepa.ru.

Article received 11.05.2023, approved 29.09.2023, accepted 06.10.2023.





Comparative Assessment of the Prospects for Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles



Alexander S. LIMAREV



Mikhail Yu. VOROTNIKOV

*Alexander S. Limarev¹,
Mikhail Yu. Vorotnikov²*

^{1,2} Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia.

✉ ² vorotnikov_1996@inbox.ru.

¹ Author ID: 492825, ORCID: 0000-0002-1499-4988.

² ORCID: 0000-0001-8206-9287.

ABSTRACT

Today, road transport is one of the main environmental pollutants. It accounts for more than half of all emissions. In this regard, the issue of developing measures to reduce the impact of cars on the environment is gaining relevance. There are various approaches to solve this issue, but the most promising direction is the use of electric vehicles. It should be noted that we cannot talk about their absolute environmental friendliness, since there is still an indirect impact on the environment.

The paper examines the prospects for the use and disadvantages of two types of electric vehicles powered, respectively, by battery or hydrogen fuel cells.

Currently, production of battery electric vehicles is a more popular direction, which is largely due to development of technologies in the field of battery production. At the same time, one should not completely exclude other areas, such as hydrogen-fuelled vehicles. Such vehicles are distinguished by good environmental friendliness, which is determined by the nature of the combustion product and the possibility of obtaining this type of

resource. However, the use of hydrogen as a fuel for internal combustion engines is not relevant. Development of a car with an electrochemical generator is more promising. Today, a fairly large number of the world's leading car manufacturing companies are advancing in this direction.

The electric vehicles considered in the work have similar emissions of harmful substances, which, under equal conditions, approach zero. However, both types of vehicles leave a carbon footprint, the bulk of which comes from electricity generation and hydrogen production. The study carried out a comparative assessment of the quality characteristics, carbon footprint and operating costs of electric vehicles with various types of power plants under Russian operating conditions. Based on the comparison, the main advantages, and disadvantages of those types of electric vehicles have been identified. Actions are proposed to increase the environmental friendliness of electric vehicles and solve problems that complicate their operation.

Keywords: road transport, electric vehicle, emissions reduction, hydrogen vehicle, environmental friendliness, comparison.

For citation: Limarev, A. S., Vorotnikov, M. Yu. Comparative Assessment of the Prospects for Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 242–247. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-11>.

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 fleet of vehicles with internal combustion engines (ICE) in the regions of Russia is increasing. This category of cars produces large amounts of harmful emissions, which negatively affect the environment. It is known that the predominant part of all emissions comes from road transport, so this problem is most acute in large cities [1]. To solve this problem, the relevance of the issue of developing a set of measures aimed at reducing emissions from cars is increasing. Most of the leading car manufacturing companies are interested in solving this problem. For example, Tesla Motors has developed its own electric vehicles and is also improving the system of environmentally friendly electric charging stations. Toyota Motor Corporation has succeeded in creating efficient hybrid cars and electric vehicles [2, 3].

Pic. 1 presents the main methods for reducing the impact of cars on the environment.

One of the most promising methods for reducing harmful emissions produced by vehicles is the use of electric vehicles with different energy sources: hydrogen fuel cells and electric batteries. This is due to the fact that an electric vehicle does not have a direct impact on the environment and amounts of emissions depend on the method of producing electricity or hydrogen [4].

It should be noted that there has been a significant increase in the popularity of development of electric vehicles among car manufacturers. This is largely

due to scientific advances in the field of electricity storage, namely to improvements in the capacity and service life of batteries [5].

It is also worth noting the possibility of using hydrogen as fuel for a car. Hydrogen, first, is distinguished by its environmental friendliness, since the combustion product is water vapour; in addition, due to its nature, it is a renewable resource. Those two features constitute its main advantages.

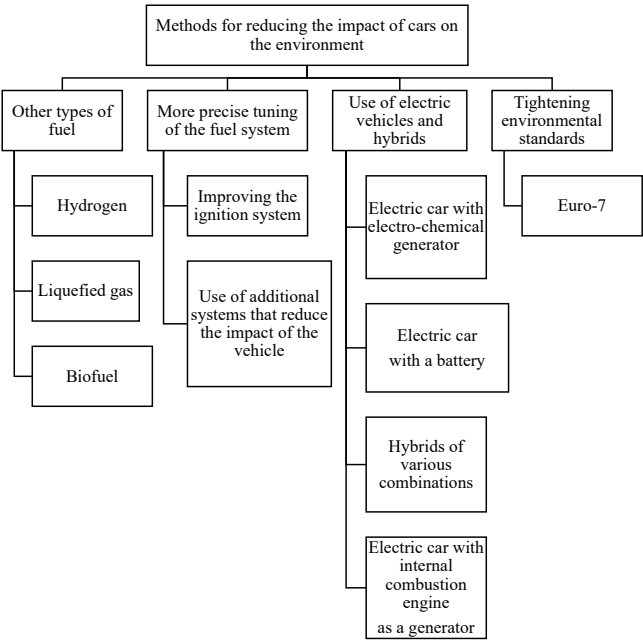
The use of hydrogen in road transport is carried out in two ways [6]:

- 1. By burning it in a combustion chamber.
- 2. As a fuel cell: hydrogen is sent to an electrochemical generator, where it is converted into electrical energy to power an electric motor.

An internal combustion engine using hydrogen fuel has few differences from its analogue using petrol, but during its operation several difficulties arise:

– Hydrogen is more energy-intensive and has a higher calorific value, which is almost three times higher than petrol, which is why, at high speeds, overheating of engine parts, engine oil and detonation occur.

– On the other hand, since hydrogen has good characteristics at low speeds; to solve the above problem, a petrol-hydrogen mixture is used. In this case, the gas concentration decreases as the engine speed increases, and that results in a drop in the power and dynamic performance of the car [7].



Pic. 1. Methods for reducing the environmental impact of cars [performed by the authors].



Based on the above, the use of hydrogen as a fuel for internal combustion engines is not relevant, so the most promising is development of a car with an electrochemical generator. The principle of its operation is identical to the principle of operation of electric vehicles powered from the network, the main difference lies in the method of generating electricity. In electric vehicles with a hydrogen fuel cell, energy is generated through a physical and chemical reaction that occurs directly in the power unit.

Many leading global car manufacturing companies are engaged in development and design of more efficient electric vehicles. Thus, Toyota introduced the Toyota Mirai hydrogen electric car in 2015. In this car, electricity is generated in a generator due to interaction of hydrogen with oxygen. The vehicle is equipped with a traction synchronous electric motor, which is powered not only by fuel cells, but also by a nickel-metal hydride battery, which is recharged by recuperating braking energy [8].

Tesla equips its electric vehicles with an asynchronous electric motor, an inverter, and a lithium-ion battery pack, which are charged from an external source or from braking energy recovery. The operation of the power plant is to convert direct current from batteries into three-phase alternating current to power the electric motor; this task is performed by an inverter [9].

As a result of the above, it becomes relevant to compare the quality characteristics of electric vehicles powered by hydrogen fuel cells and batteries under Russian operating conditions.

Thus, the *objective* of the study, described in the paper, is the comparative analysis of the promising prospects and of disadvantages of two types of electric vehicles, namely of battery and hydrogen fuel cell electric vehicles.

RESULTS

Comparison of operation risks. Currently, battery electric vehicles are equipped with a lithium-ion battery, which undergoes, if one of the cells is damaged, a risk of a short circuit resulting in ignition of electrolyte, leading to a fire. It is not possible to extinguish such a battery: you will have to wait until the electrolyte burns out completely.

In an electric vehicle powered by a hydrogen fuel cell, the main danger is the container with compressed hydrogen, which is under a pressure of 700 atmospheres (due to the chemical properties of hydrogen it has the lowest

liquefaction temperature and density). Currently, fuel tanks are made of carbon fibre materials that do not allow the release of fragments if the tank is damaged, which makes this type of vehicle the safest.

Comparison of the carbon footprint. The electric vehicles considered in this work have similar emissions of harmful substances, which, under equal conditions, approach zero. However, both types of vehicles leave a carbon footprint, the bulk of which comes from electricity generation and hydrogen production.

The analysis of statistical data has shown that about 26 % of air polluting emissions come from the energy industry, so it is rational to consider the environmental effect of electric vehicles, taking into account the emissions from electricity generation [10].

According to the International Energy Agency, thermal power plants account for about 60 % of all generated electricity obtained by burning carbon fossils: coal, gas, fuel oil (Pic. 2). It should be noted that this method of generating electricity has the greatest impact on the environment and is the «dirtiest». About 19 % of electricity is produced at hydroelectric power plants, which in turn contribute to destruction of the ecosystem in the places where it is located [11]. Nuclear power plants generate 17,5 % of the total electricity, and the share of power plants that generate electricity from alternative energy sources accounts for about 1,5 %.

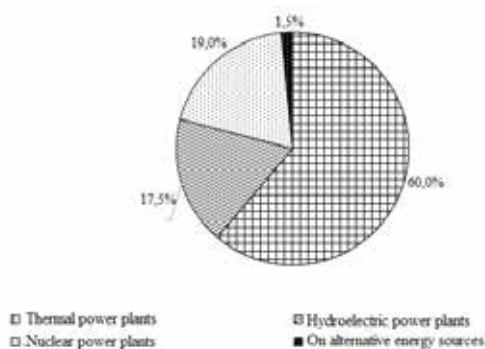
It should be noted that to obtain more reliable results, when carrying out calculations, it is necessary to take into account the main components that are used to produce hydrogen. Today, hydrocarbons predominate as raw materials for hydrogen production (Pic. 3) [13]:

- 69 % – natural gas;
- 15 % – oil;
- 11 % – coal;
- 5 % – electrolysis of water.

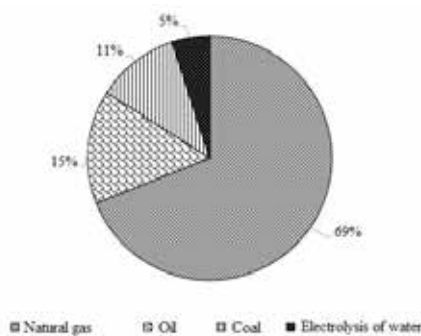
In addition, the resulting hydrogen is of three types [15]:

1. «Grey» – this type of hydrogen is produced through steam reforming of methane. The carbon footprint is 10 kg CO₂ per 1 kg of H₂ produced. The cost of production is 60–100 rubles.

2. «Blue» – the technology for producing this type of hydrogen is fully consistent with the technology for producing «grey» hydrogen. The main difference is the carbon capture and storage technology. The cost increases to 150 rubles per kilogram of hydrogen.



Pic. 2. World electricity generation [12].



Pic. 3. Raw materials used for hydrogen production [14].

3. «Green» – this type of hydrogen is produced through the electrolysis of water, using energy obtained from renewable energy sources. This is the most preferred method of production from the point of view of decarbonisation, since the carbon footprint tends to zero. The disadvantage is the high cost of production, reaching 1000 rubles per kilogram of hydrogen.

Thus, any type of electric vehicle leaves a so-called carbon footprint, which is characterised by amounts of emissions during the production and operation of the vehicle. Therefore, to determine the extent of the impact of an electric vehicle with different types of power plant, it is worth comparing the formation of a carbon footprint for an electric vehicle with a battery and for an electric vehicle with a hydrogen fuel cell at the time of operation of the vehicles, taking into account the emissions during production of fuel and the electric vehicle itself.

To assess the degree of impact of electric vehicles on the environment, calculations were made taking into account the efficiency of power plants, as well as the efficiency of converting energy carriers into fuel [16]. Operating a battery electric vehicle for 200 thousand km, using mixed energy sources, produces emissions equal to 23 tons of carbon dioxide equivalent. For the same mileage, if only alternative energy sources are used, the emissions will be 0,4 tons equivalent [17].

The average hydrogen consumption by an electric vehicle using a hydrogen fuel cell is 1 kg H_2 /100 km², from this we can calculate the carbon dioxide equivalent emissions by averaging the emission readings for different types of hydrogen production.

Table 1 presents the results of assessing the formation of a carbon footprint by electric vehicles with, respectively, a battery and a hydrogen fuel cell during the operation of the vehicles. We can

also note that the overall carbon footprint in Russian operating conditions from an electric vehicle powered by a hydrogen fuel cell is almost two times lower than that of a battery electric vehicle. It is worth noting that when using the cleanest method of extracting fuel for a power plant, emissions during hydrogen production tend to zero.

Operation costs. We will calculate operating costs for electric vehicles with a battery and electric vehicles with an electrochemical hydrogen engine.

The basis for the driving force of an electric vehicle is electricity. Based on this, for an electric vehicle with a battery, the calculation comes down to determining the cost of kWh, and for a hydrogen electric vehicle, to the cost of 1 kg of hydrogen.

Cost of a kWh is calculated based on the average home tariff for all regions of the Russian Federation: the average daily tariff is 3,45 rubles/kWh, the average night tariff is 1,68 rubles/kWh. [18]. The average day and night tariff is 2,57 rubles/kWh. We also consider that the average electricity consumption is 15 kWh/100 km. In addition, an electric car is highly susceptible to a decrease in range at low temperatures, that becomes approximately two times less than under ideal conditions, taking into account that there are 50 % of such days a year.

Currently, only one hydrogen car fuelling station is in operation on the territory of the Russian Federation, the cost of one kilogram of hydrogen at which is 250 rubles/kg [19].

Total fuel costs are presented in table 2.

We can note that fuel costs for a battery electric vehicle are almost six times lower than for a hydrogen one, this is due to underdevelopment of the infrastructure for hydrogen electric vehicles. When the paper was written, there was only one hydrogen fuelling station on the territory of the Russian Federation. This factor directly affects



Table 1

Results of assessing the carbon footprint of an electric vehicle with a battery and of an electric vehicle with a hydrogen electrochemical engine [performed by the authors]

Emissions by different types of energy system	Mileage of electric vehicles, thousand km					
	50		100		200	
	Battery		Battery		Battery	
Russian operating conditions, t	7	3,750	14	7,5	28	15
Wind energy and green hydrogen, t	1	0,01	2	0,02	4	0,04

pricing; the inflated cost is formed from the lack of logistics and constant demand [20]. A battery electric vehicle, in turn, is easier to maintain, since even in the absence of a developed infrastructure of charging stations, it is still possible to charge the car using public power networks.

CONCLUSIONS

Based on the above, both types of electric vehicles have their own advantages.

A hydrogen fuel cell electric vehicle is superior to a battery electric vehicle as for several factors:

– *Refuelling (charging) time.* The hydrogen refuelling time is comparable to the refuelling time of a conventional car with an internal combustion engine, in contrast to a BEV, where this interval can reach 12 hours with low charger power.

– *Safety.* Safety is defined by the chemical properties of hydrogen; its mass is 14,5 times lighter than air, as a result its diffusion properties are 14,5 times higher, which allows it to be quickly removed from a leaky room or tank without accumulating.

– *Environmental friendliness.* The carbon footprint of the use of hydrogen EV is almost two times lower under Russian operating conditions. Also, when producing hydrogen by electrolysis of water, the carbon footprint will tend to zero.

– *No need for additional heaters.* The efficiency of a hydrogen electric vehicle is 55–60 %; due to the reaction of hydrogen with oxygen, a large amount of heat is released that can heat the car without spending additional energy. In Russian operating conditions, this is a significant advantage, since when using a battery-electric vehicle in the cold season, its power reserve is reduced almost by half.

Besides, it is worth listing the disadvantages of a hydrogen electric vehicle and possible ways to solve them:

– *Lack of infrastructure for hydrogen transport.* However, the most cost-effective way to transport hydrogen is through pipelines. Currently, the pipeline is free from the phenomenon of hydrogen embrittlement, which makes it possible to easily transport hydrogen using this method.

– *Environmental friendliness.* Currently, 95 % of hydrogen is produced from fossil materials. The solution to this problem comes down to solving the problem of reducing the cost of production and popularising green hydrogen for road transport.

The operating efficiency of electric vehicles is largely determined by the area of operation. Based on the calculations carried out, it was established that in the Russian Federation, an electric vehicle powered by a hydrogen fuel cell has an advantage over a battery-powered one. This is largely due to the method of electricity production, where more than 60 % comes from combustion of hydrocarbons. The main disadvantage of a hydrogen electric vehicle is the lack of a wider network of hydrogen fuelling stations. The lack of necessary infrastructure leads to a significant increase in the cost of hydrogen and, consequently, in the cost of the operation of vehicles.

To summarize, the electric vehicle is only a tool with high potential, which is due to its indirect impact on the environment during manufacture of the vehicle itself and while producing fuel, therefore, generation of electricity or production of hydrogen in a non-polluting method will increase decarbonisation of road transport.

Table 2

Fuel-related operation costs for a battery electric vehicle and for a hydrogen electrochemical vehicle [performed by the authors]

Power plant type	Electric vehicle mileage, thousand km					
	50		100		200	
	Battery		Battery		Battery	
Fuel expenses, thousand rubles	26,8	125	53,7	250	107,4	500

REFERENCES

1. Grushnikov, V. A. Smart motorisation. Electric vehicles [Razumnaya avtomobilizatsiya. Elektromobil]. *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*, 2017, Iss. 4, pp. 47–52. EDN: XXZHTR.
2. Khamad, I., Abdullaev, E. G., Butov, A. V. Application of innovative technologies: the example of Tesla [Primenenie innovatsionnykh tekhnologii na primere kompanii Tesla]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 2022, Vol. 2, Iss. 3 (123), pp. 199–206. EDN: HMFYWQ. DOI: 10.36871/ek.up. p. r.2022.03.02.022.
3. Usmanov, U., Yuldoshev, Q. State of the art of fuel cell technology in automotive industry. *Universum: technical science*, 2022, Iss. 5–11 (98), pp. 33–40. EDN: JPYCWO. DOI: 10.32743/UniTech.2022.98.5.13575.
4. Limaev, A. S., Mezin, I. Yu., Vorotnikov, M. Yu., Zotov, S. V. Improving the dynamic characteristics of an electric vehicle through the use of a multi-stage gearbox [Uluchshenie dinamicheskoi kharakteristiki elektromobilya za schet primeneniya mnogostupenchatoi korobki peredach]. *Science and Technology of Transport*, 2022, Iss. 4, pp. 61–67. EDN: DEDEJM.
5. Yusupova, O. A. On the problems and prospects for development of the electric vehicle market in Russia [O problemakh i perspektivakh razvitiya rynka elektromobiley v Rossii]. *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*, 2022, Iss. 2, pp. 38–42.
6. Nazmetdinov, N. R. Prospects for the use of hydrogen fuel in cars [Perspektivy primeneniya vodorodnogo topliva na avtomobilyakh]. *Energy and automation in modern society: Proceedings of V International Scientific and Practical conference of students and teachers*. In 2 parts. St. Petersburg, May 20, 2022. Gen. ed. T. Yu. Korotkova. Volume Part I. St. Petersburg: Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg GUPTD, 2022, pp. 171–174. EDN: WQZVUE.
7. Keller, A. V., Karpukhin, K. E., Kolbasov, A. F., Kozlov, V. N. Analysis of hydrogen use as an energy carrier in transport. *International conference on digital solutions for automotive industry, roadway maintenance and traffic control (DSART 2020)*. 2022, 012087. EDN: BPBWUP.
8. Kashirin, V. A., Mishchenko, E. V. Toyota Mirai and the principle of operation of a hydrogen engine [Toyota Mirai i printsip deystviya vodorodnogo dvigatelya]. *Scientific-practical conference of the Faculty of Agricultural Engineering and Energy Supply, Department of Engineering Graphics and Mechanics*, 2017, pp. 159–163. EDN: ZSLQZT.
9. Larin, V. Tesla electric vehicle [Tesla – elektromobil]. *Energy: economics, technology, ecology*, 2016, Iss. 1, pp. 69–72. EDN: VWHQQH.
10. Dyvak, M., Darmorost, I., Shevchuk, R. [et al.]. Correlation analysis of traffic intensity of the motor vehicles and the air pollution by their harmful emissions. *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 855–858. EDN: YBSWRN. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336331.
11. Lagerev, A. V., Khanaeva, V. N. Possible directions for reducing greenhouse gas emissions from power plants in Russia until 2050 [Vozmozhnye napravleniya snizheniya vybrosov parnikovyykh gazov ot elektrostantsii v Rossii do 2050]. *Izvestia Rossiiskoi akademii nauk. Energetika*, 2010, Iss. 1, pp. 50–58. EDN: KZDWMH.
12. Pospelov, V. K., Chuvakhina, L. G., Mironova, V. N. Current trends in global energy policy [Sovremennye trendy globalnoi energeticheskoi politiki]. Moscow, Publishing house «Scientific Library», 2022, 220 p. ISBN 978-5-907497-59-7.
13. Beliy, Yu. I., Teregulov, T. A. Hydrogen energy: advantages and disadvantages [Vodorodnaya energetika: preimushchestva i nedostatki]. *Questions of Philosophy*, 2016, Iss. 12, P. 8. [Electronic resource]: <https://scientificjournal.ru/images/PDF/2016/VNO-24/vodorodnaya-energetika-preimushchestva-i-nedostatki.pdf?ysclid=lp9lm144li339240672>. Last accessed 25.05.2023.
14. Prokopenko, A. N., Smirnov, A. A. Production of hydrogen from hydrocarbon raw materials for energy purposes [Proizvodstvo vodoroda iz uglevodorodnogo syrya dlya energeticheskikh tselei]. *Bulletin of ENGECON. Series: Technical Sciences*, 2010, Iss. 8, pp. 26–33. EDN: NCDSVR.
15. Lesyukova, V. V. Characteristics of hydrogen as a fuel and energy storage [Kharakteristiki vodoroda kak topliva i nakopitelya energii]. *Tinchurino Readings – 2021 «Energy and Digital Transformation»*, 2021, pp. 528–531. EDN: INFIQQ.
16. Limaev, A. S., Somova, Yu. V., Kovalenko, A. O., Ochikova, E. A., Akmanova, Z. S. Analysis of possibilities for reducing the environmental impact of cars on the environment [Analiz vozmozhnostei snizheniya ekologicheskogo vozdeystviya avtomobiley na okruzhayushchuyu sredu]. *Modern problems of the Russian transport complex*, 2016, Vol. 6, Iss. 1, pp. 47–50. EDN: XHSDSP.
17. Limaev, A. S., Mezin, I. Yu., Vorotnikov, M. Yu., Somova, Yu. V., Moskvina, E. A. Electric vehicle as a prospect for reducing environmental impact [Elektromobil kak perspektiva snizheniya vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu]. *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*, 2022, Iss. 8, pp. 55–59. EDN: VOAYHK.
18. Vorotnikov, M. Yu., Limaev, A. S., Mezin, I. Yu. Comparison of operating costs of an electric vehicle and a car with an internal combustion engine [Sravnenie ekspluatatsionnykh rashodov elektromobilya i avtomobilya s dvigatelem vnutrennego sgoraniya]. *Transport: science, technology, management*, 2021, Iss. 10, pp. 50–53. EDN: RJDKHU.
19. Filimonova, A. A., Chichirov, A. A., Chichirova, N. D., Raakova, R. I. Electrochemical technologies for hydrogen fuel vehicles [Elektrokhimicheskie tekhnologii dlya avtomobiley na vodorodnom toplive]. *News of higher educational institutions. Energy problems*, 2021, Vol. 23, Iss. 2, pp. 104–115. EDN: AZKNEE.
20. Timergazin, A. R., Shcheludiyakov, A. M. Road vehicles with hydrogen fuel cells [Avtomobilnyi transport s vodorodnymi toplivnymi elementami]. *Master's Journal*, 2022, Iss. 1, pp. 111–118. EDN: OHUUQS. ●

Information about the authors:

Limaev, Alexander S., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Technology, Certification and Car Maintenance of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, aslimaev@mail.ru.

Vorotnikov, Mikhail Yu., student at Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, vorotnikov_1996@inbox.ru.

Article received 28.02.2023, approved 27.05.2023, accepted 02.06.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 248–252

Emissions of Pollutant Gases (CO and CO₂) when Using Fuel Mixtures (Ethanol-Petrol) in Internal Combustion Engines



Yarian REYES SUAREZ



Valentin N. BALABIN



Yanoy MOREJÓN MESA

Yarian Reyes Suarez¹, Valentin N. Balabin², Yanoy Morejón Mesa³^{1,3} Agrarian University of Havana, Mayabeque, Cuba.² Russian University of Transport, Moscow, Russia.✉ ¹ yarianrs@gmail.com.✉ ² ybbn2347@gmail.com.✉ ³ yymm@unah.edu.cu.

ABSTRACT

The objective of the study is to evaluate the emissions of pollutant gases (CO and CO₂) when using fuel mixtures (ethanol-petrol) in internal combustion engines. The experiments were carried out in the Engine Laboratory of the Faculty of Engineering Sciences of Agrarian University of Havana (AUH) using JACTO engine. To obtain the amount of toxic gases emitted into the atmosphere (CO₂ and CO), the balance of the combustion equations was proposed for the different mixtures estimated taking into account the established

coefficients of excess air. The analysis of the combustion process based on 10, 20 and 30 percent ethanol mixtures with hydration (80%; 85%; 90 %; 95%) and conventional petrol of category B-85 for rich mixtures ($\alpha = 0,85$) and for lean mixtures ($\alpha = 1,15$) showed that CO₂ and CO emissions to the atmosphere are reduced to 17% for considered mixtures as compared to petrol. Despite higher relative fuel consumption as compared to petrol, there is a significant positive environmental effect.

Keywords: road transport, internal combustion engine, pollutant gases, petrol, mixtures, ethanol, fuel, combustion.

For citation: Reyes Suarez, Y., Balabin V. N., Morejón Mesa, Y. Emissions of Pollutant Gases (CO and CO₂) when Using Fuel Mixtures (Ethanol-Petrol) in Internal Combustion Engines. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 248–252. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-12>.

The text of the article originally submitted in English is published in Russian in the first part of the issue.

Текст статьи, изначально представленный на английском языке, публикуется на русском языке в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

One of the most important tasks today is to reduce emissions of harmful substances into the atmosphere during fuel combustion, including in vehicles.

Currently, 40 % of total energy consumption comes from fossil fuels, and more than 90 % of this consumption comes from the transport sector [1; 2]. Therefore, it is necessary to improve the environmental efficiency of units and devices based on the burning of these fuels and reduce their harmful effects [3].

The analysis showed that when an internal combustion engine (ICE) runs on natural gas, CO₂ emissions are reduced by 23–38 %. By running on natural gas mixed with synthesis gas derived from the main fuel, CO₂ emissions into the atmosphere can be reduced by 52 % by reducing the toxicity of exhaust gases to the required level [4–7].

Another way to approach the problem of reducing emissions into the atmosphere is the use of biofuels, whose main practical advantage is that, within certain volume limits, it can be combined with traditional fossil fuels and used in existing energy systems, such as engines of passenger cars and freight vehicles [8].

Following the research *objective* to determine the amount of toxic gas emissions into the atmosphere when using fuel mixtures (ethanol-petrol), the authors carried out the study that allowed quantifying the toxic gases (CO₂ and CO) and subsequently comparing them with similar values obtained during the use of conventional fuel (petrol).

RESULTS

Research Methodology

To determine the amount of CO₂ and CO emitted after combustion of different mixtures, a methodology based on the works of several authors [9, pp. 351–399; 10; 11, pp. 232–282; 12; 13] was used that necessitated:

– To establish the coefficients of excess air used (quantity α of air supplied) in the different tested mixtures.

• To determine the amount of substance in the fuel mixture (ethanol-petrol or pure petrol) involved in the combustion process, this can be determined by the expression (1).

• To balance the chemical combustion equation for different mixtures tested taking into account the established excess air (α) coefficients, for example:

for $\alpha=1,5$,
$$xC_7H_{17} + yO_2 + zN_2 \leftrightarrow mH_2O + nCO_2 + wO_2 + lN_2 ;$$

for $\alpha=0,85$,
$$xC_7H_{17} + yO_2 + zN_2 \leftrightarrow mH_2O + nCO_2 + wCO + lN_2 ,$$

where x, y, z, n, m and w and l are the amount of substance in each substance (kmol).

• After balancing the chemical equation for cases where the coefficient of excess air differs from the unit $\alpha = 1$, such a coefficient is multiplied by the amount of substance in the air components in the reactants (O₂; N₂), changing the amount of substance released in the combustion products.

The amount of substance in the fuel mixture (n) was determined by the formula:

$$n = \frac{M}{\mu_c} \text{ kmol}, \tag{1}$$

where: μ_c – molecular weight of the fuel, kg/kmol (Table. 1);

M – is the fuel mass, kg, which is defined by the expression (2):

$$M = \rho * G_h, \text{ kg}, \tag{2}$$

where: ρ – density of the fuel mixture, kg/l (Table 2);

G_h – consumption per hour of the fuel mixture, l/h.

To determine the fuel consumption, one litre of each mixture was used and a stopwatch with an accuracy of ± 0.01 s (Fig.1) determined the time during which this litre was spent.

Table 1

Molecular weight of the substances involved in the combustion process

Substances	Nomenclature	Molecular weight, kg/kmol
Petrol	C ₇ H ₁₇	101
Ethanol-Petrol	C ₉ H ₂₁ O	147
Dioxygen	O ₂	32
Water	H ₂ O	18
Dinitrogen	N ₂	28
Carbon monoxide	CO	28
Carbon dioxide	CO ₂	44

PLANETCALC: Online calculators. Molecular weight of mixtures. Copyright © PlanetCalc. Version: 3.0.4240.0; 2023. https://planetcalc.ru/329/?language_select=ru.



Table 2

Fuel mixture density [performed by the authors]

Fuel	Ethanol	Petrol	Ethanol 10 %+ Petrol	Ethanol 20 %+ Petrol	Ethanol 30 %+ Petrol
Density, kg/l	0,789	0,680	0,789	0,7018	0,7073



Pic. 1. Digital stopwatch com precision $\pm 0,01$ s.

Experimental Research

The experiments were carried out in the Engine Laboratory of the Faculty of Engineering Sciences of Agrarian University of Havana (AUH). A single-cylinder JACTO engine was used. Analysis of the combustion process based on mixtures of 10, 20, 30 % ethanol and conventional petrol of category B-85 (E-10, E-20, E-30). Before combustion, the degree of hydration of ethanol (80 %; 85 %; 90 %; 95 %) and type of mixture were determined. According to the theoretical assumption that stoichiometric fuel mixture is called rich with $\alpha < 1$ and lean with $\alpha > 1$, rich mixture was used with $\alpha = 0,85$ and lean mixture with $\alpha = 1,15$.

The engine used has an effective power of 1,2 kW, rotation speed of 580 rpm, combustion chamber volume of 34 cm³.

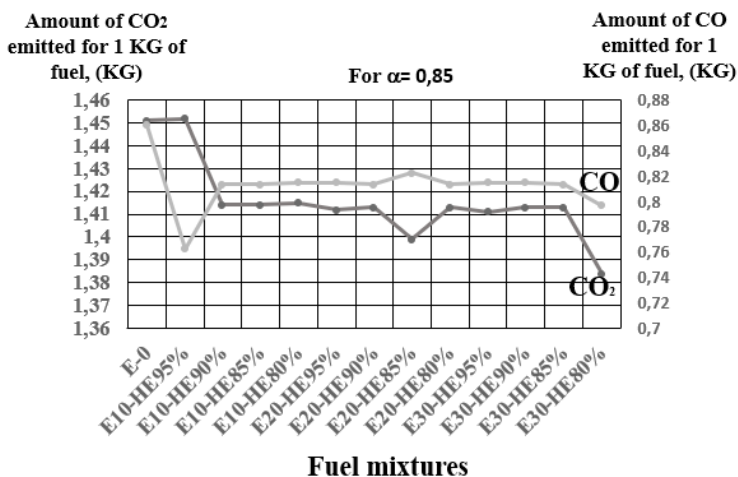
The following mixtures were prepared: 10 % ethanol with 95 % hydration + Petrol (E-10-EH-95 %); 10 % ethanol with 90 % hydration + Petrol (E-10-EH-90 %); 10 % ethanol with 85 % hydration + Petrol (E-10-EH-85 %); 10 % ethanol with 80 % hydration + Petrol (E-10-EH-80 %); 20 % ethanol with 95 % hydration + Petrol (E-20-EH-95 %); 20 % ethanol with 90 % hydration + Petrol (E-20-EH-90 %); 20 % ethanol with 85 % hydration + Petrol (E-20-EH-85 %); 20 % ethanol with 80 % hydration + Petrol (E-20-EH-80 %); 30 % ethanol with 95 % hydration + Petrol (E-30-EH-95 %); 30 % ethanol with 90 % hydration + Petrol (E-30-EH-90 %); ethanol with 85 % hydration + Petrol (E -30-EH-85 %) and 30 % ethanol with 80 % hydration + Petrol (E-30-EH-80 %).

The Table. 3 shows the results of the fuel consumption for each of the mixtures as well as for Petrol (E-0). It is noted that with increase in concentration of ethanol and in its hydration, fuel consumption increases by 0,583 l/h. In addition, in mixtures at $\alpha = 1,15$, fuel consumption increases, since the mixture contains more air, and the fuel burns faster.

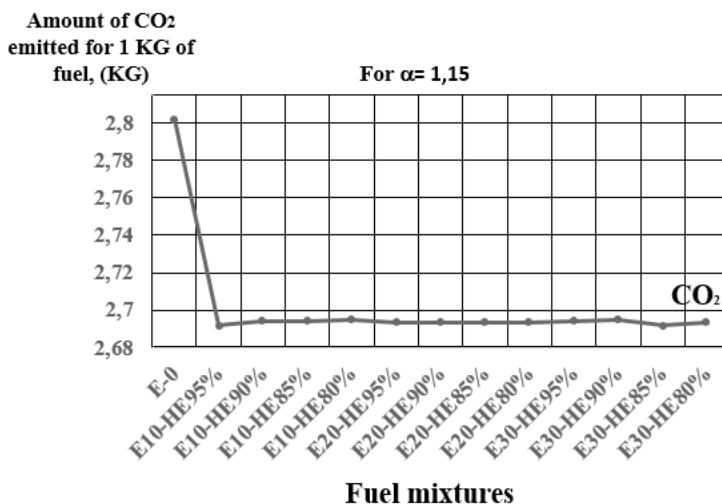
Table 3

Fuel consumption per hour [performed by the authors]

fuel	Specific fuel consumption per hour, for different α , l/h	
	$\alpha=0.85$	$\alpha= 1,15$
E-0	0,675	0,667
E-10-EH95 %	0,716	0,783
E-10-EH90 %	0,774	0,837
E-10-EH85 %	0,861	1,029
E-10-EH80 %	0,921	0,994
E-20-EH95 %	0,779	0,923
E-20-EH90 %	0,911	0,986
E-20-EH85 %	0,968	1,020
E-20-EH80 %	1,032	1,169
E-30-EH95 %	0,828	0,986
E-30-EH90 %	0,970	1,029
E-30-EH85 %	1,037	1,078
E-30-EH80 %	1,118	1,250



Pic. 2. The amount of CO₂ and CO emitted to the environment during the combustion process for rich mixtures [performed by the authors].



Pic. 3. Amount of CO₂ released into the environment by the combustion of poor mixtures [performed by the authors].

Ecological Analysis of the Results of Experiments

The results obtained for fuel (per each kilogram) used in the combustion process for rich mixtures with an excess air coefficient $\alpha = 0.85$ are shown in the graph in Pic. 2, which allows to observe the behaviour of CO₂ and CO regarding different mixtures studied.

The graph above shows the amount of carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) released into the environment by the combustion of the various mixtures tested for $\alpha = 0.85$. As can be seen, with mixtures of ethanol and petrol, the largest amount of CO₂ is released by E-0-EH-95 % mixture, reaching a value of 1,452 kg per kilogram of fuel burned, which is by 0,001 kg more than with petrol (E-0).

In the remaining mixtures, values lower than for E-0 and E-10-EH-95 % were obtained. For

example, values in the range from 1,384 kg (mixture E-30-EH-80 %) to 1,412 kg (mixture E-20-EH-95 %) show results lower than E-0 by 0,067 kg and by 0,039 kg, respectively.

On the other hand, the highest amount of CO emitted per 1 kg of fuel used was recorded with the E-0 petrol with a value of 0,860 kg, followed by the E-20-EH-85 % mixture (value of 0,823 kg). It has been determined that the use of the E10-EH-95 % mixture is the most favourable for the environment since the emissions reach the lowest values (0,762 kg).

If both gases (CO and CO₂) are considered, the mixture with the lowest emissions would be E10-EH95 %.

In the same way, a gas analysis was carried out for the combustion of lean mixtures with an excess air coefficient $\alpha = 1.15$, the graph presented in Pic. 3 was so obtained.



So, Pic. 3 shows the amount of carbon dioxide (CO_2) emitted to the environment during the combustion of the different mixtures studied for $\alpha = 1,15$. As can be seen, when ethanol and petrol mixtures are used, the least amount of CO_2 is released by E-10-EH-95 % and E-30-EH-85 % mixtures, reaching a value of 2,692 kg per kilogram of fuel burned, which is 0,11 kg less than in E-0. At the same time, for the other mixtures, the indicators were also lower than for E-0, with values from 2,693 kg to 2,695 kg.

CONCLUSIONS

The study has confirmed that the use of biofuels reduces the release of toxic gases (CO_2 and CO) into the atmosphere, contributing to environmental protection and, therefore, to improving human life, which is consistent with several studies on the subject [5;14].

Particularly:

1. For the rich mixtures, the largest amount of CO_2 is released by E-10-EH-95 % mixture, reaching a value of 1,452 kg per kilogram of fuel burned, which is 0,001 kg more than with Petrol (E-0), for the rest of the mixtures results below E0 were obtained within the range from 0,067 kg to 0,039 kg of difference in the amount of CO_2 emitted.

2. For rich mixtures, the lowest amount of CO emitted per 1 kg of fuel used was achieved using E-10-EH95 % with a value of 0,762 kg.

3. For lean mixtures, the least amount of CO_2 is released by E-10-EH-80 % and E-30-EH-90 % mixtures, reaching a value of 2,692 kg per kilogram of fuel burned, which is by 0,11 kg less than that by E-0, while the values for the rest of the mixtures were lower than for E-0, with values from 2,693 kg to 2,695 kg.

REFERENCES

1. Martins, F., Felgueiras, C., Smítoková, M., Caetano, N. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies*, 2019, Vol. 12, Iss. 6, 964. DOI: 10.3390/en12060964.
2. Alieva, A. V., Akhmedkhanova, Z. B., Belov, A. V., Gadzhikhonov, A. S. Determination of the Main Indicators of Technogenic Impact During the Liquidation of Mines for the Extraction of Solid Fossil Fuels and the Sustainability of the Ecological State of the Environment. *Earth Sciences*,

- 2017, Iss. 3 (32), pp. 37–45. [Electronic resource]: <http://csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2017-3-04&ysclid=lnco1ltpnk954171432>. Last accessed 28.04.2023.

3. Begaly, Z. D., Ryspaeva, M. Zh. Investigation of the formation of reaction products during combustion of liquid fuel of various weights. *Young scientist*, 2022, Iss. 2 (397), pp. 30–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47703877&ysclid=lnco4v272d672406209>. Last accessed 28.04.2023.

4. Baranov, M. E., Gerasimova, L. A., Gerasimova, V. E., Khizhnyak, S. V. Analysis of the Environmental Situation at Rocket Fuel Storage Facilities. *Bulletin of SibGAU*, 2016, Vol. 17, Iss. 4, pp. 1044–1052. [Electronic resource]: <https://vestnik.sibgau.ru/vestnik/874/>. Last accessed 28.04.2023. [Full text of the issue].

5. Zakharov, E. A., Shevyakova, O. A., Shirshov, D. B. Assessment of the environmental efficiency of the use of combustible gases as fuel for internal combustion engines with spark ignition. *Young scientist*, 2012, Iss. 2 (37), pp. 29–32. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17711262&ysclid=lnco4v272d672406209>. Last accessed 28.04.2023.

6. Ivanova, L. A. The Effect of Rocket Fuel on the Human Body at the objects of its Use, Storage and Disposal. *Young Russia: Advanced Technologies – to the Industry*, 2015, Iss. 4, pp. 153–158. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24913235&ysclid=lnco4v272d672406209>. Last accessed 28.04.2023.

7. Osiko, S. M. Environmental problems of rocket and space activities: the impact of rocket fuel on the state of the environment in the fall areas of spent stages. *Young scientist*, 2020, Iss. 23 (313), pp. 482–484. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42969347&ysclid=lnco4v272d672406209>. Last accessed 28.04.2023.

8. Slyadnev, G. E., Litvinov, P. V., Rumenko, S. O., Polynskaya, A. A. Prospects for the use of biodiesel and diesel fuel in the form of mixtures and during ultrasonic processing. *Young scientist*, 2017, Iss. 11 (145), pp. 108–111. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28840609&ysclid=lnco13fjhy13251666>. Last accessed 28.04.2023.

9. Faires, V. M., Simmang, C. M. Thermodynamics. Editorial Macmillan, 1978, 680 p., pp. 351–399. ISBN 968-438-029-1.

10. Fayette, C. T. The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice, Volume I: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance. Second Edition. Massachusetts Institute of Technology PRESS and London, England, 1985, pp. 67–265. ISBN 978-0-262-20051-6.

11. Kurt, C. R. Thermodynamics and heat power. Sexta edición. University of Wisconsin – Platteville, 2006, 768 p., pp. 232–282. ISBN 0131139282.

12. Swendsen, R. H. An Introduction to Statistical Mechanics and Thermodynamics. 2020, 496 p., pp. 132–146. ISBN 978-0-19-885323-7. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198853237.003.0011>.

13. Yunus, A. Ç., Michael, A. B. Thermodynamics. An Engineering Approach. Sixth edition, 2008, pp. 767–842 p. ISBN 978-0-07-352921-9.

14. Manieniyani, V., Thambidurai Muthuvelan, Selvakumar, R. Study on energy crisis and the future of fossil fuels. *Proceedings of SHEE*, 2009. DOI: 10.13140/2.1.2234.3689.

Information about the authors:

Reyes Suarez, Yarian, PhD student at the Russian University of Transport; Professor at the Agrarian University of Havana, Mayabeque, Cuba, yarianrs@gmail.com.

Balabin, Valentin N., D.Sc. (Eng), Professor at the Russian University of Transport, Moscow, Russia, vbnn2347@gmail.com.

Morejón Mesa, Yanoy, D.Sc. (Eng), Professor at the Agrarian University of Havana, Mayabeque, Cuba, ymm@unah.edu.cu.

Article received 28.02.2023, approved 27.05.2023, accepted 02.06.2023.



TRANSPORT FACTORS IN THE HISTORY

254

Analysis of an «advancement effect» proposed to assess the impact of geographical situation and state of development of transportation links and systems on the social and economic status of regions, countries and cities.



HISTORICAL HERITAGE OF TRANSPORT

264

Study on the activity aimed at preserving transport rarities during «perestroika» period.



GALLERY OF NAMES

274

Biography of famous scientist and bridge engineer Nikolai A. Bebel'yubsky presented in 1892.

HISTORY WHEEL





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-13>

The Role of Transport in Formation of the «Advancement Effect» in Ancient and Medieval Societies



Dmitry A. Macheret^{1,2}

¹ Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

² Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ macheretda@rambler.ru.

Dmitry A. MACHERET

ABSTRACT

Transport has played a very significant role in formation and development of ancient and medieval civilisations. At the same time, since ancient times, the transport factor has contributed to advancement of various social communities and societies (manifested in achievement of leadership by the corresponding cities, regions, countries) and formation of the «advancement effect», the essence of which is the possibility of more efficient use of available resources and implementation of existing advantages to ensure successful development.

The influence of transport on formation of the «advancement effect» of societies is based on a wide range of socio-economic effects that are generated during movement of goods and passengers. These include, inter alia, adding value to goods as a result of movement, stimulating growth in the volume, scale and efficiency of goods production, disseminating knowledge, ideas and stimulating innovation.

Because of the effects generated by transport activities, the centres of this activity develop rapidly and achieve economic, and

often also political and cultural leadership. At the same time, transport leadership is associated both with geographical location and with socio-economic (primarily institutional) conditions that provide the opportunity to implement the benefits of the geographical location.

The provided analysis covering approximately five thousand years of existence of ancient and medieval civilisations, using many examples, showed that transport indeed played an important role in advancement of certain societies localised within cities, regions and countries. Their advancement to leadership positions was achieved due to the synergy of an advantageous geographical location, innovative development of technical means of transport and institutions that facilitate the efficient conduct of transport activities and development of transport and commercial ecosystems. In turn, the cessation or significant weakening of the beneficial effects of the transport factor led to the loss of leadership positions by societies and the decline of the corresponding economic centres.

Keywords: transport, «advancement effect», ancient civilisations, the Middle Ages, economic centres, transport and commercial ecosystem, trade and transport activities.

For citation: Macheret, D. A. The Role of Transport in Formation of the «Advancement Effect» in Ancient and Medieval Societies. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 254–263. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-13>.

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

To understand the long-term developments of transport, assess its role in modern society and future prospects, historical analysis is very productive [1–11].

Transport had played a very significant role in formation and development of ancient civilisations [3; 12], and then, in the Middle Ages, became a factor in overcoming destructive socio-economic phenomena (such as naturalisation of the economy and disurbanisation), searching for new options for trade and economic relations [13–15], and, having reached a high level of development, contributed to the entry of mankind in the era of modern times, and then in the era of modern economic growth [7; 14; 16].

Along with considering the role of transport in global socio-economic history, it is of interest to analyse it in specific historical periods and in certain regions of the world. This «ascension to the concrete» provides for better understanding of the importance of the transport factor in socio-economic development. To solve this problem, it seems very descriptive to reveal the role of transport in implementation of the «advancement effect» in the process of socio-economic development.

The objective of the study is to identify the role of transport in formation of the «advancement effect» in ancient and medieval societies using the method of historical analysis.

RESULTS

Essence of «Advancement Effect»

The essence of the «advancement effect» is that, under the influence of the emergence of such a favourable combination of internal characteristics of an individual or society, which can be interpreted as a relative advantage, such an individual is promoted to leadership positions in society (i. e., individuals united within the framework of a particular organisation or geographically localised community – city, region, country) among other similar societies.

As a result of advancement, the individual's «previously hidden (unclaimed) abilities manifest themselves and new ones appear and develop» [17, p. 71].

When society is advancing, in turn, it becomes possible to more effectively use existing resources and implement the advantages that it has, which allows it to ensure its leadership and contributes to development associated with formation of a wide range of effects. Taken

together, this can be defined as the «advancement effect» of society.

When analysing the advancement of certain societies (manifested in achievement of leadership by the corresponding centres of economic activity, regions, countries), the role of various factors is highlighted, but attention to the role of transport is often not focused [18–22].

At the same time, it was the transport factor that played an important role in advancement of various societies since ancient times [6; 7; 12] and formation of a «advancement effect», which deserves substantive consideration.

Economic Basis of the Influence of Transport on Formation of the «Advancement Effect»

The influence of transport on formation of the «advancement effect» of societies is based on those socio-economic effects that are generally generated during movement of goods and passengers.

When goods are transported, their value increases [23]. This may be due to the following reasons.

The first reason is the greater scarcity of the product in the destination region compared to the origin region, as a result of which the product in the destination region is used to satisfy more important needs and, therefore, has greater value. This reason can be defined as the «good's rarity factor».

The second reason («the factor of efficient use of goods») is the possibility of more efficient use of goods in the destination region compared to the departure region. For example, for raw materials, this may be the opportunity for deeper processing and obtaining finished products that have a higher value than in the region of origin. And since the value of a resource is determined by the value of the product produced using it [24], an increase in the cost of the resulting product also increases the value of the resource.

The third possible reason is the higher level of per capita income in the destination region («consumer solvency factor»), as a result of which a product used even to satisfy needs that are not more significant than in the origin region may have a higher monetary value.

In each specific case, the excess of the value of the goods at the point of destination over the value at the point of departure can be explained by either one of these factors or their interaction. Moreover, in the latter case, the action of



individual factors may be in the opposite direction. For example, a product may be transported from a region with a high level of per capita income to a region where the level of income is significantly lower. But, due to its rarity in the destination region, it may have much greater value there than in the origin region, despite the lower purchasing power of consumers.

A special case is when some benefit in a given region was not economic at all before the opening of transport links. In this case, transport communication gives an economic character to a previously non-economic good and forms its value, the basis for which is the value of this good in the destination region.

With development of transportation links, the value and rarity of goods in the regions exchanging goods, as well as per capita income, do not remain unchanged. «Long-term interconnected processes of expansion of the geographical area of sales of goods, growth of volumes, scale and efficiency of production» are «launched» [25, p. 6], as a result of which all these parameters change, and a wide range of socio-economic effects is formed.

«As a result of passenger transportation, economic effects are also formed, depending on the purpose of the trip» [26, p. 16]. It should be noted that, in addition to achieving the own goals of people making trips, these trips, one way or another, are associated with dissemination of knowledge, ideas and stimulation of innovation [7; 12; 27], which is important for socio-economic development.

Due to the effects generated by transport activities, the centres of this activity develop rapidly and achieve economic, and, often, closely related political, as well as cultural, leadership.

In turn, transport leadership is associated not only with geographic location, but also with socio-economic (and above all, institutional [27]) conditions that provide the opportunity to implement the benefits of geographic location. In other words, an advantageous geographical location creates the preconditions for formation of an «advancement effect» based on transport activities but does not guarantee it.

The Role of Transport in Formation of the «Advancement Effect» in the Ancient World

In the modern world, key importance for successful, leading development of cities and regions obtains their inclusion in global chains

of transport and logistics links [28]. However, the influence of transport links on economic, social and cultural progress was detected already in antiquity. Moreover, a number of authors reasonably note the primacy of transport factors in formation of the most ancient «river» civilisations [29; 30] in the valleys of the «great rivers» (Nile, Tigris and Euphrates, Indus, Ganges, Yellow River, Yangtze) [31].

Thus, in the most ancient period of the history of Egyptian civilisation (the end of 4th millennium BC) advancement of Upper Egypt and its most important city of Thebes (Luxor) has reason to be associated with the advantageous geographical position of Thebes «in the great bend of the Nile, where the river is separated from the Red Sea by just one hundred miles» [12, p. 232], which created the possibility of contacts with the Sumerian civilisation developing in the same period in Southern Mesopotamia. In turn, the subsequent unification of Upper and Lower Egypt under the leadership of the first can be explained by the fact that it was in Upper Egypt that the sail was mastered, which gave it a key transportation advantage [32].

The basis of the «river» civilisations of antiquity was agriculture. The development of transport gave them the opportunity to implement their comparative advantages based on the exchange of surplus agricultural products for other necessary resources (metals, timber, etc.), which contributed to their advancement within the framework of the then Oecumene.

The use of sea communications allowed the formation of centres whose *basis* for existence and prosperity was the symbiosis of transport and commerce, which can be defined as a *transport and commercial ecosystem*.

In 3rd millennium BC, there was an advancement of the city of Dilmun, located on the island of Bahrain in the Persian Gulf, which flourished due to the transit trade in metals and luxury goods and the import of hundreds of tons of food delivered over hundreds of kilometres [33; 34]. Essentially, Dilmun was a port hub in the transport and commercial system that connected regions with access to the Persian Gulf and the Arabian Sea. The subsequent disruption of interregional trade flows led to the decline of Dilmun.

An even more striking and important example of advancement based on sea communications in the same era is the Minoan

civilisation on Crete, which «emerged and existed precisely due to intermediary international trade» [35, p. 265]. The Minoans managed to establish «thalassocracy» («sea dominion»), which meant «the complete dominance of the Cretan fleet in the Eastern Mediterranean» and «put Crete on a par with other great powers of antiquity» [36, p. 215].

Carrying out an intensive «exchange of not only goods, but also ideas» with various regions of the Mediterranean and Western Asia [37, p. 341], the Minoans received outstanding achievements in development of economy and culture. When, around 1450 BC, as a result of a volcanic eruption and a strong earthquake, the Minoan civilisation suffered a catastrophe, naval leadership for about two centuries passed to the Achaeans, who lived on the mainland coast of the Aegean Sea [37], «whose ships were saved from destruction by safe bays and harbours of the Peloponnese and Asia Minor» [35, p. 266]. This is a remarkable example of advancement to a vacated leadership position, which became possible not simply due to the fact that it became vacant, but due to the existing prerequisites – development of navigation among the Achaeans and the favourable geographical location of their settlements.

However, advancement of the Achaeans was not very long-term by historical standards. It ended in 13th – 12th centuries BC, when the balance in the Middle East was disrupted, favourable conditions for trade disappeared, and the Achaeans were forced to switch to autarky, during which the internal struggle for limited resources intensified, which led to «the decline of culture, oblivion of previous sources of inspiration and achievements» [38, p. 27].

A much greater historical role was played by emergence of competing Phoenician and Greek cities and the colonies they founded as leaders in Mediterranean navigation and trade in 1st millennium BC. [12; 39]. At the same time, advancement of Phoenician cities was particularly facilitated by their geographical location at the junction of the Mediterranean Sea and Middle Eastern overland trade routes [39].

As for the ancient Greek city-states, among them the most successful ones and those that made the greatest contribution to world civilisation were those whose development related to the sea. For example, Corinth [39], which was located on a narrow isthmus, due to

which it «had a unique opportunity to develop maritime connections with equal ease with both the Eastern and Western Mediterranean» [35, p. 319]. And, of course, Athens, the crowning achievement of Athens was creation under their auspices of a political union of Greek states (the so-called «Athenian Maritime Union»), which provided Athens with leadership in most of Greece for a certain time [35; 38].

The effective use of land communications has also contributed to advancement of cities and regions since ancient times.

So, already in 3rd millennium BC cities developed rapidly along the trade routes in Northern Mesopotamia and Syria, the most significant of which was the city of Ebla [40]. The transport capabilities of overland routes increased significantly after camels (instead of donkeys) were used as pack animals, which made it possible to transport twice as much cargo and do it twice as quickly [34].

The use of camel caravans radically increased the efficiency of using overland trade routes, and even, in some cases, made it possible to successfully compete with sea transport [12; 34]. This is one of the earliest examples of changes in the structure of the transportation market due to transport innovation. This is also a clear example of the fact that the socio-economic significance of promising transport innovations [41] was already evident in ancient times, including in formation of the «advancement effect». So, in 1st millennium BC the advancement of the states of South Arabia (the Sabeen Kingdom, etc.) took place, actively participating in international trade using caravans [39]. At the same time, in Southern Syria, Damascus, which was «the centre of the crossing of trade routes» [39, p. 73].

The examples of the transport and commercial basis for the emergence of states that in the future turned into large and warlike empires are of historical interest.

At the beginning of 2nd millennium BC, in Northern Mesopotamia, the city of Ashur is emerging – the core of the future Assyrian state, located at the intersection of key trade routes connecting the main regions of the Middle East [37; 40]. «Assyria played the role of a transfer point... in exchange between... various regions of Western Asia. Assyria was a state lying at the intersection of caravan routes, and this explained the significance that Assyria acquired in the history of the ancient world» [37, p. 151].



The advancement of Assyria over the course of about a thousand years occurred non-linearly, periods of success were followed by weakening and decline [42]. But, even during periods of weakening, the country continued to exist. In 1st millennium BC, i. e., during the so-called Neo-Assyrian period, the development of a trading state, in which initially significant rights belonged to the bodies of community-city self-government, began to develop into a military-bureaucratic despotism [42; 43]. This was accompanied by an active policy of conquest, as a result of which at the turn of 8th – 7th centuries BC Assyria turned into a «world» empire [40; 42]. During the period of maximum power, in the middle of 7th century BC, «its borders extended from Egypt... and... the Mediterranean to the Persian Gulf» [42, p. 126]. At this time, the centralisation of power and the regulation of all aspects of people's lives were also maximised; the economy was dominated by the state economy; mass deportations of conquered peoples were carried out [42; 43]. All this gave rise to social tension, leading to uprisings and palace coups. At the end of 7th century BC, weakened by internal conflicts, the Assyrian Empire collapsed under the blows of neighbouring states that rushed to take advantage of this and disappeared forever from world history. The example of Assyria shows that in the course of advancement, which initially had a transport and commercial basis, this basis can change dramatically, which leads to an increase in «fragility» (according to N. Taleb) of the social system and the likelihood of its rapid collapse with the appearance of «black swans» (sudden disasters) [44; 45].

Two and a half centuries after the fall of Assyria, on the other side of the Oecumene – in China – the rise of the kingdom of Qin, one of the seven states then existing in the country, began [46]. Initially it had an economic, including transport and commercial basis. «Important trade routes passed through Qin territory, and trade with neighbouring tribes was one of the sources of its enrichment» [46, p. 33]. (Another key source was the most fertile land in China.)

In the middle of 4th century BC radical reforms were carried out to «turn Qin into a military camp.» «All areas of activity that did not lead to an increase in the grain product,

population and army were declared harmful, as not bringing direct benefit to the state. These areas included trade, craft, science, and entertainment» [47, p. 20]. After carrying out reforms and strengthening the army, the country began expansion, which ended with creation of the Qin Empire, which united all of China. The previously developed management principles were extended to the entire territory of China and were further developed. At the same time, measures were also taken to improve transport. «In order to connect the capital with all regions of the state, [Emperor] Qín Shǐ Huáng-dì, ordered the construction of roads and transport canals. To preserve the roads, the axles of the carts were unified, since carts with long axles went out of track and spoiled the roads built in soft loess soil» [46, p. 192]. These measures, carried out in combination with establishment of a single system of weights and measures, a single coin, certainly contributed to development of transport links, trade, and the economy as a whole, and, accordingly, strengthened the empire.

But they were not the main ones in the Qin Empire, but the system of «total control», which «did not provide for any initiative and was designed for blind, precise execution of instructions issued from above...» [35, p. 233] and was supported by the most severe punishments. Labour obligations became widespread – people were en masse sent to build the Great Wall, canals, roads and palaces. «Many people died in all these works, the country's strength was mercilessly depleted» [47, p. 26]. All this caused growing tension among both the people and the elites. The Qin Empire collapsed as a result of uprisings in 207 BC, outliving its founder by only three years. This is another historical example of the emergence of «fragility» when replacing the transport and commercial prerequisites for advancement with completely different principles.

If sea communications played a leading role in development of some societies in the Ancient World, others – land and/or river communications, then the successful development and centuries-long, fairly stable existence of the Roman state (first the republic, then the empire) was supported by the synergy of both, which is discussed in detail in [7; 12]. This paper focuses on illustrative examples concerning individual

cities and provinces of the Roman Empire, as well as related regions outside the empire.

In 1st century AD the development of both maritime and caravan trade contributed to the prosperity of cities in the eastern provinces of the Roman Empire, such as Ephesus, Pergamum, Antioch and, especially Alexandria, through which large-scale trade was carried out with India. As a result, «during this period Alexandria became the largest port of the empire» [48, p. 130]. (However, under the conditions of the empire, the development of transport brought not only benefits, but also burdens: the fulfilment of transport and road duties placed a heavy burden on the population of the Roman provinces).

The combination of sea and caravan communications within the framework of the Roman-Indian trade ensured the prosperity of the states of South Arabia. However, the subsequent reorientation of trade relations to the use of the port infrastructure of Aksum, located on the opposite, African, shore of the Red Sea, became a factor in their decline [48].

In 2nd century AD, when the economy of the Roman Empire was at its peak and trade reached its greatest extent [7], the eastern cities of the empire, Palmyra, Damascus, and Petra, located on busy caravan routes, flourished. In the western provinces, «the city of Augusta Treverorum [present-day Trier in western Germany] flourished due to trade with the Germanic tribes and Eastern Europe; the city of Carnuntum grew rich because the so-called amber road [a trade route connecting the Baltic coast with Southern Europe] passed through it» [48, p. 215].

In 4th century, when the naturalisation of the economy and the general decline of the Roman Empire took place, these processes occurred differently in the western and eastern provinces. «... While the trade relations of the population of the western cities with the Trans-Rhine and Trans-Danubian peoples were almost completely interrupted, the trade relations of the eastern provinces with Persia, Arabia and other neighbouring countries... revived again» [48, p. 453]. As a result, the eastern provinces avoided the same decline in urban culture, disurbanisation and general socio-economic degradation that occurred in the west of the empire. This can be seen as one of the key reasons for the different fate of the Western and Eastern parts of the Roman Empire in the future:

if the first collapsed at the end of 5th century, the second (which went down in history as Byzantium) existed after that for almost a thousand years. Thus, the transport and commercial ecosystem is not only a factor in advancement of the society, but also insures it against regression, which inevitably occurs in the context of the decline of trade and transport activities.

In turn, the lack of conditions for dynamic development of communications and trade and transport activities in specific regions leads to their long-term socio-economic lag. A clear example is sub-Saharan Africa, whose lag behind the northern part of the continent, Asia and Southern Europe began to manifest itself already in antiquity. After formation of the Sahara Desert in 3rd millennium BC, most of sub-Saharan Africa found itself in a semi-isolated world, which had extremely limited external connections and poor internal communications: the natural and climatic conditions were unsuitable for camels and of little use for horses, so that loads were moved by land by porters, the possibilities of transportation along rivers were also limited, and wheeled transport was practically impossible [16; 40]. This meant extremely high transport costs, which practically acted as an economic barrier to large-scale exchange of goods and specialisation of production [49]. Accordingly, in conditions of extremely limited exchange opportunities, there was no incentive to produce anything beyond what was necessary for one's own consumption [40; 49], which means improving production methods and tools. The institutions that emerged under these conditions also did not stimulate development. The consequences of these problems, which formed in ancient times, were reflected throughout the history of the continent, right up to the present day.

The Role of Transport in Formation of the «Advancement Effect» in the Middle Ages

During the Middle Ages, the beginning of which is usually attributed to the middle of 1st millennium AD, a serious transformation of trade and transport connections took place [13], which led to the emergence of new economic centres both on previously existing and on newly emerging communication routes – land, river, sea routes and, using (as far as possible)



modern terminology [50], on multimodal routes.

Already in the early Middle Ages, Constantinople became the largest centre of the Mediterranean [35; 51], and it retained this role for many centuries, including due to its extremely advantageous geographical position at the intersection of the most important sea and land trade routes: «merchants from all countries by sea and by land flocked to Constantinople to trade» [52, p. 169].

In the new configuration of trade and transport links that emerged in connection with advancement of Constantinople, the role of routes running through the Arabian Peninsula increased. «... This new state of affairs brought to the forefront Mecca, a trading city located halfway from Yemen to Syria» [35, p. 466], which was later to play a very important role in the history of not only Arabia, but of all mankind.

In 8th century, the expansion of Basra took place in Southern Mesopotamia, through which important trade routes passed connecting «Mesopotamia and the provinces of Southern Iran with Arabia and the distant shores of India and Africa» [53, p. 394]. It should be noted that «Basra, due to its advantageous geographical position... retained its importance throughout the medieval period...» [53, pp. 400–401].

In the same period, due to development of maritime trade between the Middle East, India and China, the state of Srivijaya emerged in Southeast Asia, providing services for transit trade flows and control of sea communications passing through the straits between the Indian Ocean and the South China Sea [32; 52]. It controlled the key coastal areas of what is now Western Indonesia and Malaysia until 13th century [54].

It is noteworthy that after the departure of Srivijaya from the historical arena, at the turn of 14th – 15th centuries, Malacca emerged as the dominant centre of transit trade in the same region, which turned into a large multicultural city where 84 languages were spoken [34]. It is equally noteworthy that approximately 130 nautical miles southeast of Malacca is Singapore, the current largest economic centre of the region. This example shows how stable the geographic factors of advancement associated with transport and commercial communications can be.

In Europe, the transition from Antiquity to the Middle Ages was associated with dramatic

transformations associated with the «Great Migration», the collapse of the largest state – the Western Roman Empire – and the formation of a number of new states. Naturally, at the same time, «transport and trade connections were transformed throughout the entire space from the Iberian Peninsula to ... the Black Sea» [14, p. 72]. These changes contributed to the loss of significance of many transport and commercial centres, but, subsequently, to the emergence of new ones. As a result of the decline of the Roman road system in the early Middle Ages, «land communication gives way to water communication, causing a corresponding displacement of urban centres... Cities located at the crossroads of communication routes, with the exception for river routes, decline» [55, p. 36].

In 8th – 9th centuries, transcontinental water trade routes were formed, connecting «Western Europe through the Baltic Sea and the rivers of Eastern Europe with the Arab East and, later, with Byzantium» [56, pp. 372–373].

First, in 8th century, the Baltic-Volga route («from the Varangians to the Persians») was formed, connecting the Baltic regions and the Northern Volga region with the Caspian regions. During 9th century, the Baltic-Dnieper route («from the Varangians to the Greeks») was formed, which provided the shortest access to the markets of Byzantium and the Middle East [13; 15; 56]. «Transcontinental routes determined the advantages of the geopolitical position of the East Slavic lands – at the intersection of powerful flows of values, multicultural impulses and influences» [56, p. 374].

At the end of 9th century, the Baltic-Dnieper route «turned into the largest route in Eastern Europe» [56, p. 375]. It was at this time «in the territory adjacent to ... the path “from the Varangians to the Greeks”» [51, p. 554] Ancient Rus is taking shape – a large, dynamically developing country, in development of which «the priority is foreign trade» [56, p. 376] remained until the middle of 10th century. Thus, the use of extensive river communications in the Middle Ages could help bring to the forefront of history not only individual centres, but also new states occupying vast territories.

As for European navigation in the Middle Ages, it developed mainly in two main regions of maritime trade – Northern and Southern. The Northern Sea covered the waters of the North

and Baltic Seas, and the Southern Sea covered the Mediterranean [52; 57]. Communications between these regions were carried out along meridional routes with maximum use of river traffic, and where this was not possible, land traffic [57]. The era of development of Atlantic, ocean communications was still ahead. In the Mediterranean, due to effective development of maritime transportation and commerce, the «northern maritime republics of Italy: Venice, Genoa and Pisa...» became leaders [56, p. 523], competing with each other. In the Northern region of maritime trade, in the first half of 13th century, a union of trading cities began to take shape, the advancement of which was facilitated by the effective use of transport communications in the conditions of development of production and trade in Europe – the Hanseatic League (Hansa) [35; 56; 57]. The origins of its creation were the free North German cities of Lübeck and Hamburg, and during its heyday, in the middle of 14th century, the Hanseatic League united about 80 cities [57]. Since «for foreign trade partners, the Hanseatic League acted as a single whole» (which did not prevent its members from being independent in all other respects and competing with each other) [35, p. 565], participation in the Hansa contributed to development of trading cities in Northern Europe. This example shows the synergy of transport, commercial and institutional factors, which is disclosed in more detail in [7; 27].

A number of large Northern European trade and commercial centres were partners of the Hansa, and representative offices of the union were located there. Among them are Veliky Novgorod, London, and Bruges, which have become the largest economic centres in their regions, largely due to the transport factor.

The advancement of Veliky Novgorod began in 10th century, which was facilitated by its geographical location – it was located on the common, northern section of the Baltic-Volga and Baltic-Dnieper transport routes [15]. In 12th century, the transport factor was supplemented by the institutional factor – in Veliky Novgorod, a «form of a free urban community» developed [57, p. 143]. Due to the synergy of these factors, «Novgorod for several centuries was a link between the Russian lands and Western Europe, a centre of economic and cultural exchange», and achieved great success «in trade, construction, crafts, and the spread of literacy» [58, pp. 3–5].

London became a powerful economic centre in 12th century, due to development of trade and transport links with one of the leading European regions – Flanders, and the cities of the Hanseatic League [59].

In turn, in Flanders in 13th – 14th centuries, Bruges emerged as one of the largest European market centres, due to its geographical location, closely connected with the markets of the Hanseatic League, England, Germany and France [60]. However, the subsequent loss of connection with the sea due to the fact that the bay, on the shore of which the port of Bruges was located, was covered with sand, led to the centuries-long decline of the city [6]. The history of Bruges demonstrates very clearly the role of the transport factor both in advancement of economic centres and in their decline.

In 15th century, a communication breakthrough occurred due to improvements in the design of sailing ships – sailing in the Atlantic became possible now [13; 14]. This led to the loss of economic leadership by centres located on the shores of inland seas (such as Venice, Genoa, the cities of the Hanseatic League), and the advancement of countries located on the Atlantic coast to leadership – first Portugal and Spain, then Holland, and later England, in which, in turn, socio-economic institutions played an important role [7; 27; 61; 62]. At the same time, «the determining role of maritime trade became obvious, which led to the decline of traditional land routes and, as a consequence, to the decline of the countries through which these routes passed» [61, pp. 150–151].

Although, according to the concept of the «long Middle Ages» [63], it lasted until the middle of 18th century, in the last two centuries of this period – in the beginning of the modern era – dramatic changes took place, in which development of transport communications played a key role [7; 14; 16]. Therefore, the importance of transport for formation of the «advancement effect» during this period requires separate consideration.

CONCLUSION

For approximately five thousand years of existence of ancient and medieval civilisations, transport played an important role in the advancement of certain societies localised within cities, regions, and countries. Their advancement to leadership positions was



achieved due to the synergy of an advantageous geographical location, innovative development of technical means of transport and institutions that facilitate the efficient conduct of transport activities and the development of transport and commercial ecosystems.

In turn, the cessation (for one reason or another) of the beneficial effects of the transport factor led to the loss of leadership positions by societies and the decline of the corresponding economic centres.

REFERENCES

- Galakhov, V. I. Evolution of Vehicles [*Evolutsiya sredstv peredvizheniya*]. *World of Transport and Transportation*, 2007, Vol. 5, Iss. 4 (20), pp. 132–141. EDN: KLTQRL.
- Ustinova, L. S., Shevchenko, V. N. Biography of Roads and Bridges [*Biografiya dorog i mostov*]. *World of Transport and Transportation*, 2008, Vol. 6, Iss. 3 (23), pp. 154–161. EDN: KDSYXL
- Galakhov, V. I. Transport of Slaveholding Civilisation. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol. 10, Iss. 6 (44), pp. 196–206. EDN: PJTUAL
- Bolotin, M. M., Andriyanov, S. S. Methodology of the Study of Transport Machinery History. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 4 (53), pp. 160–169. EDN: SKXFLR.
- Izmaikova, A. V. Waves of Railway Innovative Development. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 5 (60), pp. 26–38. EDN: VMBPWD.
- Macheret, D. A. Socio-economic assessment of transport on the basis of historical comparisons. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 1 (62), pp. 256–271. EDN: VWEINB.
- Macheret, D. A. Transport factor in shaping the era of modern economic growth [*Transportniy faktor formirovaniya epokhi sovremennogo ekonomicheskogo rosta*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2019, Vol. 14, Iss. 1, pp. 154–179. EDN: YYFXCP. DOI: 10.18288/1994-5124-2019-1-154-179.
- Razuvaev, A. D. Economic assessment of creation, evolution, and strategic development of transport infrastructure (using the example of railway transport): Monograph [*Ekonomicheskaya otsenka sozdaniya, evolyutsii i strategicheskogo razvitiya transportnoi infrastruktury (na primere zheleznodorozhnogo transporta): Monografiya*]. Moscow, Prometey publ., 2021, 286 p. ISBN: 978-5-00172-251-9.
- Melnikov, A. History of the wheel. From a potter's wheel to an airliner landing gear [*Istoriya kolea. Ot goncharnogo kruga do shassi avialainera*]. Moscow, Tsentrpoligraf publ., 2021, 351 p. ISBN: 978-5-227-09364-6.
- Razuvaev, A. D. The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 1. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 92–102. EDN: ZRVLXG. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-6-11.
- Razuvaev, A. D. The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 2. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 106–112. EDN: GQMLSS. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-1-12.
- Macheret, D. A. Transport Factor in the Era of Ancient Civilisations. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 2 (51), pp. 230–241. EDN: SFR1KL.
- Macheret, D. A. Socio-Economic Role of Transport in the Middle Ages. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2 (57), pp. 228–237. EDN: UHOIEL.
- Mogilevkin, I. M. Transport and communications: past, present, future [*Transport i kommunikatsii: proshloe, nastoyashchee, budushchee*]. Moscow, Nauka publ., 2005, 357 p. ISBN 5-02-033425-1.
- Tsvetkov, S. V., Chernikov, I. I. Trade routes, ships of the Celts and Slavs [*Torgovye puti, korabli keltov i slavyan*]. St. Petersburg, Russian-Baltic Information Center «BLITS», 2008, 344 p. ISBN: 867891756–3.
- Maddison, A. Contours of the World Economy, 1–2030 AD. Essays in Macro-Economic History. Oxford: Oxford University Press, 2007, 427 p.
- Macheret, D. A. «Advancement effect» and increasing the value of human capital [*«Effekt vydvizheniya» i povyschenie tsennosti chelovecheskogo kapitala*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2013, Iss. 1, pp. 70–75. EDN: RAAGQF.
- Barmin, N. Yu. Adult education as a path to a country's leadership position in the world community [*Obrazovanie vzroslykh kak put k lideriskim pozitsiyam strany v mirovom soobshchestve*]. *Nauchniy potentsial*, 2011, Iss. 3 (4), pp. 18–25. EDN: OIGVUP.
- Ogorodnikova, Yu. V. Employee loyalty as the basis for achieving a company's leadership position [*Loyalnost rabotnikov kak osnovadostizheniya lideriskikh pozitsii kompanii*]. *Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologii*, 2019, Iss. 10 (97), P. 4. [Electronic resource]: <https://ekonomika.snauka.ru/2019/10/16719>. Last accessed 17.04.2023.
- Dzhumadylov, I. M., Antonova, N. L. The influence of the quality system on leadership positions in the market [*Vliyaniye sistemy kachestva na liderskie pozitsii na rynke*]. *Naukosfera*, 2021, Iss. 6–1, pp. 353–358. EDN: GQWBDE.
- Shevchenko, M. V., Popkova, M. A. Assessing the region's advantages in achieving innovation leadership [*Otsenka preimushchestv regiona v dostizhenii innovatsionnogo liderstva*]. *Belgorodskiy ekonomicheskii vestnik*, 2019, Iss. 2 (94), pp. 62–66. EDN: ZTGQXR.
- Golofastova, N. N., Dubinkin, D. M., Grigorieva, E. A. The role of innovations in technical universities in ensuring technological leadership of regions [*Rol innovatsii tekhnicheskikh universitetov v obespechenii tekhnologicheskogo liderstva regionov*]. *Voprosy regionalnoi ekonomiki*, 2021, Iss. 3 (48), pp. 25–30. EDN: UUGATN.
- Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Macroeconomic importance of transport: essential analysis [*Makroekonomicheskoe znachenie transporta: sushchnostnyy analiz*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2011, Iss. 1, pp. 13–19. EDN: NYHEFB.
- Mises, L. von. Human action. A Treatise on Economics. [Edition in Russian. Transl. from English]. Chelyabinsk, Sotsium publ., 2012, 875 p. ISBN 978-5-91603-071-6.
- Macheret, D. A. Theoretical Comprehension of the Role of Transport in Ensuring Long-Term Economic Development. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 4, pp. 6–33. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-06-33.
- Macheret, D. A. Strategic prospects for the growth of railway transportation in Russia, taking into account global trends [*Strategicheskie perspektivy rosta zheleznodorozhnykh perevozok v Rossii s uchedom mirovykh tendentsii*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2017, Iss. 6, pp. 13–22.
- Macheret, D. A., Epishkin, I. A. Mutual influence of institutional and transport factors of economic development: retrospective analysis [*Vzaimnoe vliyaniya institutsionalnykh i transportnykh faktorov ekonomicheskogo razvitiya: retrospektivnyy analiz*]. *Journal of Institutional Studies*, 2017, Vol. 9, Iss. 4, pp. 80–100. DOI: 10.17835/2076-6297.2017.9.4.080-100.

28. Khanna, P. *Connectography: Mapping the Future of Global Civilisation*. New York: Random House, 2016, 496 p.
29. Braudel, F. *Grammaire des civilisations*. Paris, Flammarion, 2013, 752 p. ISBN-13: 978-2081307933.
30. Scott, J. C. *Against the Grain. A Deep History of the Earliest States*. New Haven and London: Yale University Press, 2017, 312 p. ISBN 9780300182910.
31. Mechnikov, L. I. *Civilisation and the great historical rivers [Tsivilizatsiya i velikie istoricheskie reki]*. Moscow, Oniks publ., 2011, 236 p.
32. Paine, L. *The Sea and Civilisation. A Maritime History of the World*. New York: Vintage Books, 2015, 784 p. ISBN-13: 978-1101970355
33. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. Vol. 1. Stone Age [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 1. Kamenniy vek]*. Mn: Literatura publ., 1997, 528 p. ISBN 985-13-0065-9.
34. Bernstein W. *A Splendid Exchange: How Trade Shaped the World*. London: Atlantic Books, 2008, 400 p. ISBN 9780802144164.
35. Dedkov, N. I., Bordyugov, G. A., Shcherbakova, E. I. [et al]. *History for economists [Istoriya dlya ekonomistov]*. Gen. eds. A. D. Nekipelov and S. N. Katyrin. Vol. 1. Moscow, AIRO – XXI, 2016, 928 p. ISBN 978-5-91022-406-7.
36. *World history: In 6 vols. Vol. 1. Ancient world [Vsemirnaya istoriya: V 6 t. T. 1. Drevniy mir]*. Eds. V. A. Golovin, V. I. Ukolov. Moscow, Nauka publ., 2011, 822 p. ISBN 978-5-02-036725-8.
37. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. Vol. 2. Bronze Age [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 2. Bronzoviy vek]*. Mn: Literatura publ., 1996, 512 p. ISBN 985-13-0064-0.
38. Chamoux, F. *Civilisation of Ancient Greece*. Transl. from French. Yekaterinburg, U-Faktoriya publ.; Moscow, AST MOSCOW, 2009, 368 p. ISBN 978-5-9757-0444-3.
39. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. Vol. 3. Age of Iron [Vsemirnaya istoriya: v 24 t. T. 3. Vek zheleza]*. Mn: Literatura publ., 1997, 512 p. ISBN 985-13-1430-7.
40. Ponting, C. *World History. A New Perspective*. London, Chatto & Windus, 2000, 944 p. ISBN 9781409046394.
41. Kudryavtseva, A. V. *Socio-economic prospects for transport innovations [Sotsialno-ekonomicheskie perspektivy transportnykh innovatsii]*. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2017, Iss.2 (69), pp. 34–39. EDN: YLPVMB.
42. Vasiliev, L. S. *History of the East: In 2 Vols. Vol.1 [Istoriya Vostoka: V 2 t. T. I.]*. Moscow, Vysshaya shkola publ., 2005, 512 p. ISBN 5-06-004593-5.
43. Grebenyuk, A. V. *Series of lectures on the history of world civilisations. – Part 1. Civilisations of the Ancient East [Kurs lektii po istorii mirovykh tsivilizatsii. Chast 1. Tsivilizatsii Drevnego Vostoka]*. Moscow, Rubezhi XXI publ., 2006, 312 p. ISBN 5-347-00017-1.
44. Taleb, N. N. *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable. – New York: Random House*, 2010, 444 p. ISBN 978-1-4000-6351-2.
45. Taleb, N. N. *Antifragile: Things That Gain From Disorder*. New York, Random House, 2012, 519 p. ISBN 978-1-4000-6782-4.
46. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. T. 5. Formation of Asian states [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 5. Stanovlenie gosudarstv Azii]*. Literatura publ., 1997, 544 p. ISBN 985-13-2804-9.
47. Uvarov, P. Yu., Ryabinin, A. L. *China in the Medieval World. A look from world history [Kitai v Srednevekovom mire. Vzglyad iz vseмирnoy istorii]*. St. Petersburg, Nauka publ., 2019, 286 p. ISBN 978-5-02-039674-6.
48. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. T. 6. Roman period [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 6. Rimskiy period]*. Literatura publ., 1997, 512 p. ISBN 985-13-6274-52-4.
49. Allen, R. *Global Economic History. A Very Short Introduction*. Oxford, Oxford University Press, 2011, XVI+170 p. ISBN 978-5-93255-370-1.
50. Baranova, Yu. O. *Intermodal and multimodal transportation of goods: problems of terminology [Intermodalnie i multimodalnie perevozki Грузов: problemy terminologii]*. *Izvestiya Sankt-Petersburgskogo universiteta ekonomiki i finansov*, 2012, Iss.6 (78), pp. 85–88. EDN: PLSOSD.
51. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. T. 7. Early Middle Ages [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 7. Rannee Srednevekovie]*. Mn: Literatura publ., 1997, 592 p. ISBN 985-6274-90-7.
52. Badak, A. N., Voinich, I. E., Volchek, N. M. [et al]. *World History: In 24 vols. T. 8. Crusaders and Mongols [Vsemirnaya istoriya: V 24 t. T. 8. Krestonostsy i mongoly]*. Literatura publ., 1997, 528 p. ISBN 985-6274-91-5.
53. Sourdrel, D., Sourdrel, J. *The civilisation of classical Islam*. Transl. from French. Yekaterinburg, U-Faktoriya publ., 2006, 544 p. ISBN 5-9757-0083-3.
54. *Atlas of World History: Transl. from English by Afanasiev, S. D., Klimova, O. I., Pozdnyakova, N. A.* Moscow, Astrel, AST publ., 2004, 480 p. ISBN 5-17-020573-2, 5-271-07659-8, 0-304-34845-7.
55. Le Goff, J. *Civilisation of the medieval West*. Transl. from French. Yekaterinburg, U-Faktoriya publ., 2005, 560 p. ISBN 5-9709-0037-0.
56. *World History: In 6 vols. Vol. 2: Medieval civilisations of the West and East [Vsemirnaya istoriya: V 6 t. T. 2: Srednevekovie tsivilizatsii Zapada i Vostoka]*. Ed. by P. Yu. Uvarov. Moscow, Nauka publ., 2012, 894 p. ISBN 978-5-02-036725-8.
57. Maksakovskiy, V. P. *Historical geography of the world [Istoricheskaya geografiya mira]*. Moscow, LENAND publ., 2016, 624 p.
58. Martyshin, O. V. *Free Novgorod. Socio-political system and law of the feudal republic [Volniy Novgorod. Obshchestvenno-politicheskiy stroy i pravo feodalnoi respubliki]*. Moscow, Rossiiskoe pravo publ., 1992, 384 p. ISBN 5-7260-0212-1.
59. Mortimer, I. *Centuries of Change: Which Century Saw the Most Change?* London, Bodley Head, 2014, XII + 403 p. ISBN 1847923038, 9781847923035.
60. Attali, J. *Une brève histoire de l'avenir*. Paris, Fayard, 2009, 432 p. ISBN 2213658099, 9782213658094.
61. Uvarov, P. Yu. *The world on the eve of the early modern era [Mir nakanune rannego Novogo vremeni]*. St. Petersburg, Evraziya publ., 2022, 160 p. ISBN 978-5-8071-0558-5.
62. Acemogly, D., Robinson, J. A. *Economics versus Politics: Pitfalls of Policy Advice*. *Journal of Economic Perspectives*, 2013, Vol. 27, Iss. 2, pp. 173–192. DOI: 10.1257/jep.27.2.173.
63. Le Goff, J. *Faut-il vraiment découper l'histoire en tranches?* Paris, Seuil, 2014, 207 p. ISBN 9782021106053. ●

Information about the author:

Macheret, Dmitry A., D.Sc. (Economics), Professor, First Deputy Head of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

Article received 12.01.2023, approved 27.02.2023, accepted 04.09.2023.



**ORIGINAL ARTICLE**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-14>

How Transport Rarities Were Preserved



Nikolai M. Semenov

S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences (IHST RAS), Moscow, Russia.

✉ attmg@mail.ru.

Nikolai M. SEMENOV

ABSTRACT

The article systematises and analyses information reflecting the main approaches to preservation and presentation of monuments of transport history during the period of «perestroika». It was during this period that various social practices emerged in the field of preserving technical

monuments, which later became traditional. The author examines several important anniversary events related to the history of transport, during which numerous historical rarities were identified and preserved, and new museums and exhibitions were created.

Keywords: history of transport, «perestroika», technology, transport, material heritage, museum activity.

For citation: Semenov, N. M. How Transport Rarities Were Preserved. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 264–273. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-21-4-14>.

*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

Methodology

To explore the topic, the basic principles of modern historical science were used, primarily the principles of objectivity and historicism, as well as special historical methods (comparative-historical and problematic-chronological ones), which made it possible to identify the general and special features of the events described, the main trends and approaches to preservation and exposition of monuments of transport history. The topic of the study also led to the widespread use of materials from central and local media as a source base, for the analysis of which methods of source analysis were used. In addition, the initial data for this article was obtained through field research, i. e., as a result of the author's personal presence at the sites of the considered events, and often of a direct participation in them.

Historiography

The interest of researchers in the topic of studying, identifying, and preserving monuments of the history of science and technology, including monuments of the history of transport, has undergone ups and downs, largely depending on the socio-political processes in our country [1–6]. The course proclaimed in 1986 by the 27th Congress of the CPSU to accelerate the socio-economic development of the country based on achievements of scientific and technological progress and introduction into practice of new achievements of science and technology, contributed to an increase in society's interest in the scientific and technical heritage, the problems of its preservation and popularisation. This period includes the first works aimed at developing theoretical and methodological issues related to the problems of identifying monuments of science and technology and introducing them into scientific circulation [7; 8]. Most of the research and publications concerning monuments of the history of transport are devoted to specific rarities stored in federal and departmental museums [10; 11]. A major role in identifying and popularising such objects was played by the Polytechnic Museum, which since 1992 has been implementing the program «Monuments of Science and Technology in Russian Museums», the results of which are presented in a series of publications containing information about monuments of the history of transport [12]. Since the 1990s, the noticeable democratisation of national life generated by «perestroika» has contributed to the emergence of informal professional communities, including in

the area under consideration. The journals «Zheleznodorozhnoe Delo» (Moscow), «Lokotrans» (Stavropol, then Moscow region), «Omnibus» (St. Petersburg), «Pantograph» (Tula), etc., published by these communities on a more or less regular basis, also contain information on the issues under consideration.

Objective and Tasks of the Study

The *objective* of the study is to identify and analyse events related to preservation and exposition of large material monuments of the history of domestic transport in the period 1986–1991. Much of what is considered, unfortunately, has remained undeservedly forgotten instead of finding practical application today, when domestic transport is undergoing another noticeable transformation.

RESULTS

«City Day» as an Occasion to Recall the History

One of the positive traditions brought into Russian life by «perestroika» was the annual celebration of City Days (Native Territory Days or others). For the first time such a holiday was celebrated back in 1976 in Nizhny Tagil, Sverdlovsk region, widely known for its rich industrial heritage [9]. However, the initiative gained widespread fame after the large-scale celebration of the 850th anniversary of Moscow on September 5, 1987. Among the many diverse events, even then there was a place for the historical and transport heritage. Along the Garden Ring, closed to normal traffic, there was a large-scale rally of exhibit cars from the Museum of the History of the Moskvich Production Association (nowadays, most of those cars are preserved by the municipal «Museum of Moscow Transport», unfortunately, closed to visitors until 2024 and are shown only during occasional car rallies, temporary exhibitions such as «A Muscovite's Dream» at VDNKh [All-Russia Exhibition Centre] in 2021–2022, etc.). On the Boulevard Ring, along the preserved fragment of the circular tram route «A», «Annushka», beloved by many generations of Muscovites, excursions were held for the first time in a domestic four-axle tram car KM No. 2170, manufactured in 1929, which was comprehensively restored specially for that date. The vast territory of VDNKh became a place for displaying historical cars, preserved and restored by «car enthusiasts» on their own, most of whom were united by the Moscow SAMS club, «Pathfinders of Auto-Motor Antiques», founded back in 1976. One of its members, M. V. Atamanov,



especially for this event, completed the restoration to running condition of one of the few copies of the Mercedes-Benz 540K prototype car, manufactured in Germany in 1935 and brought to the USSR as a war trophy. And the musicians were delivered to the concert stage at the southern entrance of VDNKh, to the vivid surprise and delight of the audience, by an «old cab driver» in a carriage recreated on the basis of archival photographs, the complete and long-standing disappearance of which from Moscow streets Bulat Okudzhava so regretted then in one of his lyrical songs.

The historical and transport component of Kalinin City Days (as ancient Tver was called during 1930–1991) in 1988 and 1989 became even more large-scale and diverse. There was a parade of cars and motorcycles of previous years, preserved by local craftsmen in running condition. Among them was a heavy Harley Davidson with a sidecar trailer, received under Lend-Lease from the USA during the Great Patriotic War and retaining the license plate of Kalinin region from the 1960s. During an excursion in a retro tram recreated on the basis of a service car along the then existing ring line around the city centre, Kalinin residents and their guests were also offered a flight over the city in an An-2 biplane from a simple unpaved airfield [13–14].

The First Experience of Creating the Museum of Urban Electric Transport in Leningrad

September 29, 1987, marked the 80th anniversary of the appearance of the first modern tram line in Leningrad with cars equipped with traction electric motors, which were powered by energy from the overhead contact network. The Tram and Trolleybus Directorate of the Leningrad City Executive Committee (TTUL, now the State Unitary Enterprise «Gorelektrotrans») put forward the initiative to celebrate the anniversary by creating a Museum of full-scale carriages in Leningrad Volodarsky Tram Park (now No. 7)¹. In a short time, on the open tracks of this enterprise near Proletarskaya metro station appeared, at least cosmetically restored: a two-axle trailer car from the mid-20th century intended for winter sprinkling of tracks with sand; four-axle American trams LM+LP-33 that survived the blockade; two elegant post-war four-axle LM-57 trams (No. 5148 and No.

7176); cranes and cargo trams on various bogies. The four side tracks allocated to the Museum, each with a capacity of 4 four-axle trams of 15 meters in length, then typical for Leningrad, and another shorter track remained not filled. Cobblestones and cubes of paving stones, removed during major repairs and modernisation of the oldest Leningrad lines, were piled between them, intending to recreate in the summer of the following 1988 fragments of road surfaces that were most typical for the period of service in the city of each specific exhibit car. The Museum did not receive any formal staff: the cars were under round-the-clock surveillance by tram depot watchmen. During the daytime «off-peak» time, the same watchmen allowed single visitors to the exhibit cars, and organised groups of transport history lovers were supposed to be delivered to the «museum site» in historical or, in contrast, new cars. A prominent Leningrad collector of transport postcards, M. V. Nartsisov, who was then working in the TTUL organisation, designed a light metal canopy to protect the exhibits [15]. «Perestroika,» however, developed rapidly and a few years later, the creation of the Museum in Volodarsky tram park ceased, and some of the exhibit cars were lost. The currently existing large Museum of Urban Land Transport in the former Vasileostrovsky «trampark» built in 1907 on Sredny Avenue of Vasilyevsky Island began to take shape only a decade later: already in the completely different social and economic conditions of Russia in the 1990s.

150th Anniversary of Russian Railways

The most large-scale, significant historical and transport event of the USSR throughout the «perestroika era» should undoubtedly be recognised to be associated with the celebration of the 150th anniversary of the opening of the country's first publicly accessible mechanically-driven railway. It connected St. Petersburg and Tsarskoe Selo in November 1837 (now Detskoe Selo station within the city of Pushkin), and a year later it was extended to Pavlovsk. Having survived repeated modernisations, the 26-kilometer long line has continued to operate until the present day, since the 1920s – as part of Oktyabrskaya Railway. It is not surprising that it was V. V. Chubarov, who headed it in the 1970s, initiated the creation of the Central Museum of Oktyabrskaya Railway (CMOR), opened in 1978. However, the premises allocated to the museum in the Railway's House of Culture near the historical complex of the Warsaw railway station of the 1850s were sufficient for preservation and

¹ Operating enterprises of St. Petersburg tram since their foundation in the 19th century and till now have continued to be called tram parks, abbreviated as «tramparks», while similar enterprises in most other cities of the USSR were renamed «depots» back in the early 1930s.

exhibition of only documentary, pictorial and small material monuments, while the railway, by definition, was associated for the general public primarily with locomotives, wagons, semaphores, etc., numerous and varied, often already unique, full-scale examples of which were identified by the employees of the CMOR and an active staff of volunteer assistants at various sections of the main line. Therefore, V. V. Chubarov and museum employee V. I. Misailova took the initiative to celebrate the 150th anniversary of the Tsarskoye Selo Railway by constructing a site with several rail tracks at the stopping point «16th kilometre» of its historical route for exhibiting, at least in the open air, identified examples of historical rolling stock. Unfortunately, that area turned out to be very swampy, it needed to be filled, and it soon became obvious that it would not be possible to complete the project by a historically reliable significant date [16].

The Tsarskoye Selo Railway began operating on October 30, 1837, according to the then Julian calendar, but it was decided to celebrate its 150th anniversary with a ceremony on November 14, 1987. The original Tsarskoye Selo station, opened in 1837, was replaced by a more spacious and monumental one by the beginning of the 20th century, which later received the name of Vitebsky station. For the anniversary, it was supplemented with a glass pavilion with a life-size replica model of the very first train of 1837. This original plan was implemented on the initiative of graduate students of Leningrad Institute of Railway Engineers V. Dmitriev and P. Iminov under the guidance of lecturer B. Yanush. The boiler, firebox, and smoke box of the Provorny steam locomotive were recreated by experienced craftsmen at Leningrad-Sortirovochny-Vitebsky locomotive depot; forged wheel sets came from Leningrad-Finlyandsky; two-axle tender – from Vyborg; cast bronze steam tank from Kanonersky shipyard; the locomotive was finally assembled at Leningrad-Baltiysky depot [17]. The train of four cars was assembled according to the principle of decreasing class, starting from the locomotive: a luxuriously decorated carriage-style «Berlina» [from historical Berline carriage], a slightly more ascetic «Diligence» [diligence, stagecoach], a common people's «Charaban» [from Char-a-banc] and «Lineika» [waggonette]. The limited area of the station territory allocated for the installation of the train-monument did not allow, unfortunately, to reproduce the open two-axle platform, on which a century and a half ago, those who wished could drive directly with their own horse-drawn carriage.

Then a similar service, later forgotten, was in demand, and is now being revived by the forces of the modern JSC Russian Railways (RZD) in relation to cars and motorcycles [10].

This full-scale replica model of the first Tsarskoye Selo Railway train was designed and made for permanent stationery exposition, because its gauge, in accordance with the historical prototype, noticeably exceeded the 1520 mm (5 English feet) accepted today in Russia. Ensuring long-term preservation of the model in the open air, the team of construction and mounting train No. 707 of Dorstroytrest erected a glazed pavilion made of light metal structures above it. Unfortunately, it was not possible to ensure the convenience of not only photographing, but also simply inspecting the unique composition: too frequent metal bindings of stained-glass windows literally crushed a single image into separate fragments, completely blocked the visibility of a whole series of lovingly recreated colourful details, and made it difficult to frequently clean the glass from dust and dirt regretfully inevitable in urban conditions. Three decades later, during the preparation of Vitebsky Station to receive numerous participants and guests of the 2018 FIFA World Cup matches held in St. Petersburg, the pavilion had to be dismantled, and since then the model of the first train has been located in the Southern Complex Malaya Oktyabrskaya (in common parlance – «Children's») railway at the Tsarskoselskaya station of the historical route to Tsarskoye Selo, newly created in the first quarter of 21st century.

As part of the anniversary, an exhibition of postcards with railway landscapes of various eras and regions, provided by Leningrad collectors, in particular by Mikhail V. Nartsissov, was launched in the building of the Vitebsky station. And at the platform, effectively illuminating the riveted metal structures of the landing stage of the early 20th century with flashes of fire from the furnace, the steam locomotive O^v 324, brought into working condition, with a three-axle tender and a train of eight two-axle «dachya» (suburban) type cars of the same historical era, was noisily releasing steam. True, the steam locomotive was a «commodity» locomotive, intended for driving cargo trains, but this did not at all contradict historical accuracy: in the domestic military-revolutionary turmoil of the first half of 20th century, a specialised passenger locomotive might well not have been found, and then a cargo one would have been used to service a short commuter trip. The «lamb» boiler, as the railway workers lovingly called this type of



locomotive [as its abridged name sounds as the first letters of the word «lamb» in Russian], shortly before the anniversary ceremony had been again inspected for the full operating steam pressure provided by the manufacturer in 1903, and the cars from the turn of 19th – 20th centuries assembled at several Track Machine Stations (TMS) underwent major overhauls at the Moscow-Oktyabrskaya (5 cars) and Velikiye Luki (3 cars) depots [10]. However, it was considered best to leave this retro train stationary for the entire duration of the celebrations, taking into account its «venerable age» and inclement snowy weather.

At noon, on November 14, 1987, after three strikes of the signal bell, returned for the occasion from the museum collections to the platform of the Vitebsky station, the official guests of the anniversary set off along the historical route to Pavlovsk by another retro train, reminiscent of a much closer era. One of the last domestic passenger steam locomotives P36–0249 produced in 1956, which arrived from Sosnogorsk depot of the Northern Railway, stood at the head of a train of all-metal cars of the «interregional type» produced according to the 1962 project with airplane-style seats in common salons. This was the first retro train in domestic practice, formed specifically for historical and educational purposes, and not for filming a historical film. Despite the inclement weather, many more people wishing to make the trip gathered at the station than the cars could accommodate. On the platform in the direction of the spectacularly smoking and whistling steam locomotive P36–0249, a genuine «living corridor» was built, after having walked along which bearers of official invitations found themselves in the cars of a retro train, and a much more numerous «unorganised public» – in an electric train standing on a parallel track, that was then newest type ER2T (No. 7090) train. Manufactured at the end of October 1987 and painted in blue colour quite unusual for the USSR, it was intended for operation at the much busier Moscow railway junction, and, upon arriving in Leningrad to participate in the festive program, it surprised local passengers with diagrams of Moscow hauls posted in the cars.

That «blue train», having set off at a minimum interval after the steam train, followed the entire historical route to Pavlovsk without stopping. All that remained was to regret that this anniversary trip was not accompanied by even a brief story on the train radio network about the history of railways and/or, say, a broadcast of the well-known

«A passing song» by Mikhail Glinka: «A train is rushing in an open field...». With even greater chagrin, many guests of the holiday discovered that among the historical immovable monuments of this line was preserved only a fragment of the landing stage at the Detskoe (until the spring of 1917 – Tsarskoe) Selo station. Meanwhile, some Leningrad artists proposed to quickly make and place along the route for the holiday at least plywood silhouettes of lost buildings and hang canvases with enlarged images of the same old postcards exhibited at the Vitebsky station, but they did not find support for this [17].

Arriving just 20 minutes later at the high «island» platform of Pavlovsk station, passengers of both anniversary trains found themselves surrounded by historical rolling stock. Here they stood frozen in an impressive column:

- Steam locomotives: Er 762–90 1950 (Sortavala depot), Em 730–31 1931 (Rzhev), SOM 17–515 1938 (Leningrad-Sortirovochny), TE 5694 1943 (Dno; many guests condemned inclusion of this «trophy German item» in the exhibition), P36–0001 1954 (Leningrad-Finlyandsky).

- Diesel locomotives: TE1, TE2, TE3, TEM1, VME1, TE7, TEP60.

- Electric locomotive VL23.

- A mail and luggage car in which, judging by the sign, the body of S. M. Kirov was delivered to Moscow for burial.

- Modern four-axle covered cargo car and gondola wagon.

- Pre-revolutionary two-axle tanks with a lifting capacity of 15 tons.

- Non-braked «Normal Cargo Car (NTV)».

- Rare even in the era of its operation in the 1930s and 1940s a two-axle «armoured platform» to protect trains from a potential air enemy with anti-aircraft machine gun fire.

The second, shorter column consisted of: steam locomotives L-2112 1949 (Pskov), 9P-15387 1954 (Dno), FD20–763 1933 (Malaya Vishera), Su 253–82 1947 (Vyborg), as well as of Museum car of Oktyabrskaya Railway. The last, ordinary-looking all-metal car (an all-metal passenger car based on a domestic project of 1946, which turned out to be extremely successful and is used, with the most minimal modernisations, until the present day) served at the festival as an impromptu cinema hall, where a documentary film about modern monuments of Oktyabrskaya Railway was shown.

Of the steam locomotives exhibited, the miniature industrial 9P-15387 locomotive was distinguished by the highest quality of restoration

and preparation for display: only it had drawbars attached, roofing felt and wooden preservation covers were completely removed.

In Pavlovsk Park, where the first Russian railway ended at the Pavlovsk-1 dead-end station until the Nazi occupation in the fall of 1941, under the arches of the «Round Hall» of the mid-19th century, an exhibition was set up about the lost stage and its famous passengers. Among them was the «waltz king» Johann Strauss Jr.: he performed in a specially constructed concert hall at the Pavlovsk-1 station from 1856 to 1865 and in 1869, the epoch that was immortalised in the feature film «Farewell to St. Petersburg» by Soviet director Jan Fried.

It should be noted that the program of the anniversary celebrations also included an exhibition of the latest (as for 1987) railway equipment, deployed on the tracks of another Leningrad station – Finlyandsky, which was severely destroyed during the Great Patriotic War and, the only one in the city, was then restored in a modernist style. Well, in general, the organisation of the celebrations and the completeness of the presentation of full-scale historical equipment were in no way inferior to what the author of this article personally saw during the celebration of a similar, 150th anniversary of the Swiss railways in 1997 [18].

The described celebrations dedicated to the 150th anniversary of the Russian railways inspired the famous film director Alla Surikova to create the comedy «Choknutye» [Crazy people]. To film several episodes, a model train of 1837 was removed from the pavilion and set in motion by a tow rope invisible to the audience; smoke and steam from the locomotive were simulated using pyrotechnics. Unfortunately, all this did not help to achieve complete historical accuracy: the film did not make a noticeable impression on the specialists in the field of history.

Meanwhile, the clearly insufficient thoughtfulness and consistency of the implementation of «perestroika» soon resulted in a noticeable deterioration in the socio-economic situation of the USSR. It was possible to complete and inaugurate the above-mentioned relatively small, three-track, museum site for railway equipment on the 16th kilometre of the historical route to Pavlovsk only on Railwayman's Day, on the first Sunday of August 1989, and the first exhibition there was opened two years later. All this time, after the anniversary celebrations, the meticulously restored locomotives and cars were

stored dispersed and inaccessible to visitors, often in far from the best conditions, in various depots, or even simply on station sidings. The long-awaited opening of the exposition was largely facilitated by the personal enthusiasm of CMOR employee M. M. Ryazantsev, who became the first head of this museum site. To further attract visitors, the nearest stopping point for commuter electric trains was renamed from the faceless «16th kilometre» to the «Locomotive Museum», although the exhibition included almost all types of rolling stock.

An important, but almost unnoticed event was the opening on August 4, 1989, (on the occasion of the next Railwayman's Day) of the first museum in the USSR with an extensive exhibition of full-scale samples of large railway equipment at the Tashkent-North (also known as Tashkent-Central) station in Uzbekistan. The creation of the museum exhibition became possible thanks to the initiative and enthusiasm of Nikolai Belogurov, a fourth-generation railway worker, sent in the early 1980s from the central office of the USSR Ministry of Railways to help improve the work of the Central Asian Railway [19]. N. Belogurov found a way out in the maximum updating and unification of traction rolling stock. 40 series of steam and diesel locomotives were operated on the line, including those produced at the beginning of 20th century, which were increasingly experiencing failures and problems in the supply of spare parts and consumables. N. Belogurov, having managed to enlist the support of Heydar Aliyev, Vladimir Dolgikh and Yegor Ligachev, quickly replaced the rolling stock with a few modern locomotives, and exhibited the most outstanding examples of outdated equipment at a specially equipped site in Tashkent. Today this exhibition includes 13 steam locomotives, 17 diesel locomotives, 3 electric locomotives, 10 cars of various modifications, as well as samples of road and construction equipment, located on such a vast territory that there is even a narrow-gauge railway with its own miniature train for excursions. Well, the unique «calling card» of the Museum is the narrow-gauge Kch4 type steam locomotive installed at the entrance to the territory, produced in the 1950s by the famous Skoda plant in Czechoslovakia.

100th Anniversary of Urban Transport in Tallinn

August 1988 was marked by large-scale celebrations on the occasion of the centenary of Tallinn's urban transport. The launch of the



horse-drawn tram was taken as the starting point. Estonia in 1988 was already actively fighting for «sovereignty from the USSR», and the exhibited full-scale samples of tram cars of various historical eras were painted not in accordance with the rules of the times of their operation, but with white, black, and blue stripes of the state flag of the independent Republic of Estonia in the 1920s-1930s [11].

The anniversary was preceded by a rather long search, which culminated in the discovery in one of the utility rooms of wheel sets of a horse-drawn tram car, manufactured, judging by the marks, in 1914. The wooden body of the «summer» open-sided car No. 10, recreated using archival documents, was placed on them. On the evening of the historically accurate date of launch of the horse-drawn tram – August 22, 1988 – one of the modern tram cars delivered this «horse-drawn car» in tow to the final station «Kadriorg», which once housed the city's first horse-drawn tram depot, and from October 28, 1925 electric traction depot. Amateur actors from among transport workers reenacted a century-old ceremony: after a meticulous inspection of the car by the «Governor General» and its consecration by the «clergyman», a coachman in an authentic uniform harnessed a horse named Pat, a red ribbon was cut and the car, filled with passengers dressed in 1888 fashion, slowly moved through the wildly cheering crowd along his previous route to the city centre. Electric trams followed: a two-axle one, manufactured jointly by several enterprises of sovereign Estonia in 1935, and a double-articulated (electric transport workers in many countries unofficially call this type of rolling stock «two rooms with a bathroom») G4–61 coach. A large batch of the latter arrived in the already Soviet Tallinn as long as in the 1960s from the Gotha manufacturing plant from the GDR, and it was decided to synchronise their final decommissioning with the centenary of the launch of the tram.

A unique feature of the history of the Tallinn tram, unique for the USSR and rare even on a global scale, was that, soon after the First World War, not electric, but first automobile engines were introduced there to replace horse-drawn traction. This, to use local terminology, «petrol-powered» rolling stock was then used until mid-1952, and the last car was used for another three decades as a service travelling car. Unfortunately, just five years before the described

tram anniversary, a fire occurred in the unique coach, which severely damaged its appearance, and none of the modern transport workers tried to organise a restoration of at least the appearance of such an unusual vehicle. At the anniversary parade, the «petrol-engine era» in the history of the tram was symbolised by a two-axle car of the T-57 type, purchased from the GDR much later, in the late 1950s, and, after two decades of passenger service, equipped with an internal combustion engine to service the repair of tram lines with voltage cut off in the contact network.

Since the exact date of the centenary of the Tallinn «horse tram» fell on Monday, the parade was then repeated next Saturday, even slightly expanding the program to acquaint as many Tallinn residents and tourists as possible with transport history and modernity. The inclusion in the parade column, along with restored historical cars, of all kinds of specialised rolling stock, rarely seen by ordinary residents, and holding an Open Day at the tram and trolleybus depot of Tallinn seemed worthy of creative borrowing.

On Water Transport

In June 1966, the All-Russian Society for Protection of Historical and Cultural Monuments (VOOPIK) was organised, designed to involve the broad masses of concerned citizens in the process of preserving and promoting the material heritage of Russian antiquities. With the beginning of «perestroika», VOOPIK tried to expand its activities not only to traditional architectural and memorial monuments, but also to scientific and technical monuments. Perhaps the greatest success was achieved in the preservation and museumification of a large and unique rarity of not only water transport, but of railway transport also, that is of the ice-class ferry «Angara». Along with the similar ferry «Baikal», which was lost back in the 1920s, it was ordered to shipbuilders from Newcastle (Great Britain) to speed up the completion of the famous Trans-Siberian Railway, the trains of which began to be ferried across Lake Baikal, without waiting for the long and labour-intensive construction of numerous coastal tunnels and viaducts along the main line. By the time of navigation in 1900, the Angara ferry was assembled from parts and units delivered by the British in the Baikal village of Listvenichnoye, reaching an impressive displacement of 1400 tons even by modern standards and a registered tonnage of 250 tons,

with overall dimensions of 61 x 10,7 x 4,7 meters. After the completion of the Circum-Baikal Railway six years later along the southern shore of the lake, such a large ship turned out to be virtually unclaimed, three times it was put into long-term mothballing (1906–1916, 1929–mid-1930s, 1949–1960) and, in the end, was written off as physically and morally obsolete in 1975. However, quite a few river workers and simply concerned residents of Irkutsk, where the ferry was based, spoke out for the preservation of the relic.

In 1982, it was decided to moor the «Angara» to a technological pier, built back in the 1950s for construction of the Irkutsk hydroelectric power station and subsequently not used. The resolution of issues with the allocation of security guards, not to mention restoration and museumification, was delayed and in 1983 the dilapidated mooring lines could not stand it, the ship «fell into an uncontrollable drift», partially sinking in front of the hydroelectric dam itself. And only in the already «perestroika» year of 1987, when professional river boatmen, and many ordinary Soviet citizens, were quite frightened by the tragic death of the passenger steamer «Admiral Nakhimov» on the Black Sea [20], it was the Irkutsk regional branch of VOPIK that managed to solve all the problems. On November 5, 1990, despite the noticeably deteriorating economic and socio-political situation in the USSR, the ferry Angara was museumified, albeit not without unfortunate losses, and received its first visitors as a floating museum. Nowadays it is the oldest ice-class vessel in the Russian Federation, and one of the three oldest in the world (along with the BERE of 1894 and TARMO of 1907 preserved in Finland); it is planned to be made the centre of the large-scale cultural and tourist complex «Gateway to Baikal» being created [21].

On the «main street of Russia», which is much more accessible for mass tourism – the Volga River – the entire «perestroika» period, up to and including the navigation of 1990, continued to operate, along with modern liners, the last two paddle steamers from among those created by Sormovo plant located in Nizhny Novgorod in commemoration of the 1913 celebration of the 300th anniversary of the Romanov imperial dynasty: «Volodarsky», which set out on its first voyage as «Grand Duchess Olga Nikolaevna» on July 14, 1914, and «Spartak» – under the name of «Grand Duchess

Tatiana Nikolaevna» on July 30, 1914. At the time of construction, these liners were advertised as the best river ships in the world [22]. However, by the end of 20th century Russians' concepts of the comfort and perfection of water transport have changed radically. An attempt, already under the conditions of «perestroika» in the summer of 1988, to use these ships not for ordinary «transit» cargo-passenger trips, but on nostalgic cruises with organised tourist groups, caused many complaints about the cramped cabins and salons, the lack of air conditioning, swimming pools and other things [23]. The Volga United River Shipping Company (VORP), which then owned the unique vessels, began to develop a plan for their technical modernisation, while preserving the colourful external features as much as possible, with the expectation of further regular operation at least until the year 2000. In the future, the ships were promised to be made into stationary floating hotels with extensive museum exhibitions and ensuring safe access for visitors to the stored on-board equipment: boilers, steam engines, electric generators, and much more. Unfortunately, in the controversial era of the 1990s that followed, it was not possible to preserve the unique ships. It remains only to posthumously thank the famous film director Eldar Ryazanov, who captured both ships in the 1983 feature film «Cruel Romance» in detail, including the captain's bridges and engine rooms.

«Final Chords»

Development and strengthening of international cooperation should be recognised as an important achievement of «perestroika». In the summer of 1989, the Catalan Automobile Club from Spain organised an automobile «Oldtimer Run» along the transcontinental route Barcelona – Moscow – Barcelona, which was impressive even for modern technology. Participants who arrived in unique examples of Essex, Nash, Hotchkiss, Hispano-Suiza passenger cars were pleasantly surprised, in particular, by the quality of restoration of the Moscow Mercedes-Benz 130 X and ALPHA-ROMEO 6C2500C. Moscow amateurs were invited to make a return run to Barcelona, which took place in the summer of the following year 1990. Meanwhile, in November 1989, the nostalgic «Orient Express» for the first time travelled through the territory of the USSR from Western Europe to the Far East, whose comfortable four-axle cars, manufactured in the period between



two world wars based on the «Stephenson» gauge of 1435 mm, were quickly rearranged onto KVZ bogies of the domestic 1520 mm gauge. The Western European organisers of this tour dedicated it to the 75th anniversary of the beginning of the First World War, which interrupted transcontinental communication, calling on the peoples of Eurasia for peace and friendship along the entire route.

On July 25, 1990, the USSR Ministry of Railways by the Order No. 185.U created the All-Union (after the collapse of the USSR, All-Russian) Society of Railway Lovers (VOLZhD). Its main goals and objectives in accordance with the Charter and the Program were preservation and promotion of the historical heritage of railway transport, creation of a positive image of railways in the eyes of the general public, satisfaction of educational interest in the railway, education and career guidance, development of railway modelling, reference and information activities. Initially, VOLZhD also planned to create a Section of Children's Railways, but those institutions of early vocational education, which became widespread in the USSR since the second half of the 1930s, were managed by a sufficient number of professionals, focusing first not on preservation of historical heritage, but, on the contrary, on future development of the industry.

In the summer of 1990, one of the multiactivity cooperatives generated by «perestroika», named «DECOR», acquired the network of narrow-gauge (750 mm) railways of Pereyaslav peat enterprise in Yaroslavl region, which had lost its utilitarian significance by that time, with the prospect of turning the line into a museum-reserve. This project received development, which is far from unambiguous, already in the «post-perestroika era».

In the late 1980s, to improve and coordinate activities to identify and preserve monuments of science and technology, the All-Union Scientific Research Institute of Culture, the State Historical Museum, the Section of Monuments of Science and Technology under the Presidium of the Central Council of VOOPK; The Ministry of Culture of the RSFSR and the Polytechnic Museum have developed a series of methodological recommendations, with the goal of creating consolidated scientific catalogues of monuments in various areas of science and technology located in museum collections. One of the issues of methodological recommendations was dedicated to steam locomotives and prepared

by A. S. Nikolsky, an associate professor at the Moscow Institute of Civil Engineering (now the Technical University), who made an exceptionally large contribution to preservation and promotion of the material heritage of the history of domestic railways during the 1960–2000s. He wrote: «Steam locomotives as monuments of science and technology can be characteristic of various stages of mechanical engineering, development of mechanics, industry, metallurgy, instrument making, electrical and thermal engineering, communications, and other scientific and technical disciplines. Many locomotive-building monuments are at the same time memorial monuments, since they are associated with outstanding historical figures and events... Every survived locomotive and any of its parts are, in principle, technical monuments, since steam locomotive building in the USSR ended quite a long time ago, and the value of the monument is determined not only by scientific and technical significance, but also by its age. Historical technology should be used more widely in educating the younger generation. However, it is neither possible nor necessary to museumise all used vehicles. The metal of locomotives excluded from the inventory lists must, for the most part, be returned to the state fund by melting down. At the same time, destruction of rare, sometimes unique specimens is completely unacceptable. In principle, every previously common series of locomotives should be preserved in the form of several or at least one locomotive monument... Each locomotive consists of 5–6 thousand parts, a significant part of which is available for inspection» [24, p. 5–6].

«The creation of a central museum of full-scale examples of locomotives, or even several such museums in the country, will not be able to replace the work on preserving individual monuments on site. Local monuments of development of technology are called upon to play a large role in promoting historical heritage and attracting new generations to technical specialties. Unfortunately, at present there are many large railway hubs and nodes where there is practically no visible reminder of the recent past, for example, of the era of the first five-year plans» [24, p. 43].

CONCLUSION

Thus, the very short historical era of «perestroika», which ended at the end of 1991 with the collapse of the USSR and with a sharp

further change in the socio-political course of almost all former Soviet republics, turned out to be, on the whole, more than fertile for search, preservation and promotion of the material movable and immovable heritage of the history of domestic transport. And, although this activity had not been brought then to the level of the best world standards, noticeable initial funds were accumulated, and in a number of cases saved from unjustified losses, which became a solid basis for achievements of the next, fundamentally new historical stage.

REFERENCES

1. Bezborodov, A. B., Eliseeva, N. V., Shestakov, V. A. Perestroika and the collapse of the USSR. 1985–1993 [*Perestroika i krakh SSSR. 1985–1993*]. St. Petersburg, Norma publ., 2010, 216 p. ISBN 978-5-87857-162-3.
2. Shubin, A. V. Paradoxes of perestroika: missed chance of the USSR [*Paradoxy perestroika: upushchenny shans SSSR*]. Moscow, Veche publ., 2005, 480 p. ISBN 5-9533-0706-3.
3. Shleeva, M. V. Monuments of science and technology in the cultural space of Russia [*Pamyatniki nauki i tekhniki v kulturnom prostranstve Rossii*]. S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences. Annual scientific conference, 2019. Moscow, IHST RAS, 2019, pp. 703–706. EDN: NDVZQP. ISBN: 978-5-00140-342-5.
4. Shleeva, M. V. Works on the history of technology and the study of monuments of science and technology [*Raboty po istorii tekhniki i izuchenie pamyatnikov nauki i tekhniki*]. S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences. Annual scientific conference dedicated to the 85th anniversary of IHST RAS (2017). Moscow, IHST RAS, 2017, pp. 359–362. EDN: ZXCUDB. ISBN: 978-5-8037-0712-7
5. Shleeva, M. V. Shipbuilding monuments in the cultural space of Russia in 18th – 19th centuries [*Pamyatniki sudostroeniya v kulturnom prostranstve Rossii XVIII–XIX vv.*]. History of technology and museum affairs: Proceedings of the international conference. Moscow, Museum of Science and Industry, 2014, pp. 56–57.
6. Shleeva, M. V. Museumification of monuments of science and technology in the USSR [*Muzeifikatsiya pamyatnikov nauki i tekhniki v SSSR*]. S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences. Annual scientific conference, 2014. Moscow, IHST RAS, 2014, pp. 565–569. EDN: WXYOQZ.
7. Studies of monuments of science and technology: theory, methodology, practice [*Pamyatnikovedenie nauki i tekhniki: teoriya, metodika, praktika*]. Collection of scientific works. Moscow, 1988, 214 p. EDN: YWGUIE.
8. Methodological recommendations for identification, selection, and scientific description of monuments of science and technology in museum collections: (General issues of classification, selection, and methods of certification of monuments) [*Metodicheskie rekomendatsii po vyyavleniyu, otboru i nauchnomu opisaniyu pamyatnikov nauki i tekhniki*

v sobraniyakh muzeev: (Obsh. vopr. klassifikatsii, otbora i metodiki pasportizatsii pamyatnikov)]. Research Institute of Culture, State Historical Museum, USSR Academy of Sciences. Institute for the History of Science and Technology, Moscow, 1986, 155 p.

9. National Mining Park. Structure, tasks, prospects for creation: Collection of scientific articles [*Natsionalny gorozavodskoi park. Struktura, zadachi, perspektivy sozdaniya: Sb. nauch. statei*]. Ed. by I. G. Semenov. Nizhny Tagil, 1998, 96 p.
10. Berzin, A. A. 150 years of railways of the USSR. Experience of historical and technical exhibition [*150 let zheleznykh dorog SSSR. Opyt istoriko-tekhnicheskoi ekspozitsii*]. In: Monuments of science and technology 1989. Moscow, IHST USSR AS, 1990, pp. 172–180.
11. Olander, A. Exposition of historical technology dedicated to the 100th anniversary of the Tallinn tram in 1988 [*Demonstratsiya istoricheskoi tekhniki k 100-letiyu Tallinskogo tramvaya 1988*]. In: Monuments of science and technology 1990. Moscow, IET RAS, 1992, pp. 178–186.
12. Monuments of science and technology in Russian museums: album [*Pamyatniki nauki i tekhniki v muzeyakh Rossii: albom*]. Sc. ed. G. G. Grigoryan. Moscow, 1992–2014, Iss. 1–5.
13. Semenov, N. M. Tveritan «prospects» [*Tverityanskie «perspektivy»*]. *Russkiy Turist*, 1995, Iss. 3, P. 2.
14. Semenov, N. M. The Monuments of the History of Russian Transport in the Appearance of the City of Tver. Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki, 2019, Vol. 40, No. 3, pp. 482–497. EDN: WMKAVK.
15. Semenov, N. M. Museums of our colleagues [*Muzei nashikh kolleg*]. Leningrad main lines, 1990, June 27.
16. Pogodin, S. L. Museum of Railway Equipment in Shushary [*Muzei zheleznodorozhnoi tekhniki v Shusharakh*]. Railways. Museums. Modelling. Zhitomir, 1994, pp. 7–15.
17. Semenov, N. M. Service from Pushkin's times [*Usluga pushkinskikh vremen*]. *Gudok*, 1988, December 14.
18. Semenov, N. M. Anniversary of Swiss railways [*Yubilei shveysarskikh magistralей*]. *Zheleznodorozhnoe delo*, 2003, Iss. 44, pp. 21–24.
19. Ivanova, A. From the Arctic to Afghanistan. The story of the man who created Northern Artek and the largest Steam Locomotive Museum in the USSR. *Gudok*, 2015, February 26, P. 7.
20. Kulishkina, I. V. Steamboat «Admiral «Nakhimov» from A to Z [*Parokhod «Admiral Nakhimov» ot A do Ya*]. Odessa: Optimum, 2011, 105 p.
21. Dokukina K. Icebreaker and steam locomotive [*Ledokol i parovoz*]. *Irkutskiy reporter*, 2011, June 4. [Electronic resource]: <https://www.vsp.ru/2011/06/04/ledokol-i-parovoz/?ysclid=loy6g9fmjc133288013>. Last accessed 27.06.2023.
22. Bogdanov, B. V. 70 veteran navigations [*70 navigatsii veterana*]. Gorky, 1985, 141 p.
23. Semenov, N. M. Where are you heading, Volodarsky? [*Kuda derzhish kurs, «Volodarsky»?*]. *Turist*, 1988, Iss. 10, p. 15.
24. Nikolsky, A. S. Methodological recommendations for the identification, selection and scientific description of monuments of science and technology. Steam locomotives [*Metodicheskie rekomendatsii po vyyavleniyu, otboru i nauchnomu opisaniyu pamyatnikov nauki i tekhniki. Parovozy*]. Moscow, 1990, 19 p.

Information about the author:

Semenov, Nikolai M., Ph.D. (History), Senior Researcher at the Department of History of Technology and Engineering Sciences of S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences (IHST RAS), Moscow, Russia, atmg@mail.ru.

Article received 22.02.2023, approved 17.05.2023, accepted 21.05.2023.





Twenty-Five Years of Engineering and Scientific Activity of Nikolai A. Belelyubsky

(report by A. N. Gorchakov in the Imperial Russian Technical Society in 1892)



Archival publications

A reproduced report in the Imperial Russian Technical Society was first published in the Railway Business [Zheleznodorozhnoye delo] journal in 1892. It is dedicated to the activities of Nikolai A. Belelyubsky, a well-known bridge engineer who made a significant contribution to the development of transport engineering in Russia, and whose biography can excellently help to trace the evolution of Russian railway bridge construction in the 19th century.

The author of the report was Andrei N. Gorchakov (1836–1914), who held the positions of head of the military road department of the field administration of military logistics of the acting army, engineer of the Ministry of Railways, was a member of the board of state railways, managed private railways, and was director of the ministerial railway department.

The author's punctuation and vocabulary are preserved as much as possible in the text.

Keywords: history of science and technology, transport, Nikolai A. Belelyubsky, bridge construction, structural mechanics.

Report read on May 29, 1892, at an emergency meeting of members of III and VIII Departments of the Imperial Russian Technical Society by A. N. Gorchakov, the Chairman of VIII Department

Dear sirs! The name of our fellow member N. A. Belelyubsky enjoys in the engineering world, here and abroad, such universal fame as can only be acquired through prolific labour, and therefore we consider it our duty, in honour of the respected anniverarian, today, at the very end of his twenty-five years of engineering and scientific activity to say that we know both about him and his works.

Nikolai Apollonovich was born on March 1, 1845, in Kharkov; his father, railway engineer Apollon Vasilievich, descendant of the nobility of Penza province, is known among technicians as the designer of the project and builder of the water pipeline in Novocherkassk. N.A. received his primary education at home, in Rostov-on-Don, and then he entered the 4th grade of Taganrog gymnasium, that he graduated with a gold medal in 1862. The same year, N.A. entered the Institute of Railway Engineers, where his further education was strongly influenced by the social trend that was created in our country after the Crimean War

and which was expressed, among other things, in literary movement in the natural sciences. Along with the study of special engineering sciences, N.A. showed a special interest in general education subjects and keenly followed the development of issues of general culture. In 1867, he completed a course at the Institute of Railway Engineers with honours, having been awarded a record on a marble plaque, and was retained at the same Institute as a tutor; in 1873 he was elected extraordinary professor at the department of structural mechanics, and then ordinary professor, which position he still holds. In the first years of his academic career, N.A. also gave lectures at the Mining Institute, and currently he also teaches a course on bridges at the Institute of Civil Engineers. Since 1881, he has been attached to the Ministry of Railways as an advisory engineer.

N.A. devoted his technical activities mainly to issues related to construction of bridges and the study of building materials. Its beginning remarkably coincides with the beginning of development of iron bridges of truss and lattice systems, so that to correctly characterise N.A. activity in this area, it is useful to remember the state of the art of bridge construction at the end of the sixties.

Acknowledgements: the editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the publication.

For citation: Twenty-Five Years of Engineering and Scientific Activity of Nikolai A. Belelyubsky (report by A. N. Gorchakov in the Imperial Russian Technical Society in 1892). World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 274–280. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-15>.

The text in Russian is published in the first part of the issue.

Текст на английском языке, публикуется в первой части данного выпуска.

It is known that first beam iron bridges were first made at the beginning of development of railways, i. e., in the twenties. They were built as a solid wall, and the dimensions were assigned through direct preliminary experience, since at that time the theory of force distribution in parts of the beams was still little studied.

The first iron bridges with a through wall were built in the forties according to the idea of wooden bridges of the Towne system, that is, lattice bridges with flat braces; these braces were assigned only the role of filling the gap between the chords, therefore the dimensions of the braces were not determined by calculation, but they were assigned the same cross-section along the entire length of the trusses (1845). In the bridges of St. Petersburg-Warsaw Railway, the dimensions of the braces already increase as they approach the supports from the middle, although they still remain of a flat section (1864); however, at that time the benefits of using rigid braces were already partially recognised.

Simultaneously with development of lattice system bridges, the Neuville (1846) and Warren (1848) trusses, consisting of simple triangles, appeared, and in 1853 the Krumlin Viaduct, well-known in the literature, was built using this system. In 1858, Mobi proposed braced trusses with vertical posts, which obtained their greatest development in the sixties; then modifications of these types appeared, such as Schwedler trusses, parabolic, semi-parabolic (Culemborg bridge over the Lek) etc.

The theoretical side of bridge art was only in its infancy in the forties and received little development after the experiments of Ferbairn, Stephenson, Hodgkinson, Zhuravsky and others, which they carried out almost simultaneously and mainly on bridge models. Our first experiments were made by the late Zhuravsky in 1845 and, moreover, before English studies were published. Soon the literature was enriched by Kuhlmann's report, in the journal of Austrian engineers (1851), on distribution of forces in parts of single-span trusses; in 1855, Zhuravsky's essay on bridges of the Howe¹ system appeared, then methods for calculating bridges proposed by Ritter (1861), Rekhnevsky (1861), Kuhlman (1864) were published, and finally at the same time the work of Lesslie and Schübler, translated into Russian by N. A. Beleyubsky, in the first year after completing his course at the Institute of Railway Engineers. This book received significant distribution in Russia, having gone through two editions, and the calculation methods outlined in it were used for most iron bridges, and currently they use the same work when drawing up projects of all kinds of trusses, guided at the same time by the results of further research that so many technicians have been awarded the past decade.

In this state of affairs, N.A. began his first work by participating in reconstruction of wooden bridges on

Nikolaevskaya railway, which required a detailed clarification of the conditions for possibly quickly replacing them with iron bridges and, moreover, without stopping traffic on the road. This work, which was essentially very complex, required special care and required significant simplifications; the latter was achieved by bringing all bridges of the first series, rebuilt between 1868 and 1872, to five types of predominantly braced and lattice systems. A detailed report on this issue is presented in an article by N.A., published in the journal of the Ministry of Railways in 1872, from which it can be seen, among other things, that in order to rebuild 48 bridges it was necessary to draw up 26 separate designs for spans, not counting stone and metal supports. Given the comparative poverty of technical literature at that time, N.A. had to work hard to clarify the conditions for correct detailing of projects, which is confirmed by a number of articles that he published then in the journal of the Ministry of Railways, for example, in 1868 on «External force acting on bridge structures», in 1871 «Notes on bridges built and under construction», etc.

During the same period of time, N.A. compiled the essay «Novocherkassk water supply system and data for designing water supplies in 1869,» which for a long time served as the best guide in this field of technology², and then in 1870, he published the 2nd part of the work of Lesslie and Schübler, with an application of a method for calculating trusses according to Ritter and with many additions by a translator.

Next, in chronological order, followed the work of N.A. on drawing up designs for bridges of Schwedler system on Moscow-Brest railway (across the Berezina River, 3 spans of 25 sazhen each, and across the Neman River, 2 spans of 22½ sazhen each) and on Kozlov-Voronezh-Rostov railway (across the Kalitva river, 1 span of 30 sazhen). These projects show that N.A. sought to spread a certain variety of bridge superstructure designs in Russia; such an intention is also seen from the above-mentioned brochure on reconstruction of Nikolaevskaya railway bridges, where N.A. reports that exclusively local conditions prevented the use of a truss system with curved chords for these bridges, which saves weight.

At the same time, designs for bridges across the river Oka were prepared on Ryazhsko-Vyazemskaya railway (4 spans of 37 sazhen each), across the river Prut on the Chisinau branch of Odessa road, and now on the South-Western railway (2 spans of 32 sazhen each) and across the river Chusovaya on Ural railway (3 spans of 40 sazhen each). The design of the first of these bridges, built in 1872–1874, was later used for the bridge across the river Ranov along Ryazansko-Kozlovskaya railway (1879–1884), and in 1882 it was published by N.A. in the form of an album. Other projects were also used in subsequent construction of

¹ Research and calculations related to braced bridges were done by Zhuravsky earlier than abroad. In the above-mentioned work, the question of shearing stresses during bending of beams is considered for the first time.

² N.A. published a note on the same subject in Engineering Notes for 1875, «Statistics of Urban Water Supply».





Nikolai A. Bebel'yubsky

bridges and at present it is almost impossible to indicate in what number of bridges the construction according to the original designs of N.A. was repeated.

Next in time of compilation are: a) the second series of bridges rebuilt on Nikolaevskaya railway from 1872 to 1880, it was required to draw up various projects, numbering over 30; b) Alexandrovsky bridge across the Volga on Orenburg railway and c) city bridges in Orel across the rivers Oka and Orlik, the projects of which were compiled by N.A. together with Professor Nikolai, in 1877. N.A. reported on the first bridges to the Imperial Russian Technical Society in 1874. In drawing up the projects of all these bridges, N.A. was directly involved in clarifying various issues of their construction itself.

The program of this note does not allow us to dwell in detail on assessment of N.A.'s works on drawing up designs of bridge structures; the number of them is in the full sense astonishing, and it is not easy to point out another person, in any field of activity, who has suffered as much hard work. The names of many publicists and talented writers are known, who also published numerous works, but they immortalised their names only due to the fact that, due to the popularity of the very issues or subjects they described, their works are accessible to the entire reading public. Specialists are in much less favourable conditions in this regard, the range of their activities is accessible to a limited number of people, and if, nevertheless, N.A. has gained universal fame, then this, no doubt, is explained by the enormous number of structures that were executed according to his designs and which represent the tangible results of his tireless activity.

Of the works by N.A. listed above, we will mention only Verebynsky bypass, Yaroslavl viaduct in Moscow and Alexandrovsky Bridge. The first, as it is known, was initially supposed not to be built at all, but the plan was to replace the wooden Mstinsky and Verebynsky bridges with iron ones and, moreover, without stopping traffic. For this purpose, a contest was announced for preparation of corresponding projects, and N.A. was

instructed to independently develop projects for reconstruction of the same bridges outside the competition. Subsequently, however, the need for constructing a bypass became clear again, and at the same time it was decided to build Mstinsky bridge and build Verebynsky stone pipe according to N.A.'s designs, although the projects submitted to the competition were awarded prizes. There is a message about competitive projects by N.A. in the Technical Society (1874).

The best assessment of these projects by N.A. is that the late Professor Winkler found it appropriate to place some details from Mstinsky Bridge project in his famous work «Quercon-structionen». Details of construction of Yaroslavl viaduct are included in the course on bridges by Professor Nikolai.

Alexandrovsky bridge across the river Volga, which until the end of the last decade occupied the first largest (about 700 sazhen) place in all of Europe, was built according to the design of N.A. (in 1875–1880), of 13 spans of 52 sazhen each. Initially, it was planned to make 7 spans with a ride on the bottom, and the rest with a ride on the top; in this form, projects were developed and metal parts were ordered from the Belgian plant. Subsequently, when part of the iron had already been delivered to the work site, it became clear that it was necessary to construct all spans with a ride on the bottom; then N.A. was sent to Belgium to develop and resolve at the plant the issue of remaking manufactured parts. At the same time, N.A. drew special attention to the unsatisfactory technical conditions proposed to the plant for guidance in the manufacture of metal parts, which did not at all determine the relative elongation of iron during a tensile test. In this way, the technical conditions were also changed, and up to 10000 poods of iron, which was already partly at the work site, was found unsuitable for the bridge.

This incident marked the beginning of correct formulation of technical conditions for manufacture of bridge structures in our country, and everyone knows that on this issue N.A. rendered an enormous service in all his subsequent activities, both by personally developing these conditions and by their consistent development through the exchange of thoughts in international congresses and numerous meetings.

The construction of such a large bridge as Volzhsky was inevitably accompanied by a number of complications; they were resolved almost constantly with the direct participation of N.A. or on his personal initiative; this includes, by the way, the method proposed by N.A. of extending the pier onto a caisson, which was already under construction. The description of these works was published in the journal of the Ministry of Railways by the caisson-maker Reiner with an additional note by N.A. about the caisson-shoe (1881). Details of construction of Volga Bridge are placed in «Engineering» for 1880, in the education course on bridges by Professor Nikolai, in Mr. Buzzi's article

«Le pont sur le Wolga près Batraki 1887» and in other publications in foreign literature.

Work carried out almost simultaneously on construction of Mstinsky and Volzhsky bridges, as well as the Liteyny bridge across the river Neva and the Verebynsky Bypass gave impetus to development of the cement business. From that time on, we began a systematic study of the properties of cement, to which N.A. devoted many works; with particular energy, he strove to find ways to ensure development of domestic production of cement of the best quality. Regardless of the technical development of the issue, N.A. contributed greatly to the initiative to establish a duty on foreign cement in our country, which had such a beneficial effect on improving production of Russian cement that production of this product occupies a prominent place in the factory industry of Europe. N.A.'s merit in the cement business is undoubtedly great and in itself could serve as the crown of glory for his engineering activities. N.A.'s works on the cement business were awarded an honorary diploma back in 1882 at the All-Russian Industrial Exhibition in Moscow.

In conclusion of the review of N.A.'s activities for the period up to the eighties, it is necessary to point out that a quick look at the projects he compiled in sequential order gives a clear idea of the historical course of development of the bridge industry in Russia, and, of course, it is easy to grasp the gradual improvement of structures and the desire of N.A. to achieve the most rational detailing.

This circumstance is of very significant importance, since it marks a very definite direction, expressed in the fact that, by means of an appropriate arrangement of bridges, the tension of the parts must be achieved in accordance with theoretical calculations, and, if possible, there is the need to free them from the so-called additional stresses. Back in 1871, in the preface from the translator to the work of Lesslie and Schübler, N.A. drew attention to the fact that the main conditions affecting the weight of the bridge structure, and therefore its cost, include careful design and the choice of appropriate interfaces.

N.A. tried to fulfill this condition with due rigour, and in later projects he used design features for this purpose.

The bridges designed by N.A. during the described period of time comprise a more or less limited number of different types. In his publication «The upper structure of the bridge of 20,00 sazhens bracing system of 1881» N.A. reports on this matter that «these conditions, under which it was necessary for the most part to design the upper structure of bridges, were reflected in some uniformity in types, compared with foreign bridge practice, where there was more convenience and scope for trial implementation of all modifications of the main systems; but, on the other

hand, the repetition of types and the desire to simplify execution contributed to a more rigorous development of details that were quite suitable in practice».

The beginning of the eighties was marked in the engineering world by the most intense movement of theoretical studies of bridge structures, and not only the laws of statics, but also the general position on the theory of elasticity, the beginning of the smallest work, and the principles of possible movements during deformation began to be taken as the basis for calculations of distribution of forces in their components. The studies of Castigliano (1879), Mohr, Winkler (1881), Frenkel (1882) opened up the possibility of detailed clarification of various conditions that accompany the existence of bridges but are not explicitly taken into account when drawing up projects. Other works of technical scientists Weyrauch, Laundhart, Gerber, Winkler, Cherepashinsky and others revealed the influence that variability of stresses that manifest themselves in them under the influence of variable external forces has on the strength of parts. N.A. compiled a brochure about these studies in 1888 entitled «Calculation of stresses subjected to variable loads, etc.» This is followed by the study of questions about the influence of dynamic loads on bridge structures (Rezal), about additional stresses in parts of the trusses, depending on rigidity of the connection of the nodes, on the often allowed centering [alignment violations] of them (Azimont, Manderla, Winkler, etc.), on the complete and off-central attachment of transverse beams, from temperature changes, etc. All these studies indicated that circumstances not taken into account when drawing up designs of through trusses are accompanied by manifestation of additional stresses, which, in their magnitude, often exceed the main stresses corresponding to static calculations. At the same time, it turned out that the use of new calculation methods for everyday practice is almost impossible, due to the extreme complexity of the calculations required. This circumstance, as well as the fact that no matter how thorough the methods proposed for such calculations by famous scientists, these methods are still not distinguished by unconditional accuracy, prompted N.A. in further design to treat with even greater rigor the chosen path, expressed in development of such structures in which the causes of additional stress would be eliminated.

Compiled in this way, in the period from 1881 to 1884, N.A. bridge projects – Ekaterinoslavsky across the river Dnieper, across the river Ingulets on the Ekaterininskaya railway and across the river Uvod, on the Shuisko-Ivanovskaya railway, are distinguished by their precise observance of the central connections of parts of the trusses and connections. The first of these bridges, about 590 sazhens long, is built in two tiers, for carriage passage and for railway communication, consists of 15 spans of 38 sazhens each, and metal entrances. A description of this and Inguletsky bridges



was published in «Engineering» for 1881: in «Vochenschr. d. osterr. Ing. und Arch-Ver.» 1884, briefly in the work of Professor Haseler «der Bruckenbau» and in some other publications. Bridge over the river Uvod, single-span one of 50 sazhen long, oblique, with an upper curved belt; a detailed description of it was published by N.A. in a brochure with an atlas of drawings, entitled «Renewal of the bridge across the river Uvod 1884», which contains, among other things, interesting data on construction coefficients of this bridge, reported by N.A. also in «Rigasche Ind. Zeitg.» for 1884

Simultaneously with the designs of these three bridges, N.A. drew up a design for a bridge across the Obvodny Canal of Nikolaevskaya Railway and sketches for continuation of the Kyiv Canal across the river Dnieper chain bridge for the highway department, but these projects were not implemented due to local considerations. Then, with direct participation of N.A., designs for other bridges were made on Ekaterininskaya Railway, as well as on the Polesie Railways and across the river Psel on Kharkov-Nikolaev railway, the Shwedler system, and he also explained all sorts of complications that in most cases accompany bridge construction work.

For this purpose, N.A. made repeated trips to work sites and factories, in Russia and abroad, where he had the opportunity to study, among other things, the properties of a new material that was emerging at that time called cast iron, which N.A. with amazing persistence then tried to spread it for use in bridge structures. In this matter, N.A. undoubtedly took full initiative and, due to him, the properties of cast iron were examined in our country through numerous tests and discussions in various commissions of specialists in such detail that the results achieved in Russia gave very significant instructions for correct development of manufacturing and processing conditions of cast iron. Currently, this material has almost replaced wrought iron, which was previously extremely widespread, and our cast iron, which has significant softness, is superior in quality to foreign ones. The development of an issue of such serious importance as distribution of new material gave rise to extensive correspondence on the conditions for the use of cast iron, to which N.A. made many valuable contributions. In 1882, he published an article on the same issue in the Technical Collection «On the use of cast iron, instead of welding», in 1884 in «Zheleznodorozhnoe Delo» «Rhine factories. Unloading platform. Experiments on beams made of cast and wrought iron», and in 1885 N.A. published the article «Cast Iron. Should we be afraid of it and how should we treat it?»

In the same 1885, N.A. completed the publication of his «Course on Structural Mechanics», in which the theoretical side of the subject was developed with a critical assessment of various studies up to modern times, and practical instructions serve as a valuable

tool for application to business. In general, this course is not only a guide for students, but also a reference book for engineers. The same position is occupied by the works published by N.A. in 1886 under the title «Mechanical Laboratory», which contain numerous results of tests of building materials carried out by him personally, or with his direct participation, for the period from 1875 to 1886. This book, appreciated by experts in a worthy manner, contains abundant material for guidance in drawing up technical specifications, and for checking scientific research (works of Cherepashinsky and others).

N.A. began his activities in the Mechanical Laboratory of the Institute of Railway Engineers, as its head, 20 years after its construction, namely, in 1873; its equipment at that time was very meager, and the very consciousness of the need to test building materials was still very weak. The laboratory is now completing its second 20th anniversary. A simple comparison of the degree of its development in these two periods is enough to evaluate the strength of the tireless energy of the venerable hero of the day in this part of his field. N.A. placed the laboratory at the height of the current position of the best testing stations in Europe, with which it is at the same time in direct contact through periodic relations between N.A. and their most famous representatives (Tetmeier, Bauschinger and others). By popularising the works of the laboratory, N.A. managed to give it the significance of a school, around which our factory and other local laboratories are grouped, and which spread general awareness of the need for correct organization of trial studies of materials on site, for any kind of outstanding construction. In this activity, N.A. did not miss a single case that could be used to develop the issue of normalizing the conditions of suitability of building materials. Thus, he took an active part in the exchange of thoughts at international congresses on development of uniform testing methods: in Munich, Dresden, Berlin, and Paris; the results of the meetings were promptly published by him in many reports, including his «Uniform Test of Building Materials 1887» Then, with N.A.'s characteristic liveliness of character, he persistently put the results of the meetings into action. Interesting reports and numerous notes in various publications were reported annually to N.A. about the activities of the Mechanical Laboratory, such as, for example, about the testing of iron and cast iron for a bridge across the river Ranova, about the cement issue, about testing stone materials for frost, etc.

Next, in chronological order, follows the work of N.A. in 1885–89 on drawing up designs for bridges across the river Volga on Nikolaevskaya railway and across the river Belaya on Samara-Ufinskaya railway. The peculiarity of these bridges is arrangement of the hinged connection of transverse beams with trusses, which achieves complete elimination of additional stresses in trusses from the influence of deflection of transverse beams; in addition, other details were

developed in accordance with the conditions for possible elimination of secondary wall stresses (absence of wide braces, centralisation of nodes, etc.). The model of the hinged connection of transverse beams on these bridges won a medal at the Edinburgh Exhibition in 1890, and the complete design of the bridge over the river Volga was published by N.A. with a brief description.

The projects of the superstructure of bridges with a ride on top, drawn up by N.A., should also be attributed to the same period, resp. 10, 25 and 30 sazhen, for Rzhevo-Vyazenskaya railway, also used on Samara-Zlatoust railway, and then they became widespread as types. The trusses of these bridges are of a lattice system in which some braces work in compression and tension; the dimensions of these braces are consistent with the above theoretical studies based on Weller's experiments.

Achieved by N.A. for bridges across the river Volga of Nikolaevskaya railway, across the river Belaya and other thoroughness in development of projects, when the question of improving bridge structures received lively movement in the eighties, seemed to him not quite sufficient, if we take into account that by arranging expedient pairings of parts, multi-braced trusses, containing an excess of elements connecting nodes, cannot themselves be free from additional stresses unforeseen by static calculations. As a result, N.A. began in 1887 to develop a truss in which the number of parts, being sufficient, would not be more than the number that corresponds to the possibility of correctly determining the forces in them, but the main condition of static equilibrium. Such a system of trusses was compiled by him and used when developing a project for a city bridge across the river Volga in Tver, the construction of which has not yet begun.

According to the above design, the trusses are assumed to be parabolic, with two working systems of braces, ending in the middle of the span with the only post in the entire truss. This system appeared as a result of our independent clarification of N.A.'s intended task. Subsequently, studies of trusses of exactly the same system were published in foreign technical literature, which, as it turned out, was already known abroad. In 1888 in «Rigasche Ind. Zeit.» N.A. dedicated the note «Aus der Praxis des Baues eisernen Brücken» to the memory of the late Winkler, in which, together with descriptions of more remarkable bridges in Russia, a message was made about the Tverskoy project of the bridge across the river Volga with statically determined trusses. In the same year, N.A. published a report about this bridge in the journal «Engineer» under the title «From bridge practice». These sketches, according to the author, represent the result of his memories in the Caucasus «at the foot of Beshtau, where, far from daily, fussy activities that could not tolerate delay, he was involuntarily drawn

to look back at the past and understand a little about it, to remember his path passed through a period of feverish railway activities in Russia, and remember those who have already passed their entire earthly journey».

The above system of trusses makes it possible to have a completely accurate idea of distribution of forces in their parts, but the very calculation of such trusses requires numerous calculations, due to the fact that in any cut made in this truss there are more than three parts. This circumstance prompted N.A., during subsequent development of the next project, to use another type of statically defined truss of a possibly simple system. An opportunity soon presented itself: in 1890–91 he developed a project for a highway bridge across the river Neman near Olita in which the trusses consist of simple isosceles triangles without any racks, with a curved upper chord; transverse beams of the roadway are laid, using hinges, with the lower chord in the space between the braces; the bracing braces are lattice triangular pipes, fixed in the planes of the braces at their ends.

Just towards the end of preparation of this project, a disaster occurred with Menchenstein Bridge in Switzerland, which, as is known, was built from trusses of a similar system. Obviously, N.A. must have had the idea of the need to carefully clarify the conditions that ensure the strength of the structure according to the project he was drawing up at that time, depending on the instructions introduced into engineering science by the collapse of Menchenstein Bridge, as if in reward for numerous victims of this unfortunate case. A closer comparison of both projects and a detailed study of the details developed in them revealed the complete inconsistency of the last bridge, while in the project of the Nemansky Bridge N.A., sensitive to all kinds of design improvements, did not find it necessary to make any changes.

As a further example of the use of a statically defined truss, one can point to N.A.'s participation in discussion of the issue of choosing a system for a city bridge in Smolensk, and N.A. developed, among some options, a sketch of the structure of this bridge according to Gerber system; but, due to local conditions, N.A. believes that it will not be profitable to implement this sketch. However, in general, apparently, one should not yet draw the conclusion that an exclusive right of citizenship should be established for statically defined trusses. Thus, N.A. is currently developing a project for a city bridge across the river Viliya, in Vilna [Vilnius] to which it is proposed to apply a system of superstructure similar to bridges across the river Belaya on Samara-Ufa railway and across the river Volga on Nikolaevskaya railway, i. e. with two-diagonal semi-parabolic trusses. Giving complete justice to statically indefinite trusses with regard to correct distribution of forces in them, N.A. at the same time finds it possible to further use



correctly designed statically indefinite trusses that have proven strength.

It remains to be mentioned that in the recent period of time under consideration, the question arose here and abroad about adapting railway bridges to allow heavy eight-wheeled steam locomotives to cross them. For this purpose, as calculations showed, it became clear that many parts of the bridges needed to be strengthened. This kind of work, provided that movement is maintained without interruption, of course, presents numerous difficulties and is expensive. This circumstance could not escape N.A.'s attention, and he began to clarify possible simplifications in this matter. Then his note appeared in the journal of the Ministry of Railways entitled «Bridge Studies» and his message was published in the «News of the Meeting of Railway Engineers» for 1890 under the title «Stress in Beams and Strengthening Bridges.» In the works of these N.A., having clarified the meaning of oblique stresses in beams with a solid wall, he drew attention to the possibility of easing the requirements for strengthening bridges.

In conclusion of the report on N.A.'s participation in the bridge business, it is necessary to once again recall that the railway bridges built in our country in the last 25 years were mostly made according to N.A.'s designs, and to date no significant damage has been found in their trusses. Comparative statistics of data on bridge collapses convinces us that our bridges were built in this regard under generally better conditions than abroad. The major damage to the spans of bridges that occurred during the specified period of time relates only to those bridges that were built without the participation of N.A.

After presenting the work of N.A., expressed in drawing up designs for bridge structures and in developing various conditions associated with this matter, it is necessary to say a few words about N.A.'s activities in other related areas.

As a professor at the Institute of Railway Engineers, he gained the reputation of a first-class teacher and demonstrated his activity in this field using a teaching method that is little practiced in our country, which, however, stems from the characteristics of N.A.'s lively, responsive nature. Regarding N.A., it can be positively stated that he constantly teaches, and not only the students. He disseminates every novelty, feature or interesting idea that emerges during a joint discussion of technical issues in special meetings with amazing speed, thus making available to others everything that is known to him and to outstanding technicians in the art of engineering. Numerous requests made to N.A. by various persons regarding the technical doubts encountered are explained to him, to the best of his ability, with the liveliest participation, and, moreover, with full respect for the comments made to him. This is a worthy, bright trait that distinguishes the venerable professor, but, apparently, is still little appreciated

among us. In more difficult unexplained questions, N.A. resorts to a meeting with foreign luminaries of engineering art and on this occasion he has extensive correspondence with them, containing very valuable opinions of modern authorities on the issues of bridge construction that most interested Russian technicians.

N.A. provided many services to the Imperial Russian Technical Society, of which he has been a member since 1867, i. e., also 25 years. For the last fifteen years he has given annual reports in the field of bridge practice and building materials research; many of these reports were published in the «Proceedings of the Technical Society»; in addition, he was involved in commissions formed at the Society to study rail steel, on the cement issue, etc. He made numerous reports in other societies, for example, in the Assembly of Railway Engineers, in the Society of Architects, in various provincial and foreign technical societies; Among these reports one can name a message about the new material xylolite, about experiments carried out by N.A. on iron that had been in use for a long time, about experiments carried out under his supervision on Monnier concrete, etc. Since 1889, N.A. has been an honorary member of German Technical Society in Riga, and since 1890 a corresponding member and honorary member of the Society of Civil Engineers in Paris.

Finally, N.A., responding with heartfelt sensitivity to all the needs of the student youth, takes an active part in the committee of the society for the benefit of needy students at the Institute of Railway Engineers and is a member of the same society at the higher women's courses.

Dear sirs! Given the numerous number of works and such multifaceted activities of N.A., it is, of course, difficult to present any detailed overview of this activity in a quick report or in a journal article; much has to be mentioned in passing or nothing at all must be said due to insufficient time and information. Thus, the information presented to you now, without a doubt, does not sufficiently remind us of the well-known, numerous works of the tireless N.A. implementing these works, together with the happy well-being of all the structures completed according to his designs, one cannot help but come to the conclusion that the merits of N. A. are great. Future biographers, of course, will have more means to treat his works with due appreciation and, without a doubt, will indicate the real position of this scientist among the outstanding people of recent times. All that remains for us is to warmly welcome the respected celebrant, express to him our deep respect, his fellow members of the Technical Society, and wish him to preserve his characteristic tireless energy for many years to continue his precious work for the benefit, pride and glory of our Fatherland.

*«Zheleznodorozhnoe Delo» 1892,
Iss. 19–20, pp. 192–197 ●*



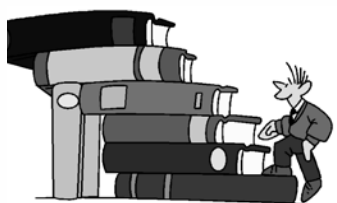
BOOK REVIEW

282

Instrumental and information methods and techniques in the economics: urban transport and road traffic.



BIBLIO-DIRECTIONS



SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES

285

- *Comfortable and safe living environment for humans in the context of functioning of transport systems.*
- *Improving pneumatic sand supply systems for locomotives and their operational performance.*
- *Testing when analysing the security of a transport informatisation object.*
- *Efficiency of terminal processing and organisation of container trains.*

NEW BOOKS

288

New monographs and textbooks that appeared recently in Russian publishing houses.





Road Management with Mathematical Accuracy



Larisa A. Kargina

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ kargina_larissa@hotmail.com.

Larisa A. KARGINA

ABSTRACT

Paraskevov, A. V. Improving road traffic management based on the use of mathematical and instrumental methods of economics [Sovershenstvovanie upravleniya dorozhnym dvizheniem na osnove ispolzovaniya matematicheskikh i instrumentalnykh metodov ekonomiki]. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya publ., 2023, 84 p. ISBN 978-5-9729-1283-4.

The article is a review of the monograph «Improving traffic management based on the use of mathematical and instrumental

methods of economics», written by A. V. Paraskevov, a senior lecturer at the Department of Computer Technologies and Systems of the Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin and published by Infra-Inzheneriya [Infra-Engineering] publishing house. The work summarises and systematises extensive material on innovative methods for improving management of road traffic congestion levels. An also considered application for motorists is designed to build optimal routes taking into account the current situation on urban roads.

Keywords: traffic management, economic and mathematical methods.

Transport flow issues have been relevant for many decades – already in the 1950s, American researchers considered a probability of emergence of traffic congestion. In-depth research on the topic under consideration was carried out by such scientists as S. Drew, R. Donald, T. Metson, H. Inose, T. Hamada. They comprehensively studied aspects of traffic management, adding their own vision to the solution of the problem. Currently, traffic congestion is a global problem in large cities since in most cases they were built spontaneously, haphazardly, and during construction of roads there was no calculation of vehicles for the future. Indeed, now there are measures to combat traffic jams; the author of the monograph lists the main ones:

1. Operation of traffic lights in the «green wave» mode.
2. Organisation of traffic of heavy vehicles on bypass roads.
3. Construction of backup city roads.
4. Ensuring maximum visibility of road signs for drivers.
5. Organisation of maintenance work at night.
6. Improving the quality of the road surface.
7. Installation of additional traffic lights intended for those vehicles that turn.
8. Regulation of roads by introducing toll tariffs.

The monograph «Improving traffic management based on the use of mathematical and instrumental methods of economics» is devoted to solving the issue

For citation: Kargina, L. A. Road Management with Mathematical Accuracy. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 4 (107), pp. 282–284. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-16>.

**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.**

of traffic regulation through introduction of road tolls, however, at the same time, the author notes the need for an integrated approach. The key position is that once the potential demand for travel is high enough to cause congestion, then the costs of travel will rise, causing the decrease in effective demand for travel, so the costs will be balanced, leading to equilibrium of queues on the transport network. The creation of substituting toll routes allows the driver to travel without traffic jams (i. e., loss of time), but this is not enough to keep the flow within the limits of road transit capacity (the number of cars that can pass through a specific section of the road per unit of time with a given speed and traffic safety).

The first part of the monograph examines in detail the history of development of road traffic using the example of the city of Krasnodar. The author provides an analysis (data based on observations of problem areas) of the time frame during which traffic is most congested, for example, the two most peak periods are morning and evening. Contrary to the seemingly obvious conclusion that traffic jams arise due to job schedule the author focuses on the fallacy of this judgment: the problem is really a combination of many factors and can be solved exclusively by a systematic approach and the introduction of a whole set of measures. For clarity, the monograph includes not only maps with the territorial division of the most problematic areas and residential areas of Krasnodar in terms of road traffic: the author divides, «breaks» them into graphs and subgraphs, on which traffic flows and possible routes are clearly visible. Problems and constraints indicate that the current state of road traffic can hardly be called satisfactory, and their presence in general causes the loss of possible profits by both the city, the state, and traffic participants. In addition, we are talking about the moral and environmental damage caused by poor distribution of road traffic; Research shows that frequent exposure to traffic jams can cause serious harm to human health. An acceptable urban environment is a complex concept that directly depends on customer satisfaction, the achievement of which in large cities is hardly possible: transit indicators will vary in settlements of over a million people and below one hundred thousand. The monograph presents various measures to reduce traffic jams in the city, taking into account the specifics of the city. Krasnodar does have a traffic management system, but the measures undertaken within its framework are not sufficient to ensure uninterrupted operation.

For uniform development and stable functioning of all infrastructure elements, as well as for increase in its efficiency, there is the need for introduction of high-quality, economically developed solutions. The introduction of tolls on certain sections of the road will result in drivers either looking for an alternative route or paying tolls.

The second part of the study is devoted to the current state of urban transport infrastructure. The author of the

monograph offers his own methodology for improving traffic management based on classification into two components – clustering and explanatory ones. Such modelling and introduction of tariffs might result in a significant reduction in traffic jams due to «replacement» of lost time with an equivalent fee. The technique itself includes five stages:

1. Definition of variables for road segments.
2. Generation of clusters of segments within the road network.
3. Classification of all segments of the road network into clusters.
4. Assigning a load level category to each cluster.
5. Scaling the cluster approach throughout the entire city infrastructure.

The top level of analysis consists of collecting information about the level of traffic congestion; it depends mainly on the data of geographic information systems – it is from them that a set of segments and intersections is subsequently constructed; they become variables for clustering components. Congestion factors are eight variables: roadway width, number of traffic lanes, presence of bicycle infrastructure, presence of cargo vehicles, average traffic speed, smoothness of flow, congestion, size of traffic flow (the author provides formulas for their calculation). Then it is necessary to perform clustering with a representative subset of the network to identify segments with similar characteristics. Based on the results of segment classification, the probability of the formed segment belonging to a specific cluster is established. Subsequently, the cluster is assigned a category of traffic congestion level (an important aspect is considering the context and statistics of a particular location).

The undoubted advantage of the monograph is the large amount of illustrative material: the work contains a sufficient number of maps, diagrams, and graphs. Thus, the methodology is presented schematically for its greatest understanding, and the variables are presented in tabular form.

Cluster analysis is of greatest interest. Its key goal is to find groupings of road segments based on the above variables. The main characteristic of segments within clusters is their similarity to each other, but their difference from the components of other clusters. The first step of cluster analysis is normalisation of road segment variables (the author suggests using the scoring method to transform continuous variables). Next, it is necessary to create a proximity matrix that determines the degree of similarity between road segments. The technique uses the «K-medoids» algorithm, which assigns all considered elements using partitioning – one of the most reliable algorithms that works with continuous and discrete variables. Calculating the average checks the correctness of classification within clusters, so the highest values indicate the correctness of the previously performed actions. The optimal number of clusters may vary.



The monograph discusses important aspects of the proposed methodology. Given the large number of segments of the road network, scaling is required (the ability to work under heavy load). The technique allows not only to scale the model, but also to predict the impact of fluctuations in variables on classification of congestion levels of a particular segment. The way to interpret clusters was studied by considering the level of traffic congestion through analysis of indicators.

In addition, the author considers international experience in traffic management. Based on a large amount of collected information, confirmation of validity of the proposed methodology was obtained.

The final section of the monograph provides an overview of organisational and economic-mathematical methods for solving the problem under consideration. First, the demand for each «departure-arrival» segment is described – it is a function of the total costs of the trip. A capacity constraint equation is also introduced, which takes into account the demand constraint, the constraint to preserve the flow within the transport network, the capacity constraint and the condition of non-negativity of the transport flow.

To implement the proposed model, appropriate software operating in real time is required. Thus, the author of the monograph defines a list of requirements for it:

1. Determining the maximum response time of the system and ensuring the reaction.
2. Determining the priority of processed tasks.
3. Multitasking, allowing switching between tasks if needed.
4. Continuous operation for a long time.

The user interface must also meet a number of requirements in order to be as easy to use as possible:

1. Ease of use by the driver (subtle colours, non-distracting animation, intuitive interface, voice control).
2. Similarity to the interface of other navigator applications for the most convenient user orientation.

The main difference of the application proposed by the author is calculation of the maximum limit of cars for each street in real time: thus, the navigator will offer the driver the optimal route. The construction of the route is based on three indicators in accordance with their priority: first, the forecast travel time, secondly, the level of traffic congestion at the current moment, and thirdly, achievement of the permissible congestion limit. In this case, traffic jams and time tend to a minimum, and traffic congestion reaches its optimal value. Of course, such an application requires data collection to function properly. The author of the

monograph lists the necessary sources, including current city and traffic maps, information about current maintenance and possible repair work, the number of cars on the roads, cameras, and traffic signs. The author assumes that in the future the application will directly influence the city's road system by distributing the load between city streets. The work simulates the interaction of a potential user with the application, describes in detail an example of constructing a route, and compares it with the proposed Yandex.Navigator.

In addition, to illustrate the effectiveness of the implemented model, a graph of speed changes along the routes under consideration was constructed using the example of the city of Krasnodar. When comparing them, it becomes obvious that the intuitive route, as well as the one proposed by the navigator, is not optimal in terms of time spent on the road. The advantage is not only the unloading of roads, but also the ability to predict time, which is an important advantage, because time is the most important resource that every person tries to minimise.

The congestion management service application proposed by the author is intended not only to qualitatively improve the traffic situation on the roads, increase driving safety and significantly reduce the time spent by drivers. It is important to note that the methodology will help to identify the weak points of urban infrastructure and analyse the impact of its new elements on traffic dynamics.

The monograph is a completed scientific work that proposes an up-to-date methodology for regulating traffic. The methodology is considered using the example of Krasnodar. The issue of scaling the method to other cities is debatable; it would be worthwhile to dwell in more detail on the algorithm for preparing for data collection when introducing the method in other cities. It is necessary to have answers to several questions. «What should be the starting point for implementation, what problems can signal problems with traffic? Is it possible to implement the technique on specific sections of the road or it is strictly advisable to apply it on a city scale?» However, the proposed methodology can indeed be applied in other regions. The author describes in detail both the internal operation of the application and the user's interface; one might say, a full-fledged technical specification has been prepared for further development.

The monograph «Improving traffic management based on the use of mathematical and instrumental methods of economics» is characterised by scientific novelty and practical value: the author's new approach can really be applied to solve the problems of traffic congestion. ●

Information about the author:

Kargina, Larisa A., D.Sc. (Economics), Head of the Department of Information Systems of the Digital Economy, Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kargina_larissa@hotmail.com.

Article received 27.10.2023, accepted 02.11.2023.

**SELECTED ABSTRACTS OF PH.D.
THESES SUBMITTED AT RUSSIAN
TRANSPORT UNIVERSITIES**

*The text in Russian is published
in the first part of the issue.*

*Текст на русском языке публикуется
в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-4-17>

Afanasyeva, T. A. Justification of a set of measures to ensure a comfortable and safe living environment for humans in the context of functioning of transport systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Obosnovanie kompleksa meropriyatiy dlya obespecheniya komfortnoi i bezopasnoi dlya cheloveka sredi obitaniya v usloviyakh funktsionirovaniya transportnykh sistem. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2023, 20 p.

Currently, construction of residential areas and development of urban services are often followed by violation of measures to ensure environmental safety of living conditions of the population and lead to formation of zones of excess acoustic load in residential areas. Railway transport facilities are one of the most significant sources of excess noise levels in residential areas, residential buildings, and administrative premises.

The purpose of the thesis research was to develop a scheme for selecting activities that would provide the most comfortable and safe living environment for humans in areas with a developed transport system.

The object of the study was acoustic characteristics of rolling stock at the Oktyabrskaya Railway site. The subject of the study included measures to protect residential and public buildings from noise.

The understanding of the list of noise protection measures that affect safety of living conditions in cities and agglomerations in areas with developed transport infrastructure has been expanded. The list of noise protection measures for residential premises and public buildings includes soundproofing fabric. A study of its acoustic characteristics has been carried out, and methods of use have been proposed.

The scientific position is substantiated that the currently existing set of noise protection measures is insufficient to comply with hygienic requirements. It has been established that acoustic screens have limited effectiveness in the conditions of high-rise buildings in areas where linear railway transport facilities are located, as well as in the context of the prospect of intensive development of high-speed railway traffic.

Elements of technology for substantiating a set of noise protection measures have been developed to solve the problem of excess acoustic impact on the territory and residential premises in the area where linear railway transport facilities operate.

An information system, databases and an algorithm for substantiating management decisions have been created.

The insufficient effectiveness of the complex of currently existing noise protection measures used to normalise the acoustic load on residential areas and premises of residential and public buildings has been proven.

A set of measures has been proposed to reduce the acoustic load in residential and public premises located in the zone of excess acoustic influence of transport infrastructure facilities.

It is recommended to make changes to the regulatory documents regarding the requirements for double-glazed windows, because contrary to the requirements of SP [Construction rules] 31–107–2004, the regulatory and technical acts do not contain information on which window unit design has a particular degree of airborne noise insulation efficiency.

The research results may influence future development of the theory and practices of developing technical aids and means to reduce noise from traffic flows.

Methodological approaches to organising research and the developed scheme for selecting noise protection measures can be replicated for automobile and aviation transport systems.

Prospects for further development of the topic include a detailed study of soundproofing and sound-absorbing materials to ensure the acoustic safety of the environment.

2.9.10. Technosphere safety of transport systems (engineering sciences)

The work was performed and at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University and defended at Russian University of Transport.

Konovalov, P. Yu. Improvement of pneumatic sand supply systems for locomotives and improvement of their operational performance. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie pnevmaticheskikh sistem peskopodachi lokomotivov i uluchshenie ikh ekpluatatsionnykh pokazatelei. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2023, 24 p.

Today, new locomotives with improved traction properties are being actively designed and implemented. Thus, locomotives are equipped with additional loading devices and inclined rods to compensate for redistribution of coupled weight, with an asynchronous traction drive with axial traction control, which has more rigid traction characteristics, and others. However, despite the innovative solutions of new promising series of locomotives, in operation there are still negative phenomena associated with excessive slipping of the driving wheels of locomotives – slipping in traction mode and skidding during braking, especially in difficult coupling operating conditions. This is due to a wide range of changes in the friction coefficient in the contact zone of locomotive wheels with the rail, which depends on a large number of factors in operation, such as: the presence of industrial pollution and moisture on the surface of the rail, weather and climatic conditions, speed, weight of the train, the complexity of the profile and layout of the railway track, the design features of the rolling stock and many others.

The most common way to increase the adhesion of driving wheels to rails on railway rolling stock is to supply quartz sand particles in a stream of compressed air. Despite the fact that these systems are widespread and used in pumping stations of various types and purposes, they still have low operational reliability and disadvantages – fixed seasonal adjustment of sand flow, the use of pulse control of supply with different pulse duty ratios, a tendency for the sandbox nozzles used to self-deregulate and excessive uncontrolled supply of sand, low flow rate of the sand-air mixture, which leads to blowing of sand particles by a side wind flow during transportation from the outlet section of the bedding hose to the wheel-rail adhesion zone.

The objectives of the study are to improve the basic elements of locomotive sand supply systems for smooth continuous dosing of sand and improve their performance indicators.

The object of the study was the pneumatic sand supply system of a locomotive for transporting quartz sand particles to the contact zone of the locomotive wheels with the rails in a stream of compressed air.

The direction of the research was to improve the operational performance of sand supply systems for locomotives by improving its main elements to implement smooth continuous dosing of the amount of sand and increase the reliability of the process of transporting quartz sand particles to the contact zone of the wheels with the rails, taking into account the adhesion load.

Engineering solutions have been developed and experimentally confirmed for modernisation of sand supply systems of serial locomotives to implement smooth continuous regulation of the amount of sand flow from the sandbox nozzle body by installing a throttling device with a servo drive while



increasing the performance and reliability of standard sandbox nozzles by replacing the needle-type adjusting screw with a screw, equipped with a set of jets with calibrated holes designed for different maximum sand flow rates.

Engineering calculations of a gas-air injector were made to increase the flow rate of the sand-air mixture to more than 40 m/s due to the injection of an additional volume of air with a reduced consumption of compressed air from the pneumatic supply line of locomotives compared to standard sand supply systems.

An improved sand supply system has been designed and developed based on the effect of vibration liquefaction of a layer of quartz sand particles to implement smooth continuous dosing of the amount of sand by changing the frequency, amplitude and magnitude of the disturbing impact on the layer of bulk material in the sandbox nozzle body, and the stability of operation under external vibration impact has also been experimentally confirmed that simulates the vibrations of a rail vehicle.

The proposed measures can be used in the design of new series of traction rolling stock, as well as in modernisation and overhaul of operating traction rolling stock of various types and purposes.

For the first time, a classification of sand supply systems for traction rolling stock has been proposed based on the analysis of designs and operating principles of sand supply systems for locomotives of various types and purposes.

The effective angle of inclination and layout of the bedding sleeve, as well as the flow rate of the sand-air mixture, were determined to implement the sand supply process with the greatest efficiency while reducing the loss of quartz sand particles during transportation to the wheel-rail adhesion zone when exposed to a side wind of up to 20 m/s. It has been established that the universal layout of the bedding sleeve and its inclination angles relative to the rail surface is a «combined» one at angles of $10 \pm 2^\circ$. This arrangement of sand pipes makes it possible to ensure a guaranteed delivery of quartz sand grains to the wheel-rail contact zone in a volume of at least 90 %, provided that the flow rate of the sand-air mixture from the outlet section is more than 40 m/s.

An engineering calculation of geometric and gas-dynamic parameters was carried out, on the basis of which a design of a gas-air injector was proposed to increase the flow rate of the sand-air mixture to more than 40 m/s due to the injection of an additional volume of air with a reduced consumption of compressed air from the pneumatic supply line of locomotives per one sandbox nozzle, compared to standard sand supply systems. Layout diagrams for the location of the injector for locomotive sand supply systems have been developed with the possibility of increasing the flow rate of the sand-air mixture and purging sand pipelines without implementing sand supply.

A stand has been developed, representing part of the standard sand supply system of a locomotive, on which a system for implementing smooth continuous regulation of the flow rate of sand from the sandbox nozzle body by installing a throttling device with a servo drive has been experimentally studied. Based on a three-dimensional computer model in real scale of the main elements of the sand supply system for the study of gas-dynamic processes in the sand supply system, including taking into account movement of sand grains, approximating dependencies were obtained that simplify the selection of the diameter of the adjusting screw nozzle hole, based on air flow velocities in characteristic sections air channels.

During field tests, it was established that on the surface of the rail, after sand is supplied under the wheels of the locomotive, two distinct fractions of particles are formed – a layer of densely packed particles on the central part of the rolling surface, which is a trace from the movement of the wheel along the rail in the size of the contact patch with a grain size of less than 0,1 mm, as well as uncompacted – corresponding to the particle size of the original sand from 0,1 to 0,5 mm, not yet involved in the friction process, located closer to the side faces of the rail head. Based on the results of laboratory studies, the percentage ratio of the concentration of sand particles on the surface of the rail

after the passage of the driving wheels of the locomotive was obtained, and it was also found that sand grains of these fractions had a positive effect on increasing the friction coefficient.

The range of recommended consumption of the amount of sand per linear meter of track has been determined depending on various factors to increase and stabilise the adhesion properties of traction rolling stock to prevent excessive slipping of the driving wheels with the rails in traction and braking modes.

A method for dosing the amount of sand under the wheels of a locomotive is proposed, based on the use of the effect of vibration liquefaction of a layer of quartz sand particles to implement smooth continuous dosing of the amount of sand by changing the frequency, amplitude and magnitude of the disturbing impact on the layer of bulk material in the sandbox nozzle body.

An improved sand supply system with the effect of vibration liquefaction of a layer of quartz sand particles for smooth continuous dosing of its quantity from the sandbox nozzle body by changing the frequency of vibration through the latex membrane by the pneumatic pulsator piston depending on the compressed air pressure has been developed and confirmed by a computational experiment based on three-dimensional solid-state modelling with finite volumes supplied to the pneumatic drive, with an increased flow rate of the sand-air mixture to ensure its stable flow from the outlet section of the bedding hose by ejecting an additional volume of air through a gas-air injector installed in front of the sandbox nozzle, with the possibility of purging the sand pipeline due to the provision of separate independent power supply to the pneumatic vibration drive of the nozzle and gas jet apparatus.

2.9.3. – Railway rolling stock, train traction and electrification

The work was performed and defended at Rostov State Transport University.

Smirnov, G. E. Methodology for substantiating test impacts when analysing the security of an informatisation object based on graphic-analytical methods. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Metodika obosnovaniya testovykh vozddeystvii pri analize zashchishchennosti obekta informatizatsii na osnove grafoanaliticheskikh metodov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, GPUPS publ., 2023, 20 p.

A relevant scientific task is related to development of a model for analysing the security of an informatisation object and a methodology for justifying a set of test information technology impacts (ITI) to ensure rational completeness of coverage of vulnerabilities under restrictions on the cost of resources when analysing the security of an informatisation object.

The purpose of the dissertation research is to improve the indicators of the completeness of vulnerability coverage and the cost of testing through a reasonable choice of test information technology impacts when conducting an analysis of the security of an information technology object.

The object of the study is the processes and procedures for analysing the security and auditing of information security of an informatisation object, and the subject of the study is graphic-analytical methods used to justify a set of test ITI in the interests of analysing and ensuring the security of an informatisation object.

In the dissertation research, in order to improve the indicators of completeness of coverage of vulnerabilities and the cost of testing through a reasonable choice of test information and technical impacts when analysing the security of an information technology object, the scientific problem of developing a model for analysing the security of an information technology object and a methodology for justifying a set of test ITI to ensure rational completeness of coverage of vulnerabilities when restrictions on the cost of resources when analysing the security of an information technology object.

The result of solving a scientific problem is protected scientific results that have scientific novelty, theoretical

significance and are a contribution to development of the corresponding theoretical form of knowledge:

A model for analysing the security of information technology objects (IO) based on the use of test ITI, characterised by construction of a four-level graph linking with each other: individual test ITI; resource consumption for their implementation; verifiable vulnerabilities; tested elements and subsystems of the informatisation object; indicators of identified and potentially prevented damage, as well as justification and introduction of functional dependencies to determine the weights of inter-level edges of the graph;

A methodology for justifying a set of test ITI to ensure rational completeness of coverage of IO vulnerabilities under restrictions on the cost of resources, characterised by a 2-stage process of finding a rational set of test ITI.

The obtained solutions to particular scientific problems and their use in the applied field made it possible to formulate an applied result that has practical significance and is a contribution to development of technical and applied information security audit tools:

Scientifically based recommendations are given on the architecture of an automated complex for analysing the security of information resources using test ITI, based on the model and methodology first developed in this dissertation research and putting into practice the main provisions for formation of a rational set of test ITI in terms of completeness of coverage of vulnerabilities and the cost of testing.

The purpose of the dissertation work was achieved by solving the assigned problems. The presented model and methodology made it possible to improve the indicators of completeness of coverage of vulnerabilities and the cost of testing an informatisation object through a reasonable selection of test ITI and provide a 22 % better value of the completeness of coverage of IO vulnerabilities and 20–46 % less resource consumption (with equal completeness of coverage of IO vulnerabilities) than when assessing the security of IO in accordance with other testing strategies.

The model and methodology developed in the thesis, as well as scientifically based recommendations, can be used by organisations conducting justification and development of hardware and software systems for information security monitoring centres, SIEM systems, as well as scientific organisations conducting research in the field of information security, in particular in areas of auditing and monitoring the security of information resources.

Prospects for further development of the topic include additional research into a randomised strategy for selecting test ITI and the application of the Monte Carlo method in general to solve the problems of auditing IO; taking into account the connections of elements in IO, as well as their influence on the properties of information security on the effectiveness of test ITI and the formation of the final test set.

2.3.6 – Information security methods and systems, information security.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Vasiliev, D. V. Increasing the efficiency of terminal processing and organisation of container trains. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti terminalnoi obrabotki i organizatsii konteinernykh poezdov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Samara, SamGUPS publ., 2023, 16 p.

A current research issue is ensuring sustainability of transport and logistics activities in the context of macroeconomic transformation by improving technologies for terminal processing of containers and organising transportation of goods as part of container trains based on implementation of a customer-oriented approach, allowing rational use of existing infrastructure capabilities, ensuring work in new markets, as well as demand among existing and potential users of transport services.

The purpose of the study was to improve the efficiency of terminal handling and organisation of container trains.

The object of the study included railway container transportation. The subject of the study is the technology of operation of container terminals and organisational and technological requirements for container trains.

The analysis of scientific, methodological and practical experience in organising transportation of goods in containers by rail has been carried out: in the context of current restrictions associated with the ongoing macroeconomic transformation, the lack of throughput and processing capabilities of terminal and logistics infrastructure facilities and the shortage of investment resources, development and implementation of highly effective working methods is required using digitalisation and automation of technological processes, as well as new organisational and technological solutions related to transportation of goods as part of container trains, ensuring a reduction in delivery time, a working fleet of containers and specialised rolling stock.

Functional requirements for an automated control system for a container terminal are formulated, providing intelligent control of its technological zones, the ability to take into account the influence of stochastic processes on its operation and find optimal solutions taking into account adjustments to plans and ongoing work.

To determine the optimal order of performing a set of loading and unloading operations during terminal handling of containers, a mathematical model and a genetic algorithm have been developed to ensure acceleration of processing of containers and rolling stock at the terminal by reducing the idle run of the terminal and the number of redundant rearrangements of containers in cases where the target container is blocked by another container.

To increase the efficiency of cargo transportation as part of container trains for the carrier and to minimise unproductive material and time losses of clients, an economic and mathematical model has been developed that allows solving optimisation problems of choosing the length of container trains on a given railway route. The proposed economic and mathematical model describes the mechanism of interaction of transportation parameters, taking into account the possibility of the influence of the length of a container train on demand (volume of container traffic); reduction of cargo delivery time; changing the tariff value while reducing delivery time.

The length parameters of container trains for a specific direction of formation are determined based on the capacity of the direction, the number of locomotives used, the loading plan, availability of containers and platforms at the container terminal, availability of platforms, containers on the approach to the junction station, as well as taking into account the forecast demand for this transport a product based on reducing accumulation time, delivery time and regularity of transportation. An economic indicator – the carrier's profit – was chosen as an efficiency criterion.

A methodology has been developed for establishing organisational and technological requirements for assignment of container trains, which allows solving optimisation problems of choosing the lengths and frequency of running container trains on a given railway route. An algorithm for assigning a container train is proposed, which can be used to adjust the current Regulations for organising container trains, in terms of determining the economic feasibility of organising a container train by employees.

Quantitative dependences of the change in the specific profit from organising a container train on the variation of its length for various parameters of demand for transportation, tariff and delivery time were obtained, which confirm the hypothesis about the possibility of finding the economically optimal length of a container train outside the regulated interval from 57 to 71 conventional wagons for certain combinations transportation parameters.

The developed mathematical models and methods were tested.



To check the adequacy of the mathematical model and the genetic algorithm for optimising the operational planning of loading and unloading mechanisms, a program in the Java language was developed. Numerical experiments showed an average increase in the efficiency of handling containers and specialised rolling stock by 9,95 %. The greatest reduction in duration of loading and unloading operations can be achieved in the case of handling a public container train.

Taking into account the number of PRM owned by the Central Directorate for Management of the Terminal and Warehouse Complex, a branch of JSC Russian Railways, designed to work with large-capacity containers, the estimated annual economic effect from reducing PRM electricity consumption can amount to 65,2 million rubles/year.

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

Balakin, V. V. Design of the urban passenger transport system: Study guide [*Proektirovanie sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta: Ucheb. posobie*]. Volgograd, VolgSTU publ., 2023, 106 p. ISBN 978-5-9948-4645-2.

Boran-Keshishyan, A. L., Ogurtsov, D. V., Krugova, I. M. [et al.] Theory and practice of ship repair. Welding work: Study guide [*Teoriya i praktika sudoremonta. Svarochnie raboty. Ucheb. posobie*]. 2nd ed., rev. Novorossiysk, Admiral Ushakov Maritime State University, 2023, 72 p.

Buylov, V. N., Kosarev, A. V., Chumakova, S. V. Digital technologies in the study of mathematical and mathematical modelling: Textbook [*Tsifrovie tekhnologii v izuchenii matematiki i matematicheskogo modelirovaniya: Uchebnik*]. Saratov, Amir publ., 2023, 120 p. ISBN 978-5-00207-199-9.

Dudareva, O. V. Management of sustainable development of industrial ecosystems in the conditions of technological transformations: Monograph [*Upravlenie ustoichivym razvitiem promyshlennykh ekosistem v usloviyakh tekhnologicheskikh transformatsii: Monografiya*]. Kursk, University Book, 2023, 400 p. ISBN 978-5-907710-99-3.

Gvozdeva, V. A. Intelligent technologies in unmanned systems: Textbook [*Intellektualnye tekhnologii v bespilotnykh sistemakh: Uchebnik*]. 2nd ed., enl. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 196 p. ISBN 978-5-16-017804-2.

Khusainov, F. Railway tariffs: a very brief introduction [*Zheleznodorozhnie tarify: ochen kratkoe vvedenie*]. Moscow, Prometheus Publishing House, 2023, 218 p. ISBN 978-5-00172-571-8.

Konovalova, T. V., Lebedev, E. A., Mirotin, L. B. [et al.] Improving traffic safety for children on the road network of cities: Monograph [*Povyshenie bezopasnosti dvizheniya detei na ulichno-dorozhnoi seti gorodov: Monografiya*]. Ed. by T. V. Konovalova. Krasnodar, Publishing House-Yug, 2023, 190 p. ISBN 978-5-91718-730-3.

Kravchenko, O. A. Formation of mechanisms and tools for ensuring sustainable development of electric power organizations: Monograph [*Formirovanie mekhanizmov i instrumentariya dlya obespecheniya ustoichivogo razvitiya elektroenergeticheskikh organizatsii: Monografiya*]. 2nd ed., rev. Moscow, Nauka publ., 2023, 238 p. ISBN 978-5-02-040971-2.

Medvedev, V. T., Kondratyeva, O. E., Karalynets, A. V. Occupational safety in the energy sector: Textbook [*Okhrana truda v energetike: Uchebnik*]. 2nd ed., ster. Moscow, Academia publ., 2023, 425 p. ISBN 978-5-0054-1095-5.

Using the example of the direction of circulation of the container train St. Petersburg – Novorossiysk, economically feasible organisational and technological requirements for the purpose of container trains were determined. When sending a train with a length determined in accordance with the methodology, the train accumulation period is reduced by 2,8 days, demand increases by 8,26 %, and the economic effect will be 2,4 million rubles/year.

The proposed measures ensure a reduction in the working fleet of fitting platforms by 306 units and containers by 20563 units.

2.9.4 – Transportation processes management.

The work was performed and defended at Samara State Transport University.

Mussonov, G. P. Applied physics in electrical power engineering: Study guide [*Prikladnaya fizika v elektroenergetike: Ucheb. posobie*]. Irkutsk, Publishing house of Irkutsk National Research Technical University, 2023, 158 p. ISBN 978-5-8038-1801-4.

Nosenko, V. I., Naumov, M. V., Sukhina, M. I. Maneuvering and controlling a vessel. Part 1 [*Manevrirovaniye i upravleniye sudnom. Chast I*]. Moscow, Infra-M publ., 2024, 240 p. ISBN: 978-5-16-016918-7, Part 2. – 304 p. ISBN: 978-5-16-016920-0.

Pendrikov, E. S., Eliseev, I. V., Teppoev, A. V. Microprocessor automation and control tools: Study guide [*Mikroprotsessornye sredstva avtomatizatsii i upravleniya: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, LTU publ., 2023, 107 p. ISBN 978-5-9239-1395-8.

Petrov, S. A., Polovinkin, V. N. Accident rates of ships with nuclear power plants of foreign fleets [*Avariiost korablei s yadernymi energeticheskimi ustanovkami inostrannykh flotov*]. St. Petersburg, Krylov State Scientific Center, 2023, 278 p. ISBN 978-5-6046292-9-1.

Platform economy in Russia: development potential [*Platformennaya ekonomika v Rossii: potentsial razvitiya*]: Higher School of Economics, National Research University; editorial board: L. M. Gokhberg [et al.]. Moscow, ISSEK HSE, 2023, 72 p. ISBN 978-5-7598-3001-6.

Ratner, S. V., Nazarova, L. E. Circular model of economic growth. Experience, opportunities and barriers: Monograph [*Tsirkulyarnaya model ekonomicheskogo rosta. Opyt, vozmozhnosti i bariery: Monografiya*]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 211 p. ISBN 978-5-16-017852-3.

Sazhina, M. A., Kashirova, A. V. Social wealth of the innovation system: Monograph [*Sotsialnoe bogatstvo innovatsionnoi sistemy: Monografiya*]. Ed. by D.Sc. (Economics), Honoured Professor of Lomonosov MSU M. A. Sazhina. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 109 p. ISBN 978-5-16-017787-8.

Sergeeva, M. V. Mutual influence of transport infrastructure and human development: Monograph [*Vzaimovliyaniye transportnoi infrastruktury i chelovecheskogo razvitiya: Monografiya*]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 217 p. ISBN 978-5-16-017822-6.

Titenok, A. V. Ensuring the operational reliability of mechanical systems: Study guide [*Obespecheniye ekspluatatsionnoi nadezhnosti mekhanicheskikh sistem: Ucheb. posobie*]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 300 p. ISBN 978-5-16-016324-6.

Vershkov, A. V., Moskalev, A. K. Management of innovative activities: Study guide [*Upravleniye innovatsionnoi deyatel'nostyu: Ucheb. posobie*]. Moscow, INFRA-M publ.; Krasnoyarsk, SFU publ., 2023, 165 p. ISBN 978-5-16-018087-8.

Winder, Phil. Reinforcement Learning. Industrial Applications of Intelligent Agents. Translated from English by E. Cherskikh. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2023, 400 p. ISBN 978-5-9775-6885-2.

Compiled by N. OLEYNIK ●



THE M-12 HIGHWAY IS OPEN FOR TRAFFIC FROM MOSCOW TO ARZAMAS

On September 8, 2023, the President of the Russian Federation Vladimir Putin launched traffic on the M-12 Vostok federal highway from Moscow to Arzamas.

In his speech, the Head of State thanked everyone who took part in the implementation of these large-scale projects. «Thanks to your professionalism, the route includes, without exaggeration, unique structures, I mean the bridge over the Oka near Murom. Its length is almost one thousand four hundred meters, and it is the first bridge with a cable-stayed system developed and certified entirely in Russia», the President of the country said.

Vladimir Putin also stressed that another significant step has been taken today in modernising and expanding the network of federal roads and increasing the connectivity of our territories. «The strengthening of the national economy and industry, and, ultimately, the quality of life of our citizens, the growth of business and tourist activity, largely depend on such high-quality, modern highways, on effective route and transport hubs. Therefore, our plans in the field of road construction will definitely be expanded and, I am sure, implemented in full. This also refers to the further development of the Vostok highway, which I have already mentioned. It is to be extended to Kazan, and then to Yekaterinburg and Tyumen, and in the future to other regions of Russia, Siberia, and the Far East,» the President said. «And, of course, it is important that trips on the segments that have already been opened are comfortable and safe. To do this, they need to be provided with reliable mobile communications and the Internet, and this must be done as soon as

possible, as well as filling stations, food outlets and recreation areas should be built».

The length of the route is 415 kilometres, including 308 km of sections inaugurated on this day. The highway under construction from Moscow to Kazan is part of the Rossiya International Transport Route, one of the main projects for the development of road infrastructure from St. Petersburg to Vladivostok. Considering the sections of the M-12 highway already opened in 2022, the travel time from Moscow to Arzamas will be reduced from seven to three and a half hours. In turn, the opening of the northern direction of the Moscow High-Speed Diameter, passing through the capital, has connected the M-12 and M-11 highways.

In December 2023, motorists will travel along the M-12 to Kazan, then to Yekaterinburg. This road will become part of the 12,000 km long Rossiya transport route from St. Petersburg to Vladivostok.

The M-12 links other roads. With the opening of the new section, the 9,4 km Southern Bypass of Arzamas has also been put into operation. It will bring the flow of transit transport out of the city, help the development of the Arzamas – Diveevo – Sarov pilgrimage and tourist cluster in the Nizhny Novgorod Region.

In total, more than 88 thousand cars used the new highway from Moscow to Arzamas on the first weekend after the opening of the new highway.

Compiled basing on the news released by the press centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation:
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10855>,
<https://mintrans.gov.ru/presscenter/news/10865> ●



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 21, Iss. 4, 2023

Editor-in-Chief

Igor N. Rozenberg

For your letters:

Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет
транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: + 7(495)2740274 доб. 3004

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >