

ТРАНСПОРТ

TRANSPORT

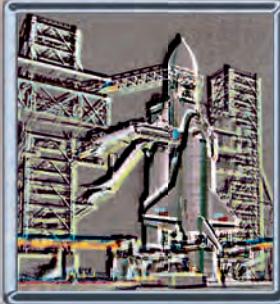
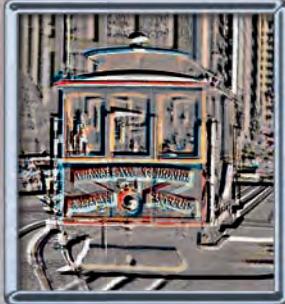
WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

1 2020
Том / Vol. 18

ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ:
КАК СПРОГНОЗИРОВАТЬ
СПРОС ПАССАЖИРОВ



CIVIL AVIATION:
HOW TO FORECAST
PASSENGER DEMAND



Стр./р. 134

ЦИФРОВЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ КОРИДОРЫ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

Развитие цифровых транспортных коридоров стало одной из тем заседания Евразийского межправительственного совета ЕАЭС 31 января 2020 года в Алматы (Республика Казахстан).

Экосистему цифровых транспортных коридоров ЕАЭС планируется сформировать к 2025 году, предусмотрев интеграцию с глобальными транспортно-логистическими платформами. План включает в себя мероприятия национального и наднационального уровней.

Премьер-министры стран Союза приняли решение, что после определения первоочередных сервисов и выбора конкретных механизмов их реализации, государства ЕАЭС обеспечат разработку национальных планов по формированию экосистемы.

Ожидается, что формирование экосистемы создаст условия для снижения до 30 % времени простоя автотранспорта. Также экосистема позволит получить дополнительный эффект посредством анализа потоков данных: строить транспортно-экономический баланс, выявлять «узкие места», прогнозировать транспортные потоки, принимать управленческие решения.



В составе российской делегации под руководством Председателя Правительства Российской Федерации Михаила Мишустина участие в заседании Евразийского межправительственного совета принял заместитель министра транспорта Алексей Семёнов.

По материалам пресс-центра Минтранса России, ЕЭК: [https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9417/](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9417;); <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/03-02-2020-4.aspx> •

EEAU DIGITAL TRANSPORT CORRIDORS

Тhe development of Eurasian digital transport corridors was among the topics discussed at the EAEU Intergovernmental Council held on January 31, 2020 in Almaty (Republic of Kazakhstan).

The EAEU ecosystem of digital transport corridors is to be formed by 2025, providing for integration with global transport and logistics platforms. The plan includes national and supranational events. According to the decision by the Prime Ministers of the Union countries, after identifying the priority services and choosing specific mechanisms for their implementation, the EAEU States will ensure the development of national plans for the ecosystem formation.

The ecosystem development is expected to create conditions for reducing road vehicles' downtime by

30 %. Besides, the ecosystem will enable obtaining an additional effect through the data flows analysis: creating a transport and economic balance, identifying bottlenecks, predicting traffic flows, and making management decisions.

The Russian delegation to the meeting of Eurasian Intergovernmental Council, headed by the Chairman of the Government of the Russian Federation Mikhail Mishustin, included Alexey Semenov, Deputy Minister of Transport.

Compiled from the news of the press centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation, Eurasian Economic Commission: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9417>, <http://www.eurasiancommission.org/en/nae/news/Pages/03-02-2020-4.aspx> •

Транспорт

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

1 2020
(86)

СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учрежден МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

В. В. Виноградов – доктор технических наук, профессор РУТ

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Антон Денисенков, Юлия Полякова

Краудсорсинг и платформенные решения на транспорте:
возможности для развития «Цифрового метро» в России 6

Максим Железнов, Олег Карабеев,

Егор Шитов, Юлия Шитова

Исследование развития зарубежных железнодорожных компаний
с применением патентного и библиометрического анализа 22

НАУКА И ТЕХНИКА

*Виталий Савинкин, Виктория Кузнецова,
Айгуль Абильмажинова*

Разработка энергоэффективного роторно-инерционного
устройства по брикетированию твёрдых бытовых отходов (ТБО) 38

Виктор Алексеев, Александр Ваганов,

Марина Катина

Концепция построения и реализации высокоскоростного
транспорта 58

ЭКОНОМИКА

Никита Макуцкий, Максим Фадеев,

Павел Чистяков

Сравнение методик прогнозирования междугородних
пассажиропотоков на различных видах транспорта 74

Дмитрий Мачерет, Алексей Разувайев,

Анастасия Ледней

Экономическая оценка сезонной неравномерности загрузки
железнодорожной инфраструктуры 94

Максим Малышев, Надежда Филиппова,

Михаил Пономарев

Неполученная провозная плата – нерешённая проблема
предприятий общественного транспорта,
осуществляющих перевозку льготников 116

Василий Жуков

Модели анализа спроса на пассажирские авиаперевозки 134

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –
главный редактор
Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
первый заместитель главного
редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –
д.т.н., доцент РУТ
Л. А. БАРАНОВ –
д.т.н., профессор РУТ
А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –
д.т.н., профессор РУТ
Г. В. БУБНОВА –
д.э.н., профессор РУТ
Ю. А. БЫКОВ –
д.т.н., профессор РУТ
В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –
д.т.н., доцент РУТ
В. Б. ЗЫЛЁВ –
д.т.н., профессор РУТ
В. И. КОНДРАЩЕНКО –
д.т.н., старший научный
сотрудник РУТ
А. А. ЛОКТЕВ –
д.Ф-м.н., профессор РУТ
С. Я. ЛУЦКИЙ –
д.т.н., профессор РУТ
О. Е. ПУДОВИКОВ –
д.т.н., доцент РУТ
В. Н. СИДОРОВ –
д.т.н., профессор РУТ
Н. П. ТЕРЁШИНА –
д.э.н., профессор РУТ
В. С. ФЁДОРОВ –
д.т.н., профессор РУТ
В. М. ФРИДКИН –
д.т.н., старший научный
сотрудник РУТ
В. А. ШАРОВ –
д.т.н., профессор РУТ
А. К. ШЕЛИХОВА –
руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

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

При перепечатке ссылка
на журнал «Мир транспорта»
обязательна.
© «Мир транспорта», 2020

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<i>Дмитрий ЕФАНОВ</i>	146
Интеграция систем управления и мониторинга	
<i>Сергей МАЛАХОВ, Михаил КАПУСТИН</i>	
Оперативное нормирование энергоресурсов на тягу поездов с использованием метода искусственных нейронных сетей	158
<i>Николай ЛЫСЕНКО, Ирина КУЗНЕЦОВА, Константин КУЗНЕЦОВ</i>	
К вопросу эффективности работы маневровых тепловозов на грузовых терминалах	170
<i>Алексей ПОПОВ, Артем ХМЕЛЕВ</i>	
Совершенствование методики расчёта средневзвешенного оборота полувагонов металлургического предприятия	184
<i>Максим КУДРЯШОВ, Александр ПРОКОПЕНКОВ, Радион АЙРИЕВ</i>	
К вопросу нормативного обеспечения эксплуатации пассажирских электрических транспортных средств	196

БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Марина ЕРХОВА, Людмила ШУМКОВА</i>	
Исследование особенностей совладающего поведения курсантов-пилотов гражданской авиации	214
<i>Александр ПОПОВ, Ульяна КАЙМАКОВА, Николай СТЕЦКИЙ</i>	
Уровень владения навыками первой помощи среди водителей в России и Европейском Союзе	230
<i>Алексей ШВЕЦОВ</i>	
Субъект транспортной инфраструктуры как элемент системы обеспечения транспортной безопасности	244

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

<i>Иван ХОЛИКОВ</i>	
Правовые знания для будущих транспортников	260
Авторефераты диссертаций	265
Новые книги о транспорте	271

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Минтранс России оцифрует транспортную накладную и путевой лист	21
Перевозки пассажиров на инфраструктуре ОАО «РЖД» в 2019 году	93
Новый терминал С в аэропорту Шереметьево	212
Беспилотные авиационные системы: устойчивое развитие и вопросы регулирования	258

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

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 500 экз. Цена свободная.
Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать»
«Газеты. Журналы» – 80812.

Отпечатано с оригинал-макета в полиграфическом центре ФГУП
Издательство «Известия», 127254, Москва, ул. Добролюбова, д. 6,
тел.: (495) 650-38-80, izv-udprf.ru.

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

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



World of Transport and Transportation

- THEORY
- HISTORY
- ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 18²⁰²⁰
Iss. 1

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

Bakytzhan M. Kuanyshев, D.Sc. (Eng), professor of Kazakh Academy of Transport and Communications

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

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

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

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

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

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

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

Valentin V. Vinogradov, D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Anton P. DENISENKOY, Yulia M. POLYAKOVA

Crowdsourcing and Platform Solutions in Transport:

Opportunities for Development of «Digital Metro» in Russia 14

Maxim M. ZHELEZNOV, Oleg I. KARASEV,

Egor A. SHITOY, Yulia A. SHITOVA

Research of Development of Foreign Railway Companies

Using Patent and Bibliometric Analysis 30

SCIENCE AND ENGINEERING

Vitaly V. SAVINKIN, Victoria N. KUZNETSOVA,

Aigul S. ABILMAZHINOVA

Development of an Energy-Efficient Rotary Inertia Device
for Briquetting Household Solid Waste (HSW) 48

Victor M. ALEXEEV, Alexander V. VAGANOV,

Marina V. KATINA

The Concept of Development and Implementation
of High-Speed Transport 66

ECONOMICS

Nikita A. MAKUTSKY, Maxim S. FADEEV,

Pavel A. CHISTYAKOV

Comparison of Forecasting Methods for Intercity Passenger
Flows for Various Modes of Transport 84

Dmitry A. MACHERET, Aleksey D. RAZUVAEV,

Anastasia Yu. LEDNEY

Economic Assessment of Seasonal Unevenness
in Railway Infrastructure Loading 105

Maxim I. MALYSHEV, Nadezhda A. FILIPPOVA,

Mikhail L. PONOMAREV

Uncollected Fare as Unresolved Problem of Public
Transport Enterprises Engaged in Transportation of Benefit Holders 125

Vasily E. ZHUKOV

Demand Analysis Models for Passenger Air Transportation 140

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief
Evgenny Yu. ZARECHKIN,
first deputy editor-in-chief

BOARD MEMBERS

Evgenny S. ASHPIZ,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Leonid A. BARANOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Alexander M. BELOSTOTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Galina V. BUBNOVA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport
Yuriy A. BYKOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Victor S. FEDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Vladimir M. FRIDKIN,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport
Victor A. GRECHISHNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Valeriy I. KONDRAHENKO,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport
Alexey A. LOKTEV,
D.Sc. (Phys.-Math.), professor of Russian University of Transport
Svyatoslav Y. LUTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Oleg E. PUDOVIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport
Victor A. SHAROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office
Vladimir N. SIDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport
Natalia P. TERYOSHINA
D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport
Vladimir B. ZYLYOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor
Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary
Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta
© World of Transport and Transportation
© English translation
© 2020. All rights reserved.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Dmitry V. EFANOV

Integration of Control and Monitoring Systems 152

Sergey V. MALAKHOV, Mikhail Yu. KAPUSTIN

Operational Rationing of Energy Resources for Train Traction
Using the Method of Artificial Neural Networks 164

Nikolay E. LYSENKO, Irina A. KUZNETSOVA, Konstantin S. KUZNETSOV

On the Issue of Efficiency of Shunting Diesel

Locomotives at Cargo Terminals 177

Alexey T. POPOV, Artem S. KHMELEV

Improving the Methodology for Calculating the Average
Turnover of Gondola Cars of an Iron and Steel Plant 190

Maxim A. KUDRYASHOV, Alexander V. PROKOPENKOV, Radion S. AYRIEV

On the Issue of Regulatory Support for Passenger
Electric Vehicles Operation 204

SAFETY AND SECURITY

Marina V. ERKHOVA, Lyudmila G. SHUMKOVA

Study of Peculiarities of Coping Behavior of Cadets-Pilots of Civil Aviation .. 222

Alexander V. POPOV, Ulyana M. KAIMAKOVA, Nikolay P. STETSKY

Level of First Aid Skills Among Drivers in Russia and the European Union ... 237

Alexey V. SHVETSOV

The Stakeholders of Transport Infrastructure as an Element
of the Transport Security System 251

BIBLIO-DIRECTIONS

Ivan V. Kholikov

Legal Knowledge for Future Transport Employees 263

Abstracts of Ph.D. theses 268

New Books on Transport and Transportation 272

EXPRESS INFORMATION

Russian Ministry of Transport Digitizes Bill

of Lading and the Waybill 21

Passenger Transportation through the Infrastructure

Owned by Russian Railways in 2019 93

New Terminal C Opened at Sheremetyevo Airport 212

Drone Operations: Sustainable Development and Regulation Issues. 258

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.
86 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 500 hard copies; the journal is distributed by subscription and delivered by the editor to Russian and foreign technical and transport universities, national and regional technical libraries, government and public bodies, transport companies.

Each article in the journal consists of a Russian text and of an English text, fully identical in contents, both accompanied by abstracts, keywords, references and information about the authors.

Information for the authors and editorial politics are available at the Web site
<https://mirtr.elpub.ru/jour>.

The open accessed full texts of the articles as well as the abstracts and key information in English are available at the Web site of the Russian scientific electronic library at <http://elibrary.ru> (upon free registration) and the Web site <https://mirtr.elpub.ru/jour>.

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian state library, Socionet, Ulrichsweb, Library of Congress, 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.



ЦИФРОВИЗАЦИЯ 6

Метро использует платформы не только для пассажиров, но и для решений.



ИННОВАЦИИ 22

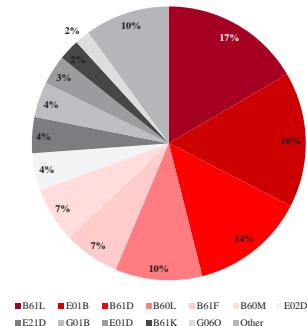
Патенты помогают закрепить достигнутые и найти новые приоритеты.

DIGITALISATION 14

Metro: platforms for passengers and platform solutions.

INNOVATION 30

Patents help to maintain the obtained priorities and to search for new ones.



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY





Краудсорсинг и платформенные решения на транспорте: возможности для развития «Цифрового метро» в России



Антон ДЕНИСЕНКОВ



Юлия ПОЛЯКОВА

Денисенков Антон Николаевич – ГУП «Московский метрополитен», Москва, Россия.
Полякова Юлия Михайловна – МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*.

Увеличение значимости качества и количества предоставляемых услуг, быстрорастущий объём данных, необходимых для управления предприятием и укрепления конкурентных позиций на рынке, требуют пересмотра моделей управления. Статья посвящена развитию цифрового метро в условиях глобальной автоматизации и цифровизации бизнес-моделей организаций с целью повышения качества предоставляемых услуг и оптимизации бизнес-процессов.

Целью исследования является изучение мирового и российского опыта применения цифровых и крауд-платформ на транспорте и разработка авторской модели управления метрополитеном в современных условиях. Для достижения поставленной цели исследования применялись методы сравнительного и контент-анализа, бенчмаркинг успешных зарубежных практик использования крауд- и цифровых платформ в транспортной отрасли, метод обобщения и концептуально-методологического моделирования.

Авторы проанализировали мировые тренды в области развития и использования цифровых технологий в транспортной отрасли, провели сравнительный анализ мировой и российской практики применения платформенных и крауд-решений на транспорте, раскрыли преимущества интеграции цифровых технологий для развития метрополитена в России. На основе полученных результатов исследования авторы предложили «е-Платформу», аккумулирующую, анализирующую и сортирующую данные, поступающие из внешней среды для последующей её передачи в бизнес-блоки управления метрополитеном и оптимизации процесса выработки и принятия оперативных решений, а также разработали целевую модель перехода от «аналогового» управления данными в метрополитене к цифровому на основе интеграции цифровых технологий на базе виртуальной платформы управления бизнес-процессами и крауд-платформы сбора идей и предложений по развитию метрополитена.

Ключевые слова: цифровая экономика, цифровое метро, метрополитен, цифровизация, железнодорожный транспорт, краудсорсинг.

*Информация об авторах:

Денисенков Антон Николаевич – заместитель начальника Службы технической политики ГУП «Московский метрополитен», Москва, Россия, antonioos@yandex.ru.

Полякова Юлия Михайловна – кандидат экономических наук, инженер Лаборатории прикладного отраслевого анализа экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, flaaaae@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 28.01.2020, принята к публикации 01.03.2020.

For the English text of the article please see p. 14.

ВВЕДЕНИЕ

Мир стоит на пороге четвёртой промышленной революции, наступила эпоха цифровой экономики, которая требует трансформации бизнес-моделей организаций. Повсюду происходит цифровая трансформация отраслей экономики, освоение цифровых технологий и пересмотр стратегий развития бизнеса с целью оптимизации бизнес-процессов, повышения качества и уровня жизни.

В связи с этим, *целью* исследования является изучение мирового и российского опыта применения цифровых и крауд-платформ на транспорте и разработка авторской модели управления метрополитеном в современных условиях. Для достижения поставленной цели исследования применялись *методы* сравнительного и контент-анализа, бенчмаркинг успешных зарубежных практик использования крауд- и цифровых платформ в транспортной отрасли, обобщения, метод концептуально-методологического моделирования.

По оценкам *McKinsey Global Institute* и *IHS Markets*, дополнительный прирост ВВП от цифровизации к 2025 г. составит от 6 до 10 %. В 2017 г. Россия занимала первое место в Европе и шестое место в мире по количеству пользователей Интернета. Мобильные приложения online-банкинга используют 10 % российских пользователей, что превышает показатели стран ЕС. При этом российские отрасли промышленности и транспорта отстают от стран Европы на 46 и 56 % соответственно [1].

В 2019 г. Российской Федерации значительно продвинулась в развитии цифровой экономики. Важную роль играет утверждение таких документов, как ведомственный проект «Цифровой транспорт и логистика» 2019 года, являющийся направлением (подпрограммой) государственной программы «Развитие транспортной системы», государственная программа Москвы «Умный город» и др.

В данном контексте метрополитен является сложнейшим инженерно-техническим транспортным предприятием, динамично развивающимся с учётом перспектив расширения границ города, с постоянно увеличивающимся пассажиропотоком и интеграцией в другие системы общественного транспорта. С развитием метрополитена, возрастанием нагрузки пассажиропотока с каждым годом увеличивается объём обрабатываемой информации при управлении производственными

процессами (или процессами, обеспечивающими перевозку пассажиров), технологическими процессами, что требует видоизменения технологий и методов управления – проведения цифровой трансформации [2; 3].

Опыт метрополитенов мировых мегаполисов показывает, что цифровые технологии эффективно реализуются и направлены на автоматизацию управления движением, развитие беспилотных технологий, обеспечение безопасности, технологические инновации, выявление, внедрение и разработку перспективных цифровых решений, развитие транспортной инфраструктуры, повышение эффективности транспортной системы.

Управление перечисленными бизнес-процессами может эффективно осуществляться посредством использования специализированных виртуальных платформ [4].

МЕЖДУНАРОДНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КРАУД-ПЛАТФОРМ В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Одной из ключевых технологий цифровой экономики является краудсорсинг. Краудсорсинг – это универсальный инструмент для решения сложных задач на основе массовой коллаборации людей и/или сотрудников организации. Научным сообществом выделяется несколько видов краудсорсинга, в том числе коммерческий и социальный (некоммерческий) [5, с. 49; 6, с. 75], которые, в свою очередь, могут включать в себя следующие подвиды: государственный, научный, маркетинговый, производственный, локальный и др. Тематические крауд-проекты могут проводиться на открытой и закрытой основе. Открытый краудсорсинг предполагает участие в проекте всех желающих (в случае метро – как пассажиров, так и сотрудников метрополитена). В закрытом краудсорсинге имеют право участвовать исключительно сотрудники организации. Данный вид краудсорсинга чаще всего называют корпоративным.

В табл. 1 представлены результаты анализа возможностей развития организации транспортной отрасли на основе внедрения технологии краудсорсинга в существующую бизнес-модель.

В 2013 г. Илон Маск, создатель концепции вакуумного поезда *Hyperloop*, организовал в социальной сети Twitter краудсорсинговый проект, а именно одну из его форм – краудре-



Таблица 1

**Возможности развития транспортной организации с помощью применения
краудсорсинговых технологий**

Коммерческий		Некоммерческий	
Маркетинговый	Производственный	Научный	Социальный
продвижение услуги	поиск путей сокращения издержек	развитие инноваций на транспорте	участие в социальных программах
развитие бренда	повышение качества услуг	внедрение новых технологий	организация социальных мероприятий
расширение пула лояльных пассажиров	решение задач смежных областей	—	оценка потребителями качества услуг

Источник: составлено Ю. М. Поляковой.

куругинг [7]. Целью краудекрутина является отбор высококвалифицированных специалистов на основе анализа трудовой деятельности кандидатов (краудсорсеров) в процессе реализации краудсорсингового проекта на специализированной площадке в Интернете. Проект, организованный Илоном Маском, предполагал сбор и анализ идей, предложенных сообществом, по реализации концепции вакуумного поезда на практике. Победителям в качестве вознаграждения предлагалось войти в штаб рабочей группы по проекту *Hyperloop*.

Сегодня в мире активно расширяется практика реализации краудсорсинговых проектов в транспортной отрасли. Одним из трендов является внедрение краудсорсинговых транспортных платформ. Европейский крауд-проект – *CIVITAS*, интеллектуальная платформа для сбора инновационных идей и предложений по модернизации городского транспорта в более чем 80 городах Европы. Проект носит экологический и инновационный характер, так как нацелен на использование экологически чистого топлива и транспортных средств, развитие коллективного пассажирского транспорта, разработку стратегий управления спросом, комплексное планирование, обеспечение безопасности на основе цифровых технологий и др. [8].

В 2016 г. появилась концепция «Краудсорсинг для общественного транспорта», которая включает в себя шесть основных направлений:

- 1) Картографирование (mapping) общественного транспорта.
- 2) Отслеживание статуса общественного транспорта в режиме реального времени.
- 3) Ведение краудсорсинговой отчётности и разработка предложений.
- 4) Соблюдение правопорядка на общественном транспорте.
- 5) Сотрудничество с общественным транспортом.

6) Игры для общественного транспорта [9].

Краудсорсинговое картографирование было одобрено Всемирным банком в рамках транспортного направления своей работы. Позднее с участием ряда ведущих университетов был реализован международный проект *Digital Matatus*¹, в рамках которого были разработаны разработаны специальные мобильные приложения для пополнения краудсорсинг-карт пользователями общественного транспорта. В рамках отслеживания статуса общественного транспорта в режиме реального времени в сентябре 2016 г. в Бостоне (США) транспортное ведомство штата Массачусетс *MBTA* приняло единое приложение² с полным набором услуг обслуживания пассажиров *Transit App*. Приложение, разработанное одноименной группой разработчиков, позволяет агрегировать данные, полученные от пользователей, о ситуации на дорогах, что позволяет более точно прогнозировать информацию о прибытии общественного транспорта в режиме реального времени³. В результате данные в реальном времени стали доступны пользователям нескольких стран четырёх континентов, например, общественного транспорта в Нью-Йорке, в том числе и метрополитена.

Направление «Ведение краудсорсинговой отчётности и разработка предложений» предполагает возможность для пользователей подавать идеи по развитию общественного транспорта, а также сообщать о выявленных проблемах. В рамках поощрения пассажиров к соблюдению правопорядка на общественном транспорте и предотвращения различного рода нарушений разработано несколько

¹[Электронный ресурс]: www.digitalmatatus.com. Доступ 01.03.2020.

²[Электронный ресурс]: <https://blog.mass.gov/transportation/mbta/mbta-names-transit-app-best-public-app-winner>. Доступ 01.03.2020.

³[Электронный ресурс]: <https://transitapp.com/about>. Доступ 01.03.2020.

приложений по различным направлениям с денежными вознаграждениями.

В целях сотрудничества с общественным транспортом в области решения сложных задач на основе массовой коллаборации разработано три типа приложений: вовлечение (форум *Green City Streets* – совместная разработка решений и сообщение о проблемах), обучение (*ConnectSF Subway Vision Map* – планирование транспортировки на большие расстояния) и процесс (*CoAXs* – инструмент, позволяющий пользователям проектировать и тестиировать изменения в транзитных сетях).

Последнее, не менее важное направление, – «Игры для общественного транспорта», необходимое для обучения пассажиров и их вовлечения в процесс планирования. В качестве примера можно привести такие популярные игры на общественном транспорте, как: *Bus Meister Game* (обучение людей специфике работы общественного транспорта), *Brand New Subway* (игра по созданию сети новых линий метрополитена в Нью-Йорке), *Chromaroma* (отслеживание передвижений пассажиров при пользовании общественным транспортом) [10; 11].

Российская практика применения технологии краудсорсинга по сравнению с зарубежной не так велика. Однако уже в 2015 г. Дирекция железнодорожных вокзалов ОАО «РЖД» совместно с крауд-компанией «Витология» (*Witology*) организовали крауд-проекты «Услуги, предоставляемые на крупных железнодорожных вокзалах РФ» и «Качество обслуживания на крупных железнодорожных вокзалах РФ»⁴. Целью проектов являлось получение информации о потребностях пассажиров и посетителей вокзалов относительно спектра и качества услуг, а также изучение требований и пожеланий пассажиров и посетителей к качеству обслуживания на крупных железнодорожных вокзалах РФ. В обоих проектах приняло участие 4692 чел., получено 3148 предложений, выявлено 667 первоочерёдных потребностей пассажиров и предложено 419 концептов оценки качества услуг, предлагаемых на железнодорожных вокзалах РФ⁵.

В 2015 г. авиакомпания «Аэрофлот» реализовала три крауд-проекта, нацеленных на повышение качества сервисов и услуг, предо-

ставляемых до и после полёта на борту самолёта, улучшение программы лояльности «Аэрофлот Бонус». По результатам реализации крауд-проектов было принято и опубликовано около 42 тысяч идей с аудиторией участия более 17 тысяч человек [12].

ПЛАТФОРМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОМ

Цифровые платформы на транспорте – достаточно редкое, но перспективное решение вопросов осуществления цифровой трансформации. Существующие сегодня цифровые платформы в транспортной отрасли разработаны под конкретные запросы компаний и выполняют разный набор функций. Например, цифровая платформа шерингового сервиса *Uber* по оказанию услуг такси предназначена для прямого соединения клиента и водителя при отсутствии у компании собственного парка автомобилей [13, с. 531].

Целью другой платформы *Moovit* является помочь жителям пригорода и инвалидам в передвижении по городу и за его пределами. Платформа объединяет данные о поездках с пересадками между несколькими видами транспорта, транспортной инфраструктуре, полученные от 550 тыс. пассажиров и нанесённые на карту, доступную в мобильном приложении. В данном случае компания интегрировала возможности платформенных решений и краудсорсинга для более эффективного процесса оказания услуг [14].

Кроме того, цифровые платформы используются для бронирования и резервирования мест в автобусах в специальных трансферных сервисах, которые соединяют маршруты высокой плотности (*BRIDJ*, *SHUTTLE*, *DiDi* и др.), а также бронирования велосипедных такси и тук-туков в странах Латинской Америки и Азии (*GoJek*, *BIKXIE*, *GRABBIKE*, *goBIKE*, *G-Auto* и др.).

Для России также примечательно то, что на ОАО «РЖД» приходится около 20 % мировых железнодорожных перевозок, поэтому компания стремится стать цифровым лидером в своей отрасли. На ПМЭФ-2019 представители ОАО «РЖД» сообщили, что компания разрабатывает восемь цифровых платформ разного функционала: от возможности

⁴ [Электронный ресурс]: https://witology.com/clients_n_projects/219/. Доступ 01.03.2020.

⁵ [Электронный ресурс]: https://witology.com/clients_n_projects/2324/. Доступ 01.03.2020.



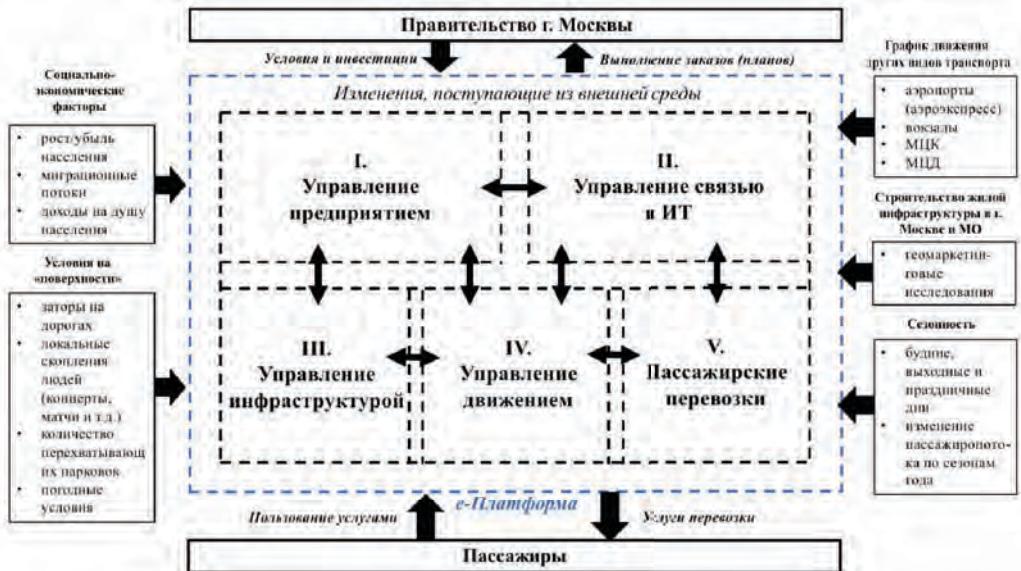


Рис. 1. «е-Платформа» автоматизированного управления бизнес-блоками и процессами метрополитена.
Источник: составлено авторами.

заказа грузоперевозок всего за несколько минут до мультимодальных перевозок и создания собственной цифровой экосистемы.

Анализ зарубежных и российских практик использования краудсорсинга и платформенных решений на транспорте позволил предложить авторскую модель управления метрополитеном, под которой понимается совокупность мероприятий, методов, способов и действий, направленных на поддержание работоспособности предприятия, оптимизацию бизнес-процессов и повышение качества оказания услуг пассажирских перевозок на основе массового внедрения цифровых технологий. Данная модель должна обладать следующими характеристиками:

- использование современных цифровых технологий на большинстве объектов метрополитена (*BigData, IoT, IIoT, BIM, Cloud Computing, Cloud Storage*);
- наличие *DATA*-центра для хранения информации;
- применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа данных и выработки оперативных решений.

Авторская модель управления метрополитеном включает многофункциональную «е-Платформу» метрополитена с целью повышения общего уровня цифровизации российского метро в рамках решения задач национальной программы «Цифровая эко-

номика Российской Федерации», а также крауд-платформу, направленную на решение задач в области развития метрополитена как современного и инновационного элемента транспортной системы города.

1. «е-Платформа» автоматизированного управления метрополитеном.

Предлагаемая «е-Платформа» представляет собой виртуальное пространство, которое предназначено для сбора, хранения и анализа данных, получаемых из внешней среды.

Автономная деятельность виртуальной платформы для выполнения указанных функций может осуществляться только при условии наличия определённого набора цифровых технологий: Интернет вещей (оснащение поездов и других объектов инфраструктуры датчиками, которые передают данные в центр управления), большие данные (обработка данных больших объёмов в краткие сроки), искусственный интеллект и машинное обучение (анализ данных, поступающих на «е-Платформу» и возможность самостоятельного принятия/выработки решений), технологии кибербезопасности (защита данных и систем от злоумышленников в Сети) [15–17].

На рис. 1 представлена модель «е-Платформы» метрополитена, целью которой является управление деятельностью предприя-

тия в режиме *online* на основе цифровых технологий. Внедрение данной платформы позволит повысить транспортную безопасность и безопасность движения, качество перевозки пассажиров и оптимизировать все связанные с этим бизнес-процессы [18]. «е-Платформа» обеспечивает полную синхронизацию поступающей информации из внешней среды с бизнес-блоками метрополитена.

Поступающая информация из внешней среды на «е-Платформу» определена как факторы, влияющие на деятельность метрополитена, и разделена на семь категорий:

- 1) политические;
- 2) социально-экономические;
- 3) условия на «поверхности»;
- 4) график движения других видов транспорта;
- 5) строительство жилой инфраструктуры в г. Москве и МО;
- 6) сезонность;
- 7) пассажиры.

Влияние политических факторов на деятельность метрополитена заключается в разработке законодательной базы, регулирующей процессы, связанные с деятельностью организации, осуществление государственных заказов и субсидирование. Социально-экономические факторы включают в себя такие ключевые показатели, как рост и убыль населения, миграционные потоки, что непосредственно влияет на размер пассажиропотока и изменение нагрузки на транспортную инфраструктуру. Условия на «поверхности» — это различные ситуации на автомобильных дорогах и улицах города, которые влияют на изменение пассажиропотока в метрополитене (погодные условия, ДТП, заторы на дорогах, массовые скопления людей в торговых центрах, театрах, музеях, стадионах и пр.). Также на величину пассажиропотока влияет график движения других видов транспорта, соединённых метрополитеном, — аэроэкспресса, МЦД, поездов пригородного сообщения и др., загрузка вокзалов (пересадочных узлов). Важную роль в управлении пассажиропотоками играет строительство жилой инфраструктуры г. Москвы и Московской области. Сегодня население Москвы и прилежащих районов (Химки, Мытищи, Подольск, Новая Москва, Люберцы и др.)растёт. Это также необходимо учитывать при планировании пассажирских перевозок.

Возникает острая необходимость в увеличении жилых комплексов как возле МКАД, так и за её пределами. Нагрузка на конечные станции метрополитена увеличивается, в связи с чем появляется потребность в увеличении количества станций в Московской области. Смена сезонов также оказывает влияние на изменение нагрузки на метрополитен (количество поездов, график движения поездов и др.). Например, летом часть населения выезжает за пределы Москвы, осенью начинается учебный год (величина пассажиропотока максимальна), зимой в праздничные дни пассажиропотоки снова снижаются, а весной растут.

Мы выделили ещё один блок факторов — «пассажиры». Пассажиры являются пользователями услуг, которые предлагает метрополитен, и могут проявлять активность в участии развития данного вида транспорта. Это может выражаться в предупреждении аварийных ситуаций с помощью мобильных приложений с возможностью общения *online* с сотрудниками метрополитена и оповещения о нестандартных ситуациях на станциях и в поездах, а также подачи идей и предложений по совершенствованию отдельных бизнес-процессов и в целом развития метрополитена с целью повышения качества оказываемых услуг на основе крауд-технологий.

В силу того, что «е-Платформа» должна обеспечивать взаимодействие в режиме *online* государственных органов власти, главного аппарата управления метрополитеном, сотрудников служб и подразделений метро и пассажиров, возможна организация крауд-проектов на базе «е-Платформы» метрополитена [18].

Пассажиры должны иметь ограниченный доступ на «е-Платформу» через специально разработанное мобильное приложение, ключевыми функциями которого являются:

1. приобретение/возврат электронных билетов;
2. построение маршрутов;
3. заказ услуги сопровождения в метро;
4. возможность сообщения о проблемах на карте метро в режиме *online*;
5. крауд-платформа для обсуждения проблем, возможных путей их решения и развития метрополитена.

Необходимость внедрения системы электронной покупки билетов подтверждается данными исследования ОАО «РЖД» 2015 г.,



Рис. 2. Интеграция е- и крауд-платформ по развитию «Цифрового метро». Источник: составлено авторами.



анализ которых показал, что доля пассажиров железнодорожного транспорта, пользующихся электронной регистрацией, составила 80 % [19, с. 61]. Возможность построения маршрутов и заказа услуги сопровождения в метро *online* является ключевым фактором сокращения времени в пути. Одним из перспективных направлений развития метрополитена является внедрение крауд-платформ, которые нацелены на вовлечение пассажиров в совместную деятельность по выработке предложений и идей по модернизации отдельных бизнес-процессов и качества предоставляемых услуг.

2. Крауд-платформа по развитию метрополитена.

Для внедрения технологии краудсорсинга в бизнес-модель организации предлагаются два альтернативных решения: создание платформы на базе существующей информационной инфраструктуры и собственных серверов или на основе услуг сторонних компаний, осуществляющих помочь в подготовке и проведении крауд-проектов и предоставляющих платформу во временное пользование (ООО «Витология» (*Witology*)).

Крауд-платформа представляет собой виртуальное пространство, предназначенное для сбора и разработки идей и предложений членами сообщества, которыми в данном случае могут выступать как сотрудники метрополитена, так и пассажиры. Работу краудсорсеров (лиц, которые предлагают идеи) контролирует специально обученный сотрудник (фасилитатор), в обязанности которого входят все функции по организации и ведению крауд-проекта на платформе. Возможно проведение одновременно нескольких тематических крауд-проектов, данные по которым передаются на «е-

платформу». Таким образом, вся поступающая информация от пассажиров анализируется и сортируется с помощью технологий больших данных и искусственного интеллекта и передаётся в соответствующие бизнес-блоки.

На рис. 2 представлена целевая модель управления потоками данных, к которой необходимо переходить для обеспечения устойчивого развития как метрополитена, так и транспортной отрасли в целом [20].

Внедрение краудсорсинговых технологий в связке с «е-Платформой» поможет увеличить эффективность и производительность труда в сфере развития стратегии «Цифровое метро» в силу возможности сбора инновационных идей и решений от пользователей метрополитена. Кроме того, краудсорсинг позволит повысить уровень безопасности пассажиров и транспортную безопасность предприятия, так как сотрудники и пассажиры могут сообщать о неполадках и происшествиях в реальном режиме времени для выработки оперативных решений.

При реализации авторской модели управления метрополитеном прогнозируется рост спроса на услуги ведущих российских бизнес-интеграторов по адаптации и применению указанных цифровых технологий (*BigData*, *IoT*, *PoT*, *BIM*, *Cloud Computing*, *Cloud Storage* и т.п.) на всех уровнях управления предприятием (от линейных операций до стратегического планирования).

Таким образом, предложенная модель управления метрополитеном позволит добиться не только социально-значимых эффектов, но и экономических, которые могут выражаться в:

- повышении эффективности энергопотребления (снижение затрат на 5–10 %);

- снижении накладных расходов предприятия вследствие внедрения технологии обслуживания оборудования «по состоянию»;
- снижении потребности в площадях для размещения устройств телемеханики и аппаратных средств автоматики, сигнализации, связи и безопасности;
- оптимизации персонала предприятия эксплуатационных служб и высвобождении площадей (комнаты отдыха машинистов, медпункты и другие помещения на станциях) за счёт автоматизации бизнес-процессов предприятия;
- повышении эффективности и производительности труда персонала за счёт автоматизации некоторых бизнес-процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мировая и российская практика показала, что цифровизация и автоматизация процессов – тренд настоящего, и этот процесс будет продолжаться и масштабироваться. Особую роль в ускорении процессов цифровой трансформации играют цифровые экосистемы, виртуальные платформы и крауд-технологии, которые при их интеграции в единую систему позволяют получать высокие результаты в кратчайшие сроки.

Наблюдающийся тренд в создании цифровых экосистем и внедрении ключевых цифровых технологий в бизнес-модель организаций у российских ведущих транспортных компаний говорит о необходимости развивать данное направление и адаптировать решения больших компаний на уровнях среднего и малого бизнеса. Модель интеграции виртуальных платформ и технологии краудсорсинга, предложенная в данной работе, позволяет решить одну из острых проблем, с которой сегодня сталкивается любая организация – экспоненциальный рост информации и увеличение количества внешних факторов, влияющих на деятельность предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая экономика России. [Электронный ресурс]: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Цифровая_экономика_России. Доступ 28.01.2020.
2. Куприяновский В. П., Евтушенко С. Н., Дунев О. Н., Бубнова Г. В., Дрожжинов В. И., Намиот Д. Е., Синягов С. А. Правительство, промышленность, логистика, инновации и интеллектуальная мобильность в цифровой экономике // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. – № 1. – С. 72–94.
3. Лапидус Л. В. Цифровая экономика: управление электронным бизнесом и электронной коммерцией: Учебник. – М.: Инфра-М, 2018. – 479 с.
4. Лапидус Б. М., Мишарин А. С., Махутов Н. А., Фомин В. М., Зайцев А. А., Мачерет Д. А. О научной платформе Стратегии развития железнодорожного транспорта в России до 2050 года // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2017. – № 2. – С. 1–20.
5. Хау Дж. Краудсорсинг: Коллективный разум как инструмент развития бизнеса / Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 288 с.
6. Лапидус Л. В., Полякова Ю. М. Гигиомика как новая социально-экономическая модель: развитие фрилансинга и краудсорсинга // Вестник Института Экономики РАН. – 2018. – № 6. – С. 73–89.
7. Полякова Ю. М. Crowd-технологии: природа, сущность, эффекты // Цифровая экономика: тренды и перспективы трансформации бизнеса. Материалы V Межфакультетской научно-практической конференции молодых учёных / Под ред. Л. В. Лапидус. – Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова. – Москва. – 2019. – С. 103–109.
8. Collective Intelligence Systems. [Электронный ресурс]: <http://ci-systems.ru/clients>. Доступ 28.01.2020.
9. Public Transport Crowdsourcing. [Электронный ресурс]: <https://crowdsourced-public-transport.com/crowdsourced-public-transport/>. Доступ 28.01.2020.
10. BusUp. [Электронный ресурс]: <https://www.busup.com>. Доступ 28.01.2020.
11. Pan, Sh.; Chao, Chen; Zhong, R. Y. A crowdsourcing solution to collect e-commerce reverse flows in metropolitan areas. IFAC-PapersOnLine, 2015, Vol. 48, Iss. 3, pp. 1984–1989.
12. Аэрофлот назвал победителей III этапа всероссийского конкурса идей «ПолётМысли.РФ». [Электронный ресурс]: <https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/54937>. Доступ 28.01.2020.
13. Конина Н. Ю., Ноздрева Р. Б., Буренин В. А. и др. Современные проблемы менеджмента, маркетинга и предпринимательства: Монография / Под общ. ред. и с предисл. Н. Ю. Кониной. – М.: МГИМО-Университет, 2018. – 626 с.
14. Как Moovit улучшает своё приложение, помогая людям с инвалидностью уверенно пользоваться транспортом. [Электронный ресурс]: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/moovit/>. Доступ 28.01.2020.
15. Кранц М. Интернет-вещей: новая технологическая революция / Пер. с англ. З. Мамедьярова. – М.: Эксмо, 2018. – 336 с.
16. Вайгенд А. Big Data. Вся технология в одной книге / Пер. с англ. С. Богданова. – М.: Эксмо, 2018. – 384 с.
17. Sutherland, W., Jarrahi, M. H. The sharing economy and digital platforms: A review and research agenda. International Journal of Information Management, December 2018, Vol. 43, pp. 328–341. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.004.
18. Баранов Л. А., Кульба В. В., Шелков А. Б., Сомов Д. С. Индикаторный подход в управлении безопасностью объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта // Надёжность. – 2019. – Т. 19. – № 2. – С. 34–42.
19. Лапидус Б. М., Лапидус Л. В. Железнодорожный транспорт: философия будущего. – М.: Прометей, 2015. – 232 с.
20. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. – 2016. – № 7. – С. 16–25.





Crowdsourcing and Platform Solutions in Transport: Opportunities for Development of «Digital Metro» in Russia



Anton P. DENISENKOVA



Yulia M. POLYAKOVA

*Denisenkov, Anton P., State Unitary Enterprise Moscow Metro, Moscow, Russia.
Polyakova, Yulia M., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

An increase in importance of quality and quantity of services provided, the rapidly growing amount of data required to manage an enterprise and strengthen its competitive position in the market, require rethinking of management models. The article is devoted to development of digital metro in the context of global automation and digitalization of business models of organizations in order to improve quality of services and optimize business processes.

The objective of the research is to study the world and Russian experience in the use of digital and crowd platforms in transport and to develop an own model of metro management in modern conditions. To achieve the objective of the research, comparative and content analysis methods, benchmarking of successful foreign practices of using crowd and digital platforms in the transport industry, the method of generalization and conceptual and methodological modeling have been used.

The authors have analyzed global trends in development and use of digital technologies in the transport industry, conducted a comparative analysis of world and Russian practices of using platform and crowd solutions in transport, and revealed the advantages of integrating digital technologies for development of metro in Russia. Based on the results of the research, the authors proposed an «e-Platform», accumulating, analyzing and sorting data from the external environment for its subsequent transmission to the business metro control blocks and optimizing the process of generating and making operational decisions, and also developed a target model for moving from «analogue» data management in metro to a digital one based on integration of digital technologies on a virtual platform for managing business processes and a crowd-based platform for collecting ideas and proposals to develop metro.

Keywords: digital economy, digital metro, subway, underground, digitalization, railway transport, crowdsourcing.

* Information about the authors:

Denisenkov, Anton P. – Deputy Head of Service of Technical Policy of State Unitary Enterprise Moscow Metro, Moscow, Russia, antonioos@yandex.ru.

Polyakova, Yulia M. – Ph.D. (Economics), Engineer of Laboratory of Applied Industrial Analysis of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, flaaaae@gmail.com.

Article received 28.01.2020, accepted 01.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 6.

Background. The world is on the verge of the fourth industrial revolution, the era of the digital economy has begun, which requires transformation of business models of organizations. Everywhere one can observe a digital transformation of economic sectors, development of digital technologies and revision of business development strategies in order to optimize business processes, improve quality and standards of living.

In this regard, the *objective* of the research is to study the world and Russian experience in the use of digital and crowd platforms in transport and to develop an author's model of metro control in modern conditions. To achieve the objective of the research, comparative and content analysis *methods*, benchmarking of successful foreign practices of using crowd and digital platforms in the transport industry, generalization, a conceptual and methodological modeling method were used.

According to estimates by *McKinsey Global Institute* and *IHS Markets*, the additional GDP growth from digitalization by 2025 will be from 6 to 10 %. In 2017, Russia ranked first in Europe and sixth in the world in terms of the number of Internet users. Mobile online banking applications are used by 10 % of Russian users, which exceeds the performance of EU countries. At the same time, Russian industries and transport lag behind European countries by 46 and 56 %, respectively [1].

In 2019, the Russian Federation has made significant progress in development of the digital economy. The significant advancement has been made with the approval of the departmental project on Digital Transport and Logistics, as a subprogram of state program on Development of transport system, Moscow Smart City municipal state program, etc.

In this context, metro is a highly sophisticated engineering and transport company, dynamically developing taking into account the prospects of expanding the boundaries of the city, with an ever-increasing passenger flow and integration into other public transport systems. With development of metro, the increase in passenger traffic load, the amount of processed information increases every year when managing production processes (or processes that ensure transportation of passengers), technological processes, which requires modification of technologies and management methods through digital transformation [2; 3].

The experience of metro of world megacities shows that digital technologies are effectively implemented and are aimed at automating traffic control, developing unmanned technologies, ensuring safety and security, technological innovations, identifying, implementing and developing promising digital solutions, developing transport infrastructure, and increasing the efficiency of the transport system.

Management of these business processes can be effectively carried out through the use of specialized virtual platforms [4].

Results.

International and Russian experience of using crowd platforms in the transport industry

One of key technologies in the digital economy is crowdsourcing. Crowdsourcing is a universal tool for solving complex problems based on mass collaboration of people and/or employees of an organization. The scientific community distinguishes several types of crowdsourcing, including commercial and social (non-commercial) [5, p. 49; 6, p. 75], which, in turn, may include the following subspecies: state, scientific, marketing, manufacturing, local, etc. Thematic crowd projects can be carried out on an open and closed basis. Open crowdsourcing involves participation in the project of anyone who wants (in the case of metro, of both passengers and metro employees). In closed crowdsourcing, only employees of the given organization have the right to participate. This type of crowdsourcing is most often called corporate crowdsourcing.

Table 1 presents the results of an analysis of the development opportunities for organization of the transport industry based on introduction of crowdsourcing technology into the existing business model.

In 2013, Elon Musk, the creator of the concept of *Hyperloop* vacuum train, organized a crowdsourcing project based on the social network Twitter, namely, it was implemented under the form of crowd recruiting [7]. The aim of crowd recruiting is to select highly qualified specialists based on the analysis of the labor activity of candidates (crowdsourcers) in the process of implementing a crowdsourcing project on a specialized virtual site on the Internet. The project, organized by Elon Musk, involved collection and analysis of ideas proposed by the community to put the vacuum train concept into practice. The winners were invited to join *Hyperloop* project team as a reward.



Table 1**Opportunities for development of a transport organization using crowdsourcing technologies**

Commercial		Non-commercial	
Marketing	Industrial	Scientific	Social
service promotion	search for ways to reduce costs	transport innovation development	participation in social programs
brand development	improving quality of services	introduction of new technologies	organization of social events
expansion of loyal passenger pool	solving tasks of related fields	—	consumer assessment of service quality

Source: compiled by Yu. M. Polyakova.

Today, the practice of crowdsourcing projects in the transport industry is actively expanding in the world. One of the trends is introduction of crowdsourcing transport platforms. European Crowd project, CIVITAS, is an intelligent platform for collecting innovative ideas and proposals for modernization of urban transport in more than 80 cities in Europe. The project has an ecological and innovative character, as it is aimed at using environmentally friendly fuels and vehicles, developing collective passenger transport, developing demand management strategies, integrated planning, providing security and protection based on digital technologies, etc. [8].

In 2016, the Public transport crowdsourcing concept appeared, that included six main areas:

- 1) Crowdsourced public transport mapping.
- 2) Crowdsourced real time status information.
- 3) Crowdsourced reporting and suggestions.
- 4) Public transport act! (compliance with public transport rules).
- 5) Public transport collaborate.
- 6) Public transport games [9].

Crowdsourced mapping was approved by the World Bank as part of its transport activity. The collaboration of several universities within the international Digital Matatus project¹ allowed them to develop special mobile applications for replenishing crowdsourcing maps by public transport users. As part of real-time tracking of public transport status in September 2016, in Boston (USA), *Massachusetts Bay Transportation Authority* accepted a single application² with a full range of passenger services *Transit App*. The application developed by *Transit App* developers group allows to aggregate data received from users

about the situation on the roads, which allows to more accurately forecast information about arrival of public transport in real time³. As a result, real-time data became available to the public transport users from several countries of four continents, e.g. of public transport in New York, including metro.

«Crowdsourced reporting and suggestions» area provides suggests an opportunity for users to submit ideas on development of public transport, as well as report on identified problems. As part of encouraging passengers to observe the rule of law on public transport and to help preventing various kinds of violations, several applications have been developed in various fields with monetary rewards.

In order to collaborate with public transport in the field of solving complex tasks based on mass collaboration, three types of applications have been developed: *engagement* (*Green City Streets* forum – joint development of solutions and reporting problems), *training* (*ConnectSF Subway Vision Map* – long-distance transportation planning) and *process* (*CoAXs* – a tool that allows users to design and test changes in transit networks).

The last, no less important area is Public transport games, which is necessary for training passengers and developing their engagement in the planning process. As an example, one can cite such popular games on public transport as: *Bus Meister Game* (training people in the specifics of public transport), *Brand New Subway* (a game to create a network of new metro lines in New York), *Chromaroma* (tracking of movements of passengers when using public transport) [10; 11].

Russian practice of using crowdsourcing technology in comparison with foreign is not so great. However, already in 2015, the Directorate of Railway Stations of JSC Russian Railways, together with the crowdfunding company *Witology*, organized crowd projects «Services provided at large railway stations of the Russian

¹ [Electronic resource]: <https://www.digitalmatatus.com>. Last accessed 01.03.2020.

² [Electronic resource]: <https://blog.mass.gov/transportation/mbta/mbta-names-transit-app-best-public-app-winner>. Last accessed 01.03.2020.

³ [Electronic resource]: <https://transitapp.com/about>. Last accessed 01.03.2020.

Federation» and «Quality of service at large railway stations of the Russian Federation»⁴. The aim of the projects was to obtain information about the needs of passengers and visitors to stations regarding the range and quality of services, as well as to study the requirements and wishes of passengers and visitors regarding quality of service at large railway stations of the Russian Federation. In both projects, 4692 people took part, 3148 proposals were received, 667 passenger needs were identified, and 419 concepts for assessing quality of services offered at railway stations of the Russian Federation were proposed⁵.

In 2015, Aeroflot Airlines implemented three crowd projects aimed at improving quality of services, provided before and after the flight, and on board, improving loyalty program «Aeroflot Bonus». According to the results of implementation of crowd projects more than 42 thousand ideas were received and published, and projects' audience attained some 17 thousand participants [12].

Platform solutions in transport and proposals for improving the existing Metro management system

Digital platforms in transport are a rather rare but promising solution to the issues of digital transformation. The existing digital platforms in the transport industry are designed to meet the specific needs of companies and perform a different set of functions. For example, *Uber* digital sharing service platform for taxi services is designed to directly connect a client and a driver, if the company does not have its own fleet of vehicles [13, p. 531].

Another platform *Moovit* aims to help suburban and disabled people move around the city and beyond. The platform combines data on trips with interchanges between several modes of transport, transport infrastructure, received from 550 thousand passengers, putting data on a map available in the mobile application. In this case, the company integrated the capabilities of platform solutions and crowdsourcing for a more efficient service delivery process [14].

In addition, digital platforms are used for booking and reserving bus seats in special

transfer services that connect high-density routes (*BRIDJ*, *SHUTTLE*, *DiDi*, etc.), as well as booking bicycle taxis and tuk-tuks in Latin America and Asia (*GoJek*, *BIKXIE*, *GRABBIKE*, *goBIKE*, *G-Auto*, etc.).

It is also noteworthy for Russia that JSC Russian Railways accounts for about 20 % of the world's railway transportation, which is why the company strives to become a digital leader in its industry. At SPIEF-2019, representatives of JSC Russian Railways announced that the company is developing eight digital platforms with different functionalities: from the possibility of ordering cargo transportation in just a few minutes to multimodal transportation and creating own digital ecosystem.

An analysis of foreign and Russian practices of using crowdsourcing and platform solutions in transport made it possible to propose an authors' model of metro management, which means a set of measures, means, tools and actions aimed to support operating condition of an enterprise, to optimize business processes and to improve quality of passenger transportation services based on mass introduction of digital technologies. This model shall have the following characteristics:

- use of modern digital technologies on most metro facilities (*BigData*, *IoT*, *IIoT*, *BIM*, *Cloud Computing*, *Cloud Storage*);
- availability of *DATA*-center for information storage;
- application of artificial intelligence and machine learning technologies for data analysis and development of operational decisions.

The authors' model of metro management includes a multi-functional «e-Platform» of metro with the aim of increasing the overall digitalization level of Russian metro as a part of solving the tasks of the national program «Digital Economy of the Russian Federation», as well as a crowd platform aimed at solving problems in the field of metro development as a modern and innovative element of the city's transport system.

1. «e-Platform» automated metro control.

The proposed «e-Platform» is a virtual space that is designed to collect, store and analyze data received from the external environment.

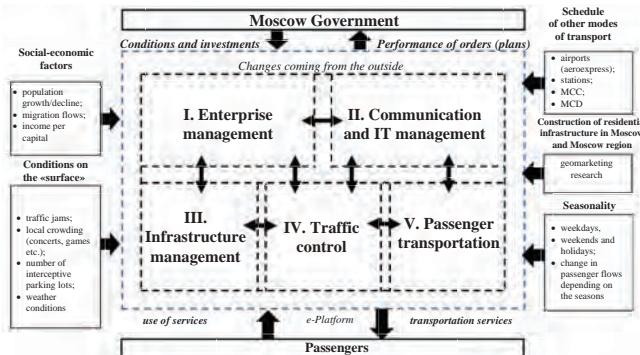
The autonomous activity of a virtual platform for performing these functions can be carried out only if a certain set of digital technologies is available: Internet of things (equipping trains and other infrastructure with sensors that transmit data to the control center), big data

⁴ [Electronic resource]: https://witology.com/clients_n_projects/219/. Last accessed 01.03.2020.

⁵ [Electronic resource]: https://witology.com/clients_n_projects/2324/. Last accessed 01.03.2020.



Pic. 1. «e-Platform» for automated management of metro business blocks and processes.
Source: compiled by the authors.



(processing of large volumes of data in a short time), artificial intelligence and machine learning (analysis of data received on «e-Platform» and the possibility of independent decision-making/development), cybersecurity technologies (protecting data and systems from cybercriminals on the Web) [15–17].

Pic. 1 shows the model of «e-Platforms» of metro, the purpose of which is to manage the activities of the enterprise *online* based on digital technologies. The introduction of this platform will improve transport security and traffic safety, quality of passenger transportation and optimize all related business processes [18]. «e-Platform» provides complete synchronization of incoming information from the external environment with metro business blocks.

The incoming information from the external environment to «e-Platform» is defined as factors affecting the activity of metro, and is divided into seven categories:

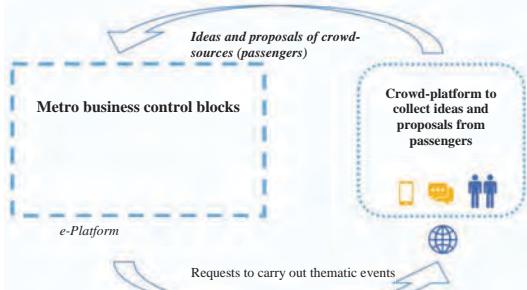
- 1) political;
- 2) social-economic;
- 3) conditions on the «surface»;
- 4) traffic schedule of other modes of transport;
- 5) construction of residential infrastructure in Moscow and Moscow region;
- 6) seasonality;
- 7) passengers.

The influence of political factors on metro is explained through development of a legislative framework that regulates the processes associated with organization, implementation of government orders and subsidies. Social-economic factors include key indicators such as population growth and decline, migration flows, which directly affect the size of passenger flows and the changing load on transport infrastructure. Conditions on the «surface» are various situations on highways and city streets that affect the change in passenger flows in metro (weather conditions, accidents,

traffic jams, crowds in shopping centers, theaters, museums, stadiums, etc.). The size of passenger flows is also affected by the traffic schedule of other modes of transport connected to metro, airport express trains, central railway diameters, suburban trains, as well as by loading of train stations (interchange hubs). An important role in managing passenger flows is played by construction of residential infrastructure in Moscow and Moscow region. Today, the population of Moscow and surrounding areas (Khimki, Mytishchi, Podolsk, New Moscow, Lyubertsy, etc.) is growing. This should also be considered when planning passenger transportation.

There is an urgent need to increase residential complexes both near Moscow Ring Road and beyond. The load on terminal metro stations is increasing, and therefore there is a need to increase the number of stations in Moscow region. The change of seasons also affects the change in the load on metro (number of trains, train schedules, etc.). For example, in summer, part of the population travels outside Moscow, the school year begins in autumn (the maximum passenger flow), in winter during the holidays, passenger flows decrease again, and in spring they grow.

We have identified another block of factors called «passengers». Passengers are users of the services that metro offers, and can be active in participating in development of this mode of transport. This can be expressed in prevention of emergencies using mobile applications with the ability to communicate online with metro employees and notify about unusual situations at stations and trains, as well as through submitting ideas and proposals for improving individual business processes and overall development of metro in order to improve quality of rendered services based on crowd technologies.



Pic. 2. Integration of e- and crowd-platforms for development of «Digital metro». Source: compiled by the authors.

Due to the fact that the «e-Platform» should provide online interaction between government authorities, the main metro management HQs, employees of metro services and divisions and passengers, it is possible to organize crowd projects based on «e-Platform» of metro [18].

Passengers must have limited access to «e-Platform» through a specially designed mobile application, the key functions of which are:

1. Purchase/return of electronic tickets;
2. Routing;
3. Ordering a service of assistance in metro;
4. Ability to report problems using metro map online;
5. Crowd platform for discussing problems, possible solutions and metro development.

The need to introduce an electronic ticketing system is confirmed by a 2015 survey of JSC Russian Railways, the analysis of which showed that the share of railway passengers using electronic registration was 80 % [19, p. 61]. The ability to build routes and order assistance services in metro *online* is a key factor in reducing travel time. One of the promising directions for development of metro is introduction of crowd platforms that are aimed at involving passengers in joint activities to develop proposals and ideas for modernization of individual business processes and quality of services provided.

2. Crowd platform for metro development.

Two alternative solutions are proposed for introducing crowdsourcing technology into the organization's business model: creating a platform based on the existing information infrastructure and own servers or using the services of third-party companies that assist in preparation and conduct of crowd projects and provide the platform for temporary use (LLC Witology).

The crowd platform is a virtual space designed to collect and develop ideas and proposals by community members, which in this case can be both metro employees and passengers. The work

of crowdsourcers (people who offer ideas) is supervised by a specially trained employee (facilitator), whose responsibilities include all the functions of organizing and maintaining a crowd project on the platform. It is possible to carry out several thematic crowd projects at the same time, the data on which are transmitted to «e-Platform». Thus, all incoming information from passengers is analyzed and sorted using big data and artificial intelligence technologies and transferred to the appropriate business blocks.

Pic. 2 presents the target model for managing data flows, which must be enabled to ensure sustainable development of both metro and the transport industry as a whole [20].

The introduction of crowdsourcing technologies in conjunction with «e-Platform» will help increase the efficiency and productivity in development of «Digital Metro» strategy due to the possibility of collecting innovative ideas and solutions from metro users. In addition, crowdsourcing will increase the level of passenger safety and transport security of the enterprise, as employees and passengers can report malfunctions and incidents in real time to develop operational solutions.

When implementing the authors' model of metro management, growth of demand in services of the leading business integrators for adaptation and application of the said digital technologies (*BigData, IoT, IIoT, BIM, Cloud Computing, Cloud Storage* etc.) at all levels of enterprise management (from linear operations to strategic planning) is forecasted.

Thus, the proposed model of metro management makes it possible to achieve not only social, but also economic effects, which can be expressed as follows:

- increase in efficiency of energy consumption (cost reduction by 5–10 %);
- reduction of overhead costs of an enterprise thanks to introduction of the technology of



equipment service «according to current technical condition»;

- reduction of the need for space for arrangement of devices of telemechanics and automation, signaling, communication and safety;
- optimization of the personnel of operational services and freeing of space (relax rooms for drivers, medical point and other premises at the stations) following automation of enterprise business processes;
- increase in efficiency and performance of personnel due to automation of some business processes.

Conclusion. World and Russian practices have shown that digitalization and automation constitute together the trend of the present, and this process will continue and upscale. A special role in accelerating the processes of digital transformation is played by digital ecosystems, virtual platforms and crowd technologies, which, when integrated into a single system, allow to obtain high results in the shortest possible time.

The observed trend in creation of digital ecosystems and introduction of key digital technologies in the organization's business model for leading Russian transport companies indicates the need to develop this area and adapt the solutions of large companies to medium and small business levels. The model of integration of virtual platforms and crowdsourcing technology, proposed in this paper, allows to solve one of the acute problems that any organization faces today and which is associated with an exponential increase in information and an increase in the number of external factors affecting the enterprise.

REFERENCES

1. Digital economy of Russia [*Tsifrovaya ekonomika Rossii*]. [Electronic resource]: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Цифровая_экономика_России. Last accessed 28.01.2020.
2. Kupriyanovsky, V. P., Evtushenko, S. N., Dunaev, O. N., Bubnova, G. V., Drozhzhinov, V. I., Namot, D. E., Sinyagov, S. A. Government, industry, logistics, innovations and intellectual mobility in the digital economy [*Pravitel'stvo, promyshlennost', logistika i intellektualnaya mobilitet v tsifrovoi ekonomike*]. *Modern information technologies and IT education*, 2017, Vol. 13, Iss. 1, pp. 72–94.
3. Lapidus, L. V. Digital Economy: E-Business and E-Commerce Management: Textbook [*Tsifrovaya ekonomika: upravlenie elektronnym biznesom i elektronnoi kommersiei: Uchebnik*]. Moscow, Infra-M publ., 2018, 479 p.
4. Lapidus, B. M., Misharin, A. S., Makhutov, N. A., Fomin, V. M., Zaitsev, A. A., Macheret, D. A. About the scientific platform of Strategy for development of railway transport in Russia until 2050 [*O nauchnoi platforme Strategii razvitiya zhelezodorozhного transporta v Rossii do 2050 goda*]. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2017, Iss. 2, pp. 1–20.
5. Howe, J. Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd is Driving the Future of Business. Trans. from English. Moscow, Alpina Publisher, 2014, 288 p.
6. Lapidus, L. V., Polyakova, Yu. M. Gigonomics as a new socio-economic model: development of freelancing and crowdsourcing [*Gigonomika kak novaya sotsialno-ekonomicheskaya model': razvitiye frilansinga i kraudorsinga*]. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, 2018, Iss. 6, pp. 73–89.
7. Polyakova, Yu. M. Crowd-technology: nature, essence, effects [*Crowd-tehnologii: priroda, sushchnost', effekty*]. *Digital Economy: Trends and Prospects of Business Transformation. Proceedings of V Interfaculty Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. Ed. by L. V. Lapidus. Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 2019, pp. 103–109.
8. Collective Intelligence Systems. [Electronic resource]: <http://ci-systems.ru/clients>. Last accessed 28.01.2020.
9. Public Transport Crowdsourcing. [Electronic resource]: <https://crowdsourced-transport.com/crowdsourced-public-transport/>. Last accessed 28.01.2020.
10. BusUp. [Electronic resource]: <https://www.busup.com>. Last accessed 28.01.2020.
11. Pan, Sh.; Chao, Chen; Zhong, R. Y. A crowdsourcing solution to collect e-commerce reverse flows in metropolitan areas. *IFAC-PapersOnLine*, 2015, Vol. 48, Iss. 3, pp. 1984–1989.
12. Aeroflot announced winners of the third stage of the Russian competition of ideas «PolyotMysli.RF» (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/54937>. Last accessed 28.01.2020.
13. Konina, N. Yu., Nozdreva, R. B., Burenin, V. A. [et al.]. Modern problems of management, marketing and entrepreneurship: Monograph [*Sovremennye problemы menedzhmenta, marketinga i predprinimatel'stva: Monografiya*]. Ed. and foreword by N. Yu. Konina. Moscow, MGIMO-University, 2018, 626 p.
14. How Moovit improves its application, helping people with disabilities to use vehicles confidently [*Kak Moovit uluchshaet svoe prilozhenie, pomogaya lyudjam s invalidnostyu uverenno polzovatsya transportom*]. [Electronic resource]: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/moovit/>. Last accessed 28.01.2020.
15. Krantz, M. Internet of Things: A New Technological Revolution. Trans. from English by Z. Mamedyarov. Moscow, Eksmo publ., 2018, 336 p.
16. Weigend, A. Big Data. All technology in one book. Trans. from English by S. Bogdanov. Moscow, Eksmo publ., 2018, 384 p.
17. Sutherland, W., Jarrahi, M. H. The sharing economy and digital platforms: A review and research agenda. *International Journal of Information Management*, December 2018, Vol. 43, pp. 328–341. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.07.004.
18. Baranov, L. A., Kulba, V. V., Shelkov, A. B., Somov, D. S. Indicator approach in safety management of railway transport infrastructure facilities [*Indikatornyi podkhod v upravlenii bezopasnostyu ob'ektov infrastruktury zhelezodorozhного transporta*]. *Nadezhnost'*, 2019, Vol. 19, Iss. 2, pp. 34–42.
19. Lapidus, B. M., Lapidus, L. V. Railway transport: philosophy of the future [*Zhelezodorozhniy transport: filosofiya budushchego*]. Moscow, Prometei publ., 2015, 232 p.
20. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Methodology for evaluating and ensuring the effectiveness of innovative transport systems [*Metodologiya otsenki i obespecheniya effektivnosti innovatsionnykh transportnykh sistem*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, Iss. 7, pp. 16–25.



МИНТРАНС РОССИИ ОЦИФРУЕ ТРАНСПОРТНУЮ НАКЛАДНУЮ И ПУТЕВОЙ ЛИСТ

Минтранс России запустил эксперимент для внедрения электронной транспортной накладной (ЭТрН) и электронного путевого листа (ЭПЛ) при пассажирских и грузовых автоперевозках. Он будет проводиться до 30 октября 2020 года на территории Москвы, Московской, Калужской, Рязанской областей, Татарстана и Краснодарского края. Проект позволит повысить безопасность дорожного движения за счёт цифровизации предрейсового контроля технического состояния транспортного средства и медосмотра водителя. При этом перевод на «цифру» почти 3 млрд первичных документов, ежегодно оформляемых перевозчиками, сократит издержки бизнеса, ускорит и упростит прохождение контрольно-надзорных процедур.

Макет единой государственной информационной системы для сбора, обработки и хранения данных из ЭПЛ и ЭТрН разрабатывает ФГУП «ЗашитаИнфоТранс». Система обеспечит обмен юридически значимыми данными в режиме онлайн между всеми участниками перевозки: от коммерческих платформ документооборота до государственных органов исполнительной власти. По итогам эксперимента будут внесены предложения об изменении нормативных правовых актов и сформирована дорожная карта для внедрения ЭПЛ и ЭТрН на территории Российской Федерации.

«... Для нас принципиально важно отточить все процедуры совместно с бизнесом, сделать открытую госплатформу для всех коммерческих сервисов. Далее мы будем подключать другие виды транспорта. Это обеспечит реальную мультимодальность и цифровую трансформацию целого сектора экономики страны», — отметил заместитель министра транспорта России Алексей Семенов, руководящий реализацией проекта.

Ассоциация ЦТЛ совместно с Национальным союзом экспертов в сфере транспорта и логистики (СЭЛ) организуют в рамках эксперимента взаимодействие платформ электронного документооборота («КОРУС Консалтинг», «Directum»

(Synerdocs), «Э-КОМ») и участие крупнейших грузоперевозчиков и агрегаторов (ГК «Совтрансавто», ГК «Деловые линии», «Сельта» — перевозчик сети «Магнит», АПХ «Мираторг», «АгроАвто» — перевозчик «Х5 Retail Group», «ХРО Logistics», «FM—Logistics», «Яндекс.Такси»). Компании примут участие в эксперименте на добровольной и безвозмездной основе.

«Ведение бумажного документооборота составляет 2–2,5 % от годового оборота перевозчиков. К этому надо приplusовать время при прохождении административных процедур и проверок, отсутствие сквозной интеграции данных и дублирование одной информации для разных проверок, — подчеркнул в свою очередь директор Ассоциации ЦТЛ Антон Замков.

В рамках эксперимента «Яндекс.Такси» помимо решения по ЭТрН предоставит технологии собственной разработки для дистанционных предрейсовых осмотров водителей. «Мы в плотном контакте с Минтрансом, уже почти год в экспериментальном порядке тестируем электронный путевой лист — систему, позволяющую наладить выпуск в рейс водителя такси с помощью цифровых технологий, — рассказал директор по развитию бизнеса «Яндекс.Такси» в России Алексей Федотов. — Медицинский предрейсовый осмотр водителя и технический осмотр автомобиля проводятся в удобной для водителя точке, после чего доступ к базе данных ЭПЛ могут получить все заинтересованные органы. Система позволяет в четыре раза сократить затраты перевозчиков на организацию выпуска транспорта на линию».

Координатором проведения эксперимента назначен руководитель департамента цифровой трансформации Минтранса Дмитрий Баканов.

По материалам пресс-центра Министерства транспорта Российской Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9428> ●

RUSSIAN MINISTRY OF TRANSPORT DIGITIZES BILL OF LADING AND THE WAYBILL

The Russian Ministry of Transport has launched an experiment to introduce electronic bill of lading (ETrN) and electronic waybill (EPL) in passenger carriage and trucking. It will be held until October 30, 2020 in Moscow city, Moscow, Kaluga, Ryazan, Krasnodar regions, and Tatarstan. The project will improve road safety by digitizing pre-travel control of the technical condition of the vehicle and the driver's medical examination. At the same time, the digitization of almost 3 billion primary documents issued annually by carriers, will reduce business costs, speed up and simplify control and supervisory procedures.

The model of a single state information system for the collection, processing, and storage of data from EPL and ETrN is being developed by federal state unitary enterprise ZashitaInfoTrans. The system will ensure the exchange of legally relevant data online between all participants in transportation: from commercial data platforms to the state executive authorities. As a result of the experiment, proposals will be made to change regulations and to develop a roadmap for the introduction of EPL and ETrN in the Russian Federation.

«... It is fundamentally important for us to tune all procedures together with business, to make an open public platform for all commercial services. Next, we will connect other modes of transport. This will ensure a real multimodality and digital transformation of the entire sector of the country's economy», said Russian Deputy Minister of Transport Alexey Semenov, who is leading the project.

The DTL (Digital Transport and Logistics) Association, together with the National Union of Transport and Logistics Experts (SEL), organizes the interaction of electronic document platforms (KORUS Consulting, Directum

(Synerdocs), E-COM) and the participation of major carriers and aggregators as part of the experiment (Sovtransavto, Business Lines, Celta (carrier of the Magnit network), APM Miratorg, Agro-Auto (carrier of X5 Retail Group), XPO Logistics, FM—Logistics, Yandex.Taxi). The companies will take part in the experiment on a voluntary and gratuitous basis. «The maintenance of paperwork takes 2–2,5 % of the annual turnover of carriers. This should be added to the time spent on administrative procedures and inspections, the lack of end-to-end integration of data and duplication of the information for different inspections», said Anton Zamkov, Director of the DTL Association.

As part of the experiment, Yandex.Taxi in addition to the decision on ETrN will provide own technologies for remote pre-travel examinations of drivers. «In close contact with the Ministry of Transport, we have been testing for almost a year the electronic waybill — a system that allows to establish the permission for a taxi driver to go on trip with the help of digital technologies, — said the director of business development of Yandex.Taxi in Russia Alexey Fedotov. — A medical pre-trip examination of the driver and a technical inspection of the car are carried out at a convenient point for the driver, after which access to the waybill database can be obtained by all interested authorities. The system allows to reduce the costs for carriers to organize the permission to go on route by 4 times».

Dmitry Bakанов, head of the digital transformation department of the Ministry of Transport, has been appointed as the coordinator of the experiment.

Compiled from the news of the press center of the Ministry of Transport of the Russian Federation: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9428> ●





Исследование развития зарубежных железнодорожных компаний с применением патентного и библиометрического анализа



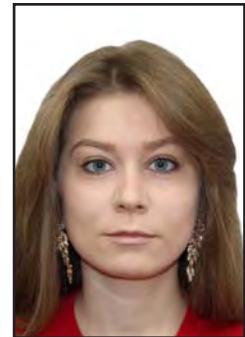
Максим ЖЕЛЕЗНОВ



Олег КАРАСЕВ



Егор ШИТОВ



Юлия ШИТОВА

Железнов Максим Максимович – Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

Карасев Олег Игоревич – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

Шитов Егор Александрович – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

Шитова Юлия Александровна – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*.

Современный этап развития экономики сопряжён с ускоренными темпами технологического развития, что формирует у компаний в качестве базовой повестки необходимость проведения регулярного бенчмаркинга лучших практик среди конкурентов. Однако, учитывая условия высококонкурентной среды, традиционные инструменты и метрики не позволяют выявлять перспективные направления инновационного развития, реализация которых в будущем может сформировать новые конкурентные преимущества у компаний-аналогов.

В целях выявления «ранних сигналов» – формирующихся направлений инновационного развития, перспективных технологий и решений – в мировой практике активно применяются инструменты патентного и библиометрического анализа, позволяющие оценивать текущую практику компаний как в области фундаментальных, так и прикладных исследований.

В данной статье представлены результаты исследования деятельности ведущих зарубежных железнодорожных компаний в области организации научно-технологических изысканий и приоритетных направлений инновационного развития, полученные с применением инструментов патентного и библиометрического анализа. В статье описываются динамика и структура публикаций и патентных заявок железнодорожной отрасли. Также в статье описываются различия в структуре кооперационных связей ведущих железнодорожных компаний в части организации публикационной и исследовательской деятельности.

В статье также рассмотрены структуры патентной и публикационной деятельности отдельных компаний, демонстрирующие их приоритетные направления организации научно-технологической деятельности.

Ключевые слова: технологическое развитие, транспорт, структура, динамика, публикационная активность, патентная активность, кооперационные связи.

*Информация об авторах:

Железнов Максим Максимович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), Москва, Россия, M.Zheleznov@mail.ru.

Карасев Олег Игоревич – кандидат экономических наук, директор центра научно-технологического прогнозирования экономического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, oikarasev@econ.msu.ru.

Шитов Егор Александрович – магистр по направлению «Менеджмент», ведущий специалист Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, egor.shitov29@gmail.com.

Шитова Юлия Александровна – магистр по направлению «Менеджмент», ведущий специалист Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, julyaa.titova@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 13.08.2019, актуализирована 17.01.2020, принята к публикации 27.02.2020.

For the English text of the article please see p. 30.

Уровень технологического развития железнодорожных компаний является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность операционной деятельности. В условиях сокращения технологического и инновационного циклов и ускорения процессов принятия решений качество организации научно-технологического развития является критическим фактором с точки зрения сохранения ведущих позиций компании и её конкурентоспособности.

Одним из базовых элементов технологического развития является система сквозных научно-технологических приоритетов, определяющих вектор долгосрочного видения компании в разрезе разработки и внедрения передовых разработок и решений. При условии увеличения скорости передачи технологии с этапа разработки до момента внедрения компании вынуждены на регулярной основе проводить комплексный анализ востребованных направлений исследований и разработок. Подобная практика является распространённой среди ведущих железнодорожных компаний и позволяет им оставаться в русле технологических и инновационных трендов, оказывающих значительное влияние на развитие всей железнодорожной отрасли.

В целях выявления значимых направлений технологического развития могут использоваться различные *методы*, включая библиометрический и патентный анализ, позволяющие, в том числе определить зарождающиеся направления, потенциально обладающие критическим значением для развития всей отрасли – «ранние сигналы». Например, анализ патентной информации обеспечивает возможность многоаспектного анализа групп перспективных технологий, инновационных продуктов и услуг по целому ряду оснований, в том числе сведений правового характера [1]. Одними из ключевых *целей* проведения патентного и библиометрического анализа являются:

- определение масштабов, динамики и направлений научно-технологического развития как отрасли в целом, так и отдельных компаний;

- определение лидеров в области фундаментальных и прикладных исследований;

- выявление организационных и кооперационных связей отраслевых компаний с научно-исследовательскими организациями, университетами и прочими коммерческими партнёрами;

- выявление отдельных авторов, сотрудников и учёных, характеризующихся значительным вкладом в развитие отрасли по отдельным направлениям научно-технологического развития;

- выявление «ранних сигналов» и потенциально значимых технологических разработок [2].

Согласно концепции уровней готовности технологии (далее – УГТ), фундаментальные и прикладные исследования соответствуют ранним стадиям развития технологии: УГТ1–УГТ3 [3]. Анализ научно-технологической деятельности компаний в разрезе указанных УГТ позволяет выявлять неявные технологические тренды. Преимуществом библиометрического и патентного анализа является возможность исследования неявных направлений научно-технологического развития, не отражаемых в открытых источниках и публикуемых документах корпоративного стратегического планирования [4].

Компании, обладающие широким портфелем публикаций и патентов, традиционно обладают собственным развитым научно-техническим блоком. Одним из индикаторов активности и эффективности его функционирования служит динамика публикационной и патентной активности. Лидерами железнодорожной отрасли в области публикационной активности являются представители Азиатско-Тихоокеанского региона: China Railways (Китай), Korail (Южная Корея) и JR Group (Япония) (рис. 1). В аспекте отдельных лет в течение периода 2010–2019 гг. высокой публикационной активностью также характеризуется французская железнодорожная компания SNCF.

Публикационная активность большинства железнодорожных компаний характеризуется устойчивой положительной динамикой, которая экстраполируется в целом на ситуацию в железнодорожной отрасли. Значительное преобладание азиатских железнодорожных компаний также наблюдается и в области защиты результатов интеллектуальной деятельности (патентной активности).



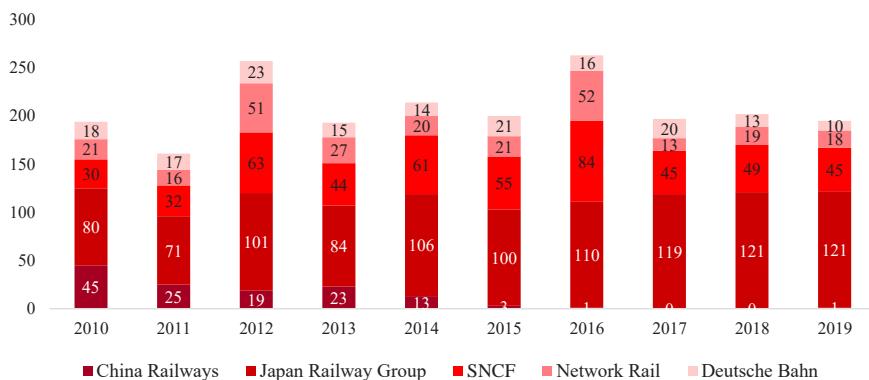


Рис. 1. Динамика публикационной активности ведущих зарубежных железнодорожных компаний в течение периода 2010–2019 гг., публикаций в год. Источник: Библиографическая и реферативная база данных Scopus. [Электронный ресурс]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Доступ 25.02.2020.

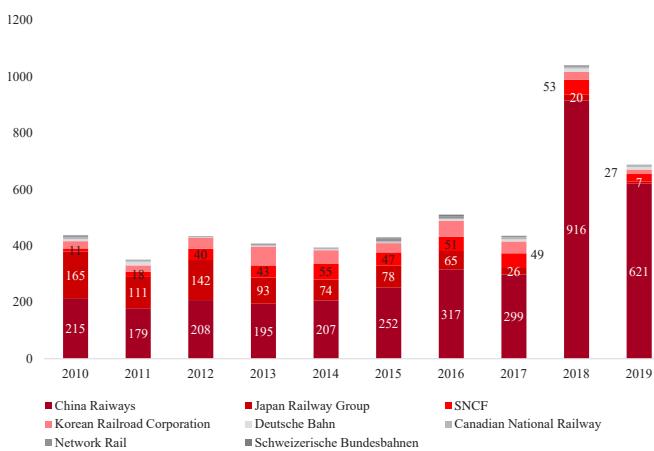


Рис. 2. Динамика патентной активности ведущих зарубежных железнодорожных компаний в течение периода 2010–2019 гг., патентов в год. Источник: Система поиска по международным и национальным патентным фондам PatentScope Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности // PatentScope. [Электронный ресурс]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Доступ 29.07.2019.

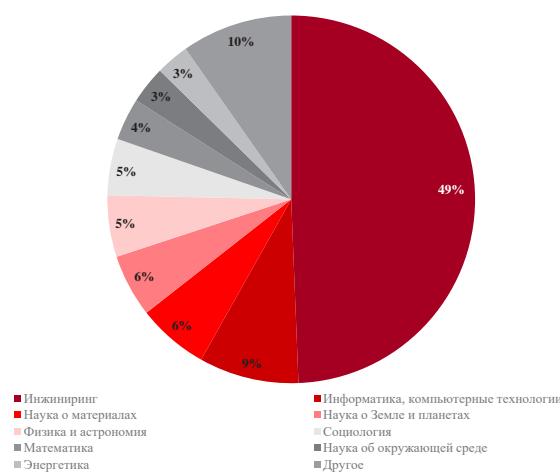


Рис. 3. Структура публикаций ряда ведущих зарубежных железнодорожных компаний в 2010 г., %. Источник: Библиографическая и реферативная база данных Scopus. [Электронный ресурс]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Доступ 15.12.2019.

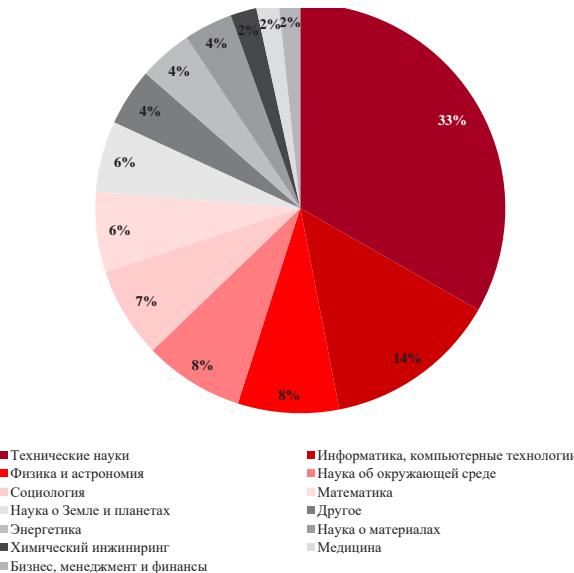


Рис. 4. Структура публикационной активности компании SNCF с 2010 г., %. Источник: библиографическая и реферативная база данных Scopus. [Электронный ресурс]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Доступ 18.12.2019.

Анализ патентной активности может использоваться в целях определения ключевых индикаторов технологических изменений [4]. Анализ патентной активности позволяет выявить как различные научно-технологические достижения, так существующие и зарождающиеся направления технологического развития компаний.

В течение периода 2010–2019 гг. железнодорожными компаниями с высоким

уровнем патентной активности были JR Group (Япония), SNCF (Франция) и Korail (Южная Корея) (рис. 2).

Патентный анализ позволяет сформировать понимание R&D активности компаний в аспекте технологических направлений и решений, которые непосредственно не видны внешнему наблюдателю [5]. Библиометрический и патентный анализы позволяют выявить актуальные и востре-

Наиболее цитируемые статьи SNCF за 2016–2019 гг.

Таблица 1

№	Название статьи	Направление	Год публикации	Количество цитирований
1	Потенциал вспомогательных технологических услуг транспортного средства по отношению к сети с учётом неопределённости в доступности подключаемого электромобиля и ограничений обслуживания/локализации в распределительных сетях	Электромобили/Зарядные устройства (аккумуляторы)/Умные зарядные устройства	2016	31
2	Статистическая оценка усталостной прочности двухсрезных заклёпочных соединений и скорости роста трещин материалов старых мостов	Усталость материалов/Модели/S–N кривые	2017	27
3	Влияние содержания включений на модуль упругости и коэффициент демпфирования неуплотнённых материалов железнодорожного полотна	Железные дороги/Почвы	2017	22
4	Влияние содержания воды и мелких фракций на модуль упругости межслойного грунта основания железнодорожного полотна	Железные дороги/Почвы	2016	19
5	Исследование механического поведения материалов пути с различным содержанием крупновзернистых фракций	Строительство и строительные материалы	2018	16

Источник: Библиографическая и реферативная база данных Scopus. [Электронный ресурс]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Доступ 25.02.2020.



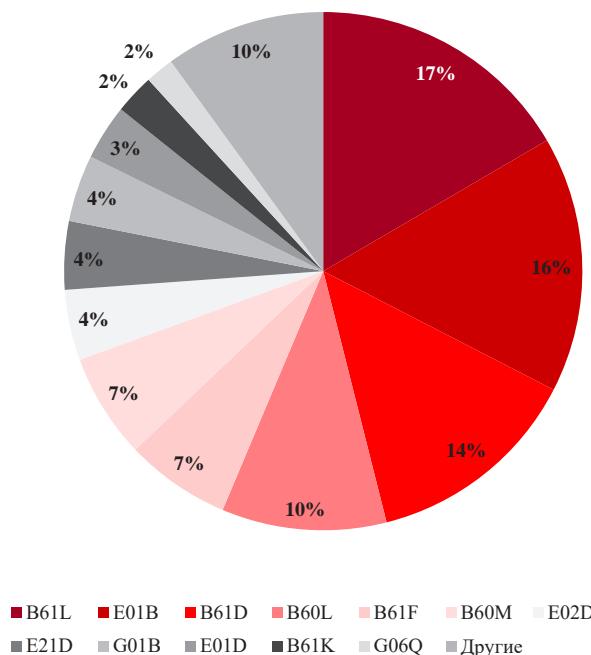


Рис. 5. Структура зарегистрированных патентов ряда ведущих зарубежных железнодорожных компаний с 2010 г., %. Источник: Официальный сайт патентной базы данных Всемирной организации интеллектуальной собственности // PatentScope. [Электронный ресурс]: <https://patentscope.wipo.int/search/rus/search.jsf>. Доступ 27.07.2019.

бованные технологические тенденции, а также предоставляет возможность предположить будущий вектор развития критических технологий и решений в отрасли.

Рассмотрение и анализ структуры публикаций и патентов на основе принципов классификации позволяет выделить отдельные области, пользующиеся у компаний повышенным вниманием. На рис. 3 представлена структура публикационной активности ряда ведущих железнодорожных компаний в разрезе направлений исследований за период 2010–2019 гг.

Наиболее востребованной областью публикаций ведущих зарубежных железнодорожных компаний являются технические науки, что в целом является характерным для анализируемой отрасли. Также в структуре публикаций широко распространены исследования, касающиеся информатики и компьютерных технологий, науки о материалах, науки о Земле и планетах, физики и астрономии.

При приближённом рассмотрении структуры публикационной активности французской железнодорожной компании SNCF можно сделать вывод о высокой степени соответствия её научно-техноло-

гических приоритетов с общеотраслевой спецификой (рис. 4).

Большая часть публикаций SNCF коррелирует с исследованиями в области инженеринга, информатики и компьютерных технологий, науки об окружающей среде, а также физики и астрономии. Указанные тематические области образуют собой около 66 % от всех публикаций французской железнодорожной компании.

Среди наиболее цитируемых статей SNCF за последние годы чаще всего встречаются работы, исследующие материалы и почву (табл. 1).

Наиболее востребованные тематические области зарегистрированных патентов, имеющие отношение к железнодорожной отрасли, в значительной степени коррелируют с направлениями публикаций ведущих железнодорожных компаний. Подобный факт позволяет сделать предположение об относительно устойчивых связях фундаментальных и прикладных исследований в железнодорожной отрасли. В частности, это подтверждается возрастающей тенденцией к принятию инициатив, направленных на полное сопровождение технологических разра-

Таблица 2

Международная патентная классификация (МПК) наиболее востребованных патентов железнодорожной отрасли

МПК	Расшифровка
B61L	Организация и управление движением на железных дорогах; средства техники безопасности на железнодорожном транспорте
E01B	Верхнее строение пути; способы и устройства для укладки и ремонта рельсовых путей всех типов
B61D	Железнодорожные вагоны, платформы и т.п.; конструктивные элементы кузовов подвижного состава
B60L	Электрооборудование транспортных средств с электротягой; магнитные подвески или левитационные устройства для транспортных средств; электродинамические тормозные системы для транспортных средств вообще
B61F	Подвески, рамы, поворотные тележки вагонов, устройства колёсных осей; транспортные средства для передвижения по дорогам с различной шириной колеи; устройства для предотвращения схода с рельсов; предохранительные устройства, улавливающие или удаляющие препятствия с пути и т.п.
B60M	Линии энергоснабжения и устройства, расположенные вдоль железнодорожного полотна, для транспортных средств с электротягой
E02D	Основания и фундаменты; котлованы; насыпи; подземные и подводные сооружения
E21D	Шахтные стволы; тунNELи; выработки; подземные камеры большого объёма
G01B	Измерение длины, толщины или подобных линейных размеров; измерение углов; измерение площадей; измерение неровностей поверхностей или контуров
E01D	Мосты
B61K	Вспомогательное железнодорожное оборудование
G06Q	Системы обработки данных или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленических, надзорных или прогностических целей; системы или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленических, надзорных или прогностических целей, не предусмотренные в других подклассах

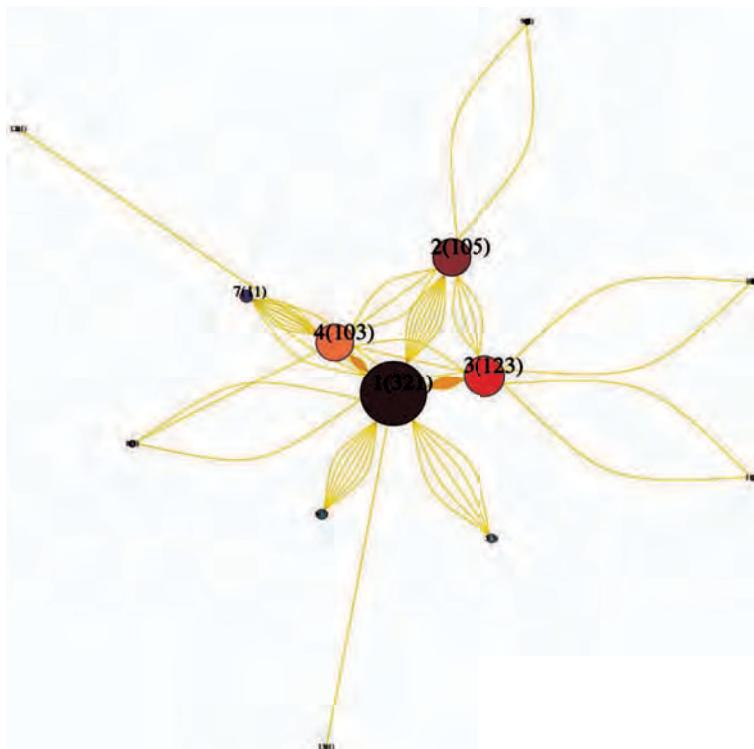


Таблица 3

Расшифровка тематических областей патентов к рис. 6

Вершина	Значение
1	Железнодорожный путь
2	Проектирование дорог, железнодорожных путей и мостов
3	Измерение и тестирование
4	Транспортные средства в целом
5	Сигнализация
6	Наземные нерельсовые транспортные средства
7	Упаковка, транспортировка и хранение хрупких материалов
8	Подъёмные и тяговые механизмы
9	Ручные и переносные инструменты и манипуляторы
10	Строительство
11	Отопление, вентиляция
12	Авиация и космонавтика
13	Замки, ключи, оконная или дверная фурнитура, сейфы

Источник: Официальный сайт патентной базы данных Всемирной Организации интеллектуальной Собственности // PatentScope. [Электронный ресурс]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Доступ 27.07.2019.

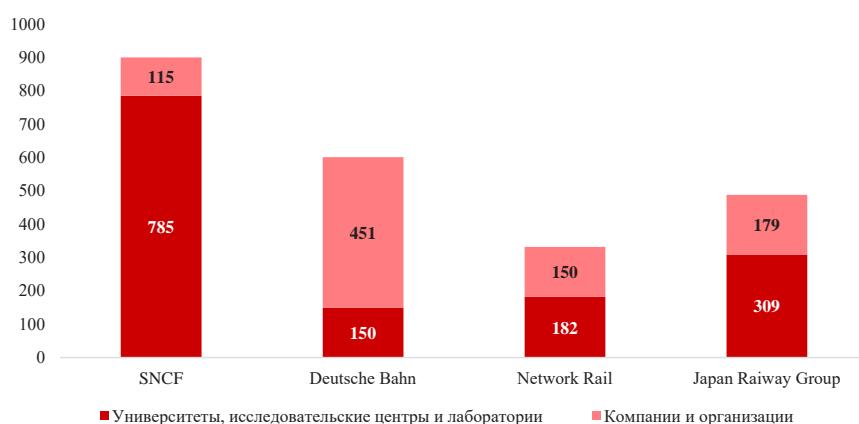


Рис. 7. Структура кооперационных связей и совместных публикаций в разрезе компаний, публикаций по направлению. Источник: Библиографическая и реферативная база данных Scopus. [Электронный ресурс]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Доступ 02.08.2019.

боток на всех этапах жизненного цикла. Не менее важным фактором, объясняющим данный вывод, является традиционная специфика железнодорожной отрасли и относительно узконаправленные тематики научно-технологического развития, прежде всего связанные с подвижным составом, обслуживанием инфраструктурных объектов и железнодорожным полотном [6].

Наиболее востребованными тематическими областями зарегистрированных патентов ряда ведущих железнодорожных компаний являются (рис. 5):

- организация и управление движением на железных дорогах; средства техники безопасности на железнодорожном транспорте;

• верхнее строение пути; способы и устройства для укладки и ремонта рельсовых путей всех типов.

Расшифровка представленных на рис. 5 тематических областей патентов железнодорожной отрасли представлена в табл. 2.

На рис. 6 представлен линейный график патентной активности немецкой железнодорожной компании Deutsche Bahn, который позволяет определить междисциплинарные патентные связи.

Вершины графа соответствуют тематическим областям патентов, представленным в табл. 3. Рёбра графа представляют собой междисциплинарные патентные связи. Рядом с вершинами графа обозначена сила тематической области, выражает-

мая через количество патентов компаний, имеющих к ней отношение.

Согласно представленному рисунку, основными направлениями патентования являются: транспортная инфраструктура, приборы для измерений и тестирований, грузовая работа. Активное патентование происходит на стыке приведённых предметных областей, а также на стыке направлений, связанных с коммуникациями и наземными транспортными средствами (железнодорожным транспортом).

В целом в железнодорожной отрасли на протяжении всего периода публикационной активности компаний прослеживается тренд сотрудничества с университетами, национальными и международными исследовательскими центрами и лабораториями, особенно заметно такое сотрудничество в публикациях SNCF и Japan Railway Group (рис. 7). Более 60 % публикаций и исследований, осуществляемых ведущими железнодорожными компаниями, выпускаются совместно с образовательными и научно-исследовательскими организациями. Например, французская компания SNCF в более чем 87 % публикаций совместных фундаментальных статей и исследований сотрудничает с представителями научной среды: университетами, научно-исследовательскими институтами и лабораториями. В свою очередь немецкая Deutsche Bahn 75 % совместных научных исследований проводит с участниками рынка – различными коммерческими компаниями и организациями.

Вследствие ускорения темпов развития технологий железнодорожные компании вынуждены на регулярной основе проводить актуализацию трендов и динамики инновационной деятельности ведущих компаний-аналогов, а также лидеров смежных отраслей в целях выявления приоритетных векторов научно-технологического развития и приблизительной оценки собственных компетенций и перспектив.

Инструменты и методы библиометрических и патентных исследований, применяемые в ходе анализа публикационной и патентной активности, позволяют получить актуальные данные, иллюстрирующие уровень инновационного развития по отрасли, проследить тренды развития, выявить ранние сигналы возникновения

ноу-хау и определить приоритетные тематические направления исследований. Такой анализ особенно важен при решении задачи выявления областей новых знаний и определения стратегий научно-технического развития, постоянно стоящей в условиях современного этапа научно-технологического развития перед организациями любого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ена О., Попов Н. Методология разработки патентных ландшафтов проектного офиса ФИПС // Станкоинструмент. – 2019. – № 1. – С. 28–35.
2. Гибсон Э., Дайм Т., Гарсес Э., Дабич М. Библиометрический анализ как инструмент выявления распространённых и возникающих методов технологического Форсайта // Форсайт. – 2018. – Т. 12. – № 1. – С. 6–24.
3. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий // Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 58048-2017 (дата введения: 2018-06-01).
4. Григорян М. Патентный анализ: стратегическое обоснование, применение, преимущества и ограничения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 30. – С. 341–345.
5. Гришина С. Патентный анализ как инструмент стратегической диагностики // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2008. – С 113–115.
6. Железнов М. М. Формирование приоритетных направлений научных исследований на примере головной организации ОАО «РЖД» в сфере разработки, создания, испытаний и внедрения техники и технологий на железнодорожном транспорте (ОАО «ВНИИЖТ») // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2013. – № 6. – С. 2–12.

Авторы выражают признательность коллегам, принимавшим участие в исследовании, результаты которых были использованы при подготовке данной статьи: Белошицкому Алексею Валерьевичу, магистру по направлению «Экономика», заместителю директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова, Ракову Дмитрию Александровичу, магистру по направлению «Менеджмент», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Смирнову Роману Геннадьевичу, магистру по направлению «Экономика», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Смирновой Татьяне Викторовне, аспиранту кафедры статистики, ведущему экономисту экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова; Терещенко Игорю Александровичу, магистру по направлению «Юриспруденция», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Тростьянскому Сергею Сергеевичу, магистру по направлению «Экономика», заместителю директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Фроловой Анне Дмитриевне, бакалавру 3-го курса по направлению «Экономика», специалиста Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова.





Research of Development of Foreign Railway Companies Using Patent and Bibliometric Analysis



Maxim M. ZHELEZNOV



Oleg I. KARASEV



Egor A. SHITOV



Yulia A. SHITOVA

Zheleznov, Maxim M., National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

Karasev, Oleg I., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Shitov, Egor A., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Shitova, Yulia A., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The modern stage of economic development is intricately linked with accelerated pace of advancement in technology and hence introduces into basic corporate agenda the need to regularly benchmark best competitive practices. Considering highly competitive environment usual tools and metrics do not allow to reveal promising directions of innovative development, whose implementation will help in building new competitive advantages with similar companies.

To reveal early signs, revealing emerging directions of innovative development, promising technology and decisions, global practices implement tools and instruments of patent and bibliometric search, allowing to assess current

corporate practices in the field of both fundamental and applied research.

The article presents the results of a research on activity of leading world railway companies in the field of technological and scientific research, and of priority directions of innovative development, obtained using tools of patent and bibliometric analysis. The research also described the dynamics and the structure of publications and patent applications in the railway sector, the differences in the structure of cooperative links of leading railway companies regarding publication and research activity.

The article also studied structuring of patent and publication activity of some companies, showing priority directions of technological and scientific efforts.

Keywords: technological development, transport, structure, dynamics, publication activity, patent activity, cooperation links.

*Information about the authors:

Zheleznov, Maxim M. – D.Sc. (Eng), associate professor, professor of the department on information systems, technologies and automation in construction of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, M.Zheleznov@mail.ru.

Karasev, Oleg I. – Ph.D. (Economics), director of the center of scientific-technological forecasting of economic faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, oikarasev@econ.msu.ru.

Shitov, Egor A. – Master in Management, leading specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, egor.shitov29@gmail.com.

Shitova, Yulia A. – Master in Management, leading specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, julyaa.titova@gmail.com.

Article received 13.08.2019, revised 17.01.2020, accepted 27.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 22.

The level of technological development of railway companies is among key factors determining effectiveness of operating activities. Given reduction of technological and innovation cycle time and accelerated decision-making processes, the quality of organization of scientific and technological development is a critical factor in terms of maintaining the company's leading positions and its competitiveness.

A basic element of technological development is a system of cross-cutting scientific and technological priorities that determines the vector of a company's long-term vision in terms of development and implementation of advanced developments and solutions. Subject to an increase in the technology transfer rate from the development stage to time of implementation, the companies are forced to regularly conduct a comprehensive analysis of the areas of research and development that are in demand. This practice is common among leading railway companies and allows them to stay in line with technological and innovative trends that have a significant impact on development of the entire railway industry.

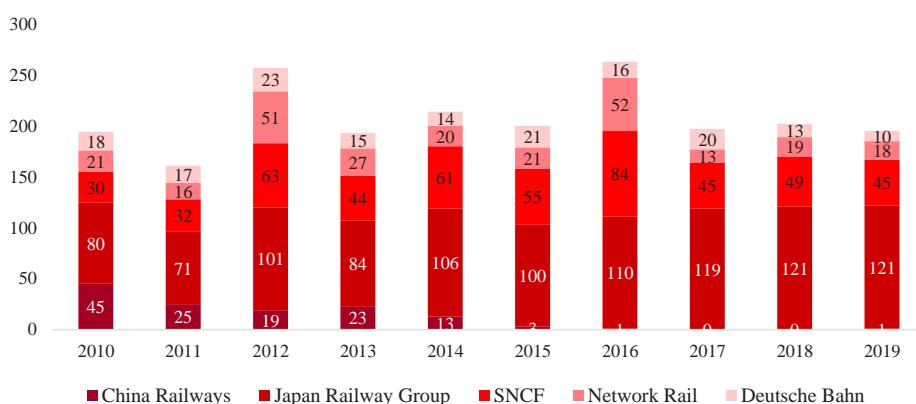
In order to identify significant areas of technological development, various tools can be used, including *bibliometric and patent analysis*, which allow, among other things, to identify emerging directions that are potentially critical for development of the entire industry, called «early signals». For instance, analysis of patent information can help to conduct multidimensional analysis of the groups of promising technologies, innovative products, and services, following many criteria, including

legal ones [1]. Key objectives of patent and bibliometric analysis comprise:

- determination of the scope, dynamics and directions of scientific and technological development of both the industry as a whole and individual companies;
- determination of leaders in the field of basic and applied research;
- identification of organizational and cooperative ties of industry companies with research organizations, universities and other commercial partners;
- identification of individual authors, employees and scientists making a significant contribution to development of the industry in certain areas of scientific and technological development;
- identification of «early signals» and potentially significant technological developments [2].

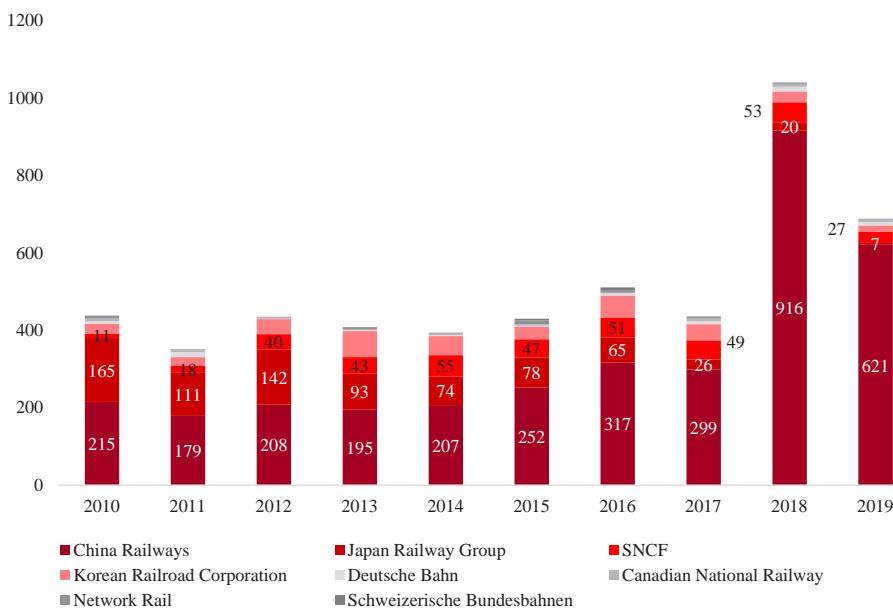
According to the concept of technology readiness levels (hereinafter – TRL), fundamental and applied research corresponds to the early stages of technology development: TRL1–TRL3 [3]. An analysis of scientific and technological activities of companies in the context of these TRL allows revealing implicit technological trends. The advantage of bibliometric and patent analysis is the ability to study implicit directions of scientific and technological development that are not reflected in open sources and published documents of corporate strategic planning [2].

Companies with a wide portfolio of publications and patents traditionally have their own developed scientific and technical unit. One of the indicators of activity and effectiveness



Pic. 1. Dynamics of publication activity of leading foreign railway companies in the period 2010–2019, publications per year. Source: Bibliographic and abstract database Scopus. [Electronic resource]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Last accessed 25.02.2020.





Pic. 2. Dynamics of patent activity of leading foreign railway companies in the period 2010–2019, patents per year. Source: World Intellectual Property Organization PatentScope search system for international and national patent funds. [Electronic resource]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Last accessed 29.07.2019.

of its functioning is the dynamics of publication and patent activity. The leaders of the railway industry in the field of publication activity are representatives of the Asia-Pacific region: China Railways (China), Korail (South Korea) and JR Group (Japan) (Pic. 1). French railway company SNCF is also characterized by high publication activity during 2010–2019.

The publication activity of most railway companies is characterized by stable positive dynamics, which are extrapolated as a whole to the situation in the railway industry. A significant predominance of Asian railway companies is also observed in the field of protection of the results of intellectual activity (patent activity).

An analysis of patent activity can be used to identify key indicators of technological change [5]. An analysis of patent activity allows one to identify various scientific and technological achievements, as well as existing and emerging areas of technological development of companies.

During the period 2010–2019 railway companies with a high level of patent activity comprised JR Group (Japan), SNCF (France) and Korail (South Korea) (Pic. 2).

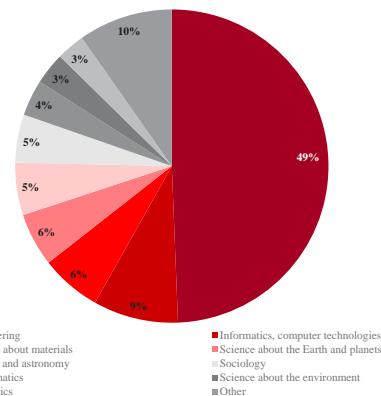
Patent analysis allows to build an understanding of R&D activity of companies in the aspect of technological areas and

solutions that are not directly visible to an external observer [5]. The bibliometric and patent analysis allows identifying relevant technological trends, and also provides an opportunity to suggest the future vector of development of critical technologies and solutions in the industry.

Consideration and analysis of the structure of publications and patents based on the principles of classification allows identifying individual areas that are of particular interest to companies. Pic. 3 shows the structure of publication activity of a number of leading railway companies in the context of research areas for the period 2010–2019.

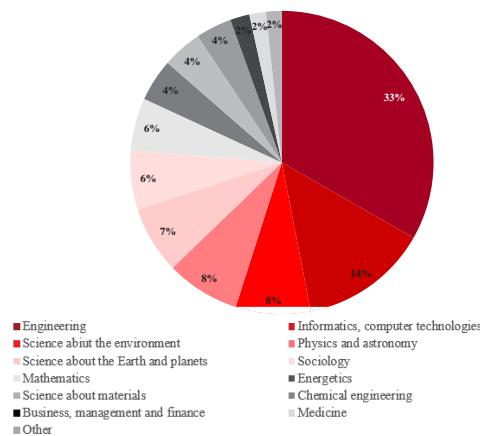
The most demanded topic of publications of leading foreign railway companies is engineering, which is generally characteristic of the industry under analysis. Also in the structure of publications researches related to computer science and computer technology, material science, earth and planet science, physics and astronomy are widespread.

After a closer examination of the structure of publication activity of the French railway company SNCF, it can be concluded that there is a high degree of compliance of its scientific



Pic. 3. Structure of publications of a number of leading foreign railway companies since 2010, %.

Source: Bibliographic and abstract database Scopus. [Electronic resource]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Last accessed 15.12.2019.



Pic. 4. Structure of publication activity of the company SNCF since 2010, %. Source: bibliographic and abstract database Scopus. [Electronic resource]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Last accessed 18.12.2019.

and technological priorities with industry-wide specifics (Pic. 4).

Most SNCF publications correlate with research in engineering, computer science and computer technology, environmental science, and physics and astronomy. These subject areas form about 66 % of all publications of the French railway company.

The most cited SNCF articles in recent years, most frequently have referred to studies investigating materials and soil (Table 1).

The most sought-after thematic areas of registered patents related to the railway industry are largely correlated with publications of leading railway companies. A similar fact suggests a relatively stable relationship between basic and applied research in the railway industry. In particular, this fact is

confirmed by the growing tendency to adopt initiatives aimed at full support of technological developments at all stages of the life cycle. An equally important factor explaining this conclusion is the traditional specifics of the railway industry and the relatively narrowly focused topics of scientific and technological development, primarily related to rolling stock, maintenance of infrastructure facilities and the railway track [6].

The most popular thematic areas of registered patents of a number of leading railway companies are (see Pic. 5):

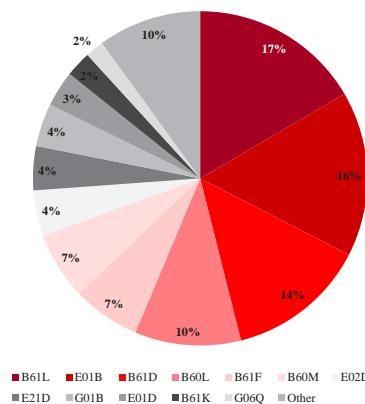
- organization and control of traffic on railways, railway safety equipment;
- track superstructure; means and devices for laying and repair of railway tracks of all types.



Table 1**The most cited articles of SNCF for the period 2016–2019**

No.	Article's title	Field	Publication year	Number of citations
1	Potential of vehicle-to-grid ancillary services considering the uncertainties in plug-in electric vehicle availability and service/localization limitations in distribution grids	Electric cars/Chargers (batteries)/Smart chargers	2016	31
2	Statistical evaluation of fatigue strength of double shear riveted connections and crack growth rates of materials from old bridges	Fatigue of materials/Models/S-N curves	2017	27
3	Effects of inclusion contents on resilient modulus and damping ratio of unsaturated track-bed materials	Railways/Soils	2017	22
4	Effects of water and fines contents on the resilient modulus of the interlayer soil of railway substructure	Railways/Soils	2016	19
5	Investigation on the mechanical behavior of track-bed materials at various contents of coarse grains	Construction and construction materials	2018	6

Source: Bibliographic and abstract database Scopus. [Electronic resource]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Last accessed 25.02.2020.



Pic. 5. Structure of registered patents of a number of leading foreign railway companies since 2010, %. Source: Official website of the patent database of the World Intellectual Property Organization. PatentScope. [Electronic resource]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Last accessed 27.07.2019.

The interpretation of the thematic areas of patents of the railway industry presented in Pic. 5 is given in Table 2.

Pic. 6 is a linear graph of patent activity of the German railway company Deutsche Bahn, which allows for identification of interdisciplinary patent relationships.

The vertices of the graph correspond to the thematic areas of patents presented in Table 3. The edges of the graph are interdisciplinary patent communications. Near the vertices of the graph, the strength of the thematic field is given, expressed through the number of company patents related to it.

According to the presented picture, the main areas of patenting are: transport infrastructure, instruments for measuring and testing, cargo

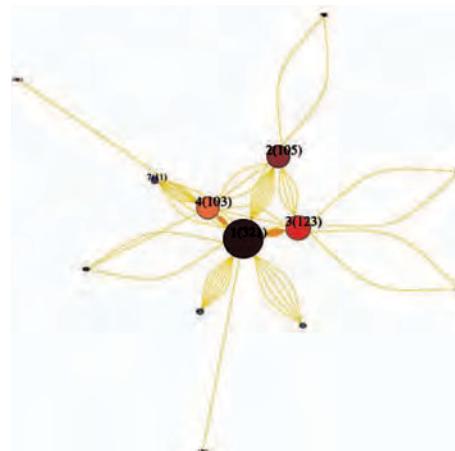
management. Active patenting takes place at the junction of the given subject areas, as well as at the junction of directions related to communications and land vehicles (railway transport).

In general, in the railway industry over the entire period of publication activity of companies, there is a trend of cooperation with universities, national and international research centers and laboratories, such cooperation is especially noticeable in the publications of SNCF and Japan Railway Group (Pic. 7). More than 60 % of publications and research carried out by leading railway companies are issued jointly with educational and research organizations. The SNCF, for instance, when publishing joint fundamental articles and conducting research cooperates in 87% cases with academia, universities, research centres and laboratories,

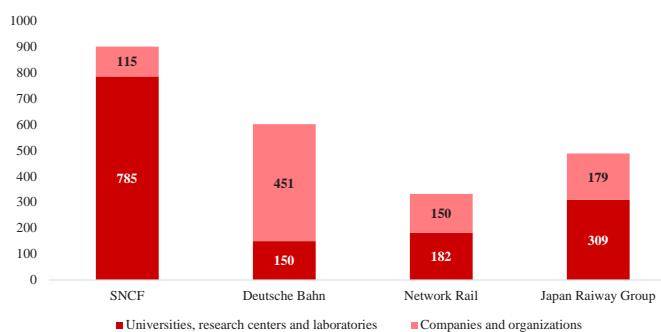
Table 2

International Patent Classification (IPC) of the most addressed patents in the railway industry

IPC	Decryption
B61L	Guiding railway traffic; ensuring the safety of railway traffic
B61D	Body details or kinds of railway vehicles
B61F	Rail vehicle suspensions, e.g. underframes, bogies or arrangements of wheel axles; Rail vehicles for use on tracks of different width; Preventing derailing of rail vehicles; Wheel guards, obstruction removers or the like for rail vehicles
B61K	Other auxiliary equipment for railways
E01B	Permanent way; Permanent-way tools; Machines for making railways of all kinds
B60L	Propulsion of electrically-propelled vehicles; Supplying electric power for auxiliary equipment of electrically-propelled vehicles; Electrodynamic brake systems for vehicles in general; Magnetic suspension or levitation for vehicles; Monitoring operating variables of electrically-propelled vehicles; Electric safety devices for electrically-propelled vehicles
B60M	Power supply lines, or devices along rails, for electrically-propelled vehicles
E02D	Foundations; Excavations; Embankments; Underground or underwater structures
E21D	Shafts; tunnels; Galleries; Large underground chambers
G01B	Measuring length, thickness or similar linear dimensions; Measuring angles; Measuring areas; Measuring irregularities of surfaces or contours
E01D	Bridges
G06Q	Data processing systems or methods, specially adapted for administrative, commercial, financial, managerial, supervisory or forecasting purposes; Systems or methods specially adapted for administrative, commercial, financial, managerial, supervisory or forecasting purposes, not otherwise provided



Pic. 6. Directions of patent activity of Deutsche Bahn for the period 1991–2018. Source: Official website of the patent database of the World Intellectual Property Organization. PatentScope. [Electronic resource]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Last accessed 27.07.2019.



Pic. 7. Structure of cooperation relationship and joint publications in the context of companies, publications for direction. Source: Bibliographic and abstract database Scopus. [Electronic resource]: <https://www.scopus.com/home.uri>. Last accessed 02.08.2019.



Table 3**Decryption of thematic areas of patents to Pic. 6**

Vertex	Meaning
1	Railway tracks
2	Design of roads, railway tracks and bridges
3	Measurement and testing
4	Vehicles in general
5	Signaling
6	Ground non-rail vehicles
7	Transportation, packaging and storage of fragile materials
8	Lifting and pulling mechanisms
9	Hand and portable power tools and manipulators
10	Construction
11	Heating, ventilation and their regulation
12	Aviation and astronautics
13	Locks, keys, window or door accessories, safes

Source: Official website of the patent database of the World Intellectual Property Organization. PatentScope. [Electronic resource]: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>. Last accessed 27.07.2019.

while Deutsche Bahn conducts 75 % of joint research together with market actors, different commercial companies, and organisations.

Due to the accelerated pace of technological development, railway companies are forced to regularly update the trends and dynamics of innovative activity of leading peer companies, as well as leaders of related industries in order to identify priority vectors of scientific and technological development and an approximate assessment of their own competencies and prospects.

The tools and methods of bibliometric and patent research used in the analysis of publication and patent activity allow obtaining up-to-date data illustrating the level of innovative development in the industry, tracking development trends, identifying early signals of know-how and identifying priority thematic areas of research. Such an analysis is especially important in the task of identifying areas of new knowledge and determining strategies for scientific and technological development, which is constantly facing organizations of any level in the current stage of scientific and technological development.

REFERENCES

1. Ena, O., Popov, N. Methodology of development of patent landscapes of the FIPS project office [*Metodologiya razrabotki patentnykh landshaftov proektnogo ofisa FIPS*]. Stankoinstrument, 2019, Iss. 1, pp. 28–35.

2. Gibson, E., Daim, T., Garces, E., Dabic, M. Technology Foresight: A Bibliometric Analysis to Identify Leading and Emerging Methods. Foresight and STI Governance, 2018, Vol. 12, Iss. 1, pp. 6-24. DOI: 10.17323/2500-2597.208.1.6.24.

3. Technology transfer. Guidelines for assessing maturity of technologies [*Transfer tekhnologii. Metodicheskie ukazaniya po otsenke urovnya zrelosti tekhnologii*]. National Standard of the Russian Federation. GOST R 58048-2017. Date of introduction: 2018-06-01.

4. Grigoryan, M. Patent analysis: strategic justification, application, advantages and limitations [*Patentnyi analiz: strategicheskoe obosnovanie, primenie, preimushchestva i granicheniya*]. Scientific and methodical electronic journal *Concept*, 2015, Vol. 30, pp. 341–345.

5. Grishina, S. Patent analysis as a tool for strategic diagnostics [*Patentnyi analiz kak instrument strategicheskoi diagnostiki*]. Scientific and Technical Sheets of St. Petersburg State Polytechnic University. *Economic sciences*, 2008, pp. 113–115

6. Zhelezov, M. M. Formation of priority areas of scientific research by the example of the parent organization of JSC Russian Railways in the field of development, creation, testing and implementation of equipment and technologies in railway transport (OJSC VNIIZhT) [*Formirovaniye prioritetnykh napravlenii nauchnykh issledovanii na primere golovnoi organizatsii OAO «RZD» v sfere razrabotki, sozdaniya, ispytani i vnedreniya tekhniki i tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte (OAO VNIIZhT)*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2013, Iss. 6, pp. 2–12.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the colleagues who took part in the studies, the results of which were used in preparation of this article: Beloshitky, Alexey V., master in Economics, deputy director of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU; Rakov, Dmitry A., master in Management, leading specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU; Smirnov, Roman G., master in Economics, leading specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU; Smirnova, Tatiana V., Ph.D. student at the department of statistics, leading economist of the economic faculty of Lomonosov MSU; Tereschenko, Igor A., master in Law, leading specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU; Trostyansky, Sergey S., master in Economics, deputy director of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU; Frolova, Anna D., bachelor of the 3rd year of study in Economics, specialist of the Center for big data storage and analysis of Lomonosov MSU.



МАШИНОСТРОЕНИЕ 38

Уменьшать вред от мусора
можно и на ходу.



ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТРАНСПОРТ 58

Можно ли ехать со скоростью
1000 км/ч по городу?

НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

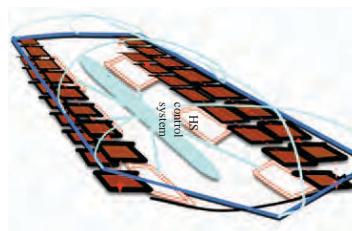


MECHANICAL ENGINEERING 48

*It is possible to diminish
pollution risks while riding.*

HIGH-SPEED TRANSPORT 66

*Is it feasible to travel through
the city at 1000 km/h?*





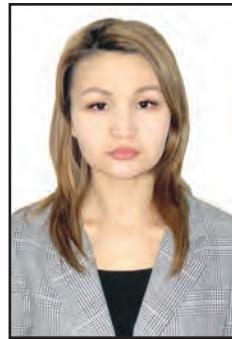
Разработка энергоэффективного роторно-инерционного устройства по брикетированию твёрдых бытовых отходов (ТБО)



Виталий САВИНКИН



Виктория КУЗНЕЦОВА



Айгуль АБИЛЬМАЖИНОВА

Савинкин Виталий Владимирович – Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан.

Кузнецова Виктория Николаевна – Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия.

Абильмажикова Айгуль Сериковна – Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Казахстан, Петропавловск*.

На сегодняшний день серьёзную проблему для всего мира представляют увеличивающиеся объёмы твёрдых бытовых отходов (ТБО). Решением данной проблемы является вовлечение вторичного сырья и отходов в производственный оборот. Важным этапом в утилизации ТБО являются трудоёмкие процессы его сбора и транспортировки. Агрегаты специализированного мусоровоза при перевозке мусора работают не энергоэффективно, только по функционалу прессования в бесформенную массу, не подлежащую сортировке и переработке. Предлагаемое внедрение агрегатов с совмещёнными функциями «погрузки–направления–измельчения–прессования–брикетирования» существенно снизит энергоёмкость процесса перевозки за счёт переработки и брикетирования мусора в момент его транспортировки. Научно-техническая проблема состоит в разработке методики технического переоснащения спецтехники повышенной эффективности при заданных номинальных энергетических и мощностных характеристиках машин. Решить данную проблему предложено совмещением рекуперативных систем с повторным использованием энергии сил тяжести собственных масс мусора. Цель работы заключается в разработке роторно-инерционного устройства с пониженной энергоёмкостью. Применены методы аналитико-статистического исследования модельного ряда спецтехники с анализом его технических характеристик, для разработки кинематической схемы

брикетирующего устройства произведён расчёт, основанный на методе моделирования структуры составных агрегатов. Моделирование производилось в программе SolidWorks в прикладном пакете Simulation.

Разработанные кинематические схемы узлов и агрегатов брикетирования и прессования мусора функционируют при номинальных мощностных характеристиках гидрооборудования за счёт распределения мощности привода по наиболее энергонагруженным операциям.

Представлено обоснование эффективности разработанного роторно-инерционного устройства по брикетированию ТБО. Оригинальность конструкции заключается в структурном расположении брикетирующего агрегата и механизма измельчения. Использование принципов инерционных моментов и сил тяжести собственной массы мусора позволило существенно (на 25 %) снизить энергоёмкость процесса прессования и формирования готового брикета. Использование механической энергии натяжки тел транспортёрной ленты и увеличивающейся при брикетировании массы рулона под собственным весом позволило снизить работу, затрачиваемую для формирования прессованного ТБО с 48000 кДж до 11970 кДж, удалось снизить объём спрессованного рулона, повысить коэффициент использования грузоподъёмности, снизить энергоёмкость процесса.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы (ТБО), утилизация ТБО, брикетирование, роторное устройство, энергоэффективность транспортировки.

*Информация об авторах:

Савинкин Виталий Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспорта и машиностроения Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, cavinink7@mail.ru.

Кузнецова Виктория Николаевна – доктор технических наук, профессор, декан факультета нефтегазовой и строительной техники Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, Омск, Россия, dissovetsibadi@bk.ru.

Абильмажикова Айгуль Сериковна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры транспорта и машиностроения Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, aika_89_89@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.01.2020, принята к публикации 28.02.2020.

For the English text of the article please see p. 48.

Рациональное использование ресурсного потенциала экономики развитых и развивающихся стран (Россия, Казахстан, Бельгия, Великобритания, Германия, Китай, Япония и т.д.) на основе снижения материоёмкости выпускаемой продукции, бережного расходования сырья, топлива, энергии, вовлечения в хозяйственный оборот отходов производства и вторичных ресурсов становится одной из актуальных проблем в современных условиях [1]. Бурное развитие научно-технического прогресса за последнее столетие привнесло в жизнь общества немало благ, которые способствовали повышению уровня и комфорта жизни, улучшению благосостояния людей.

Существуют годовые нормы накопления ТБО на человека, в России это примерно 225–250 килограммов в год. Для сравнения, в развитых европейских странах, таких как: Бельгия, Великобритания, Германия, Дания, Италия, Нидерланды, Швеция, Швейцария, Япония – этот показатель уже в 1995–1996 годах достигал 340–440 килограммов, в Австрии и Финляндии этот показатель выше 620 кг, а в США давно превысил 720 кг на человека в год [1, с. 91; 4, с. 134].

Для индустриально развитых стран серьёзную проблему представляют увеличивающиеся объёмы (до 200 млн м³) [6, с. 188–189] твёрдых бытовых отходов (ТБО). Исходя из этого, масса накапливаемых ТБО, даже по отдельным городам [4–6], не говоря о стране в целом, достигает гигантских величин, поэтому размещение и обезвреживание отходов – серьёзная практическая проблема.

Вовлечение вторичного сырья и отходов в производственный оборот обеспечивает также значительный экологический и социальный эффект: сокращается ущерб от загрязнения окружающей среды различными видами отходов, высвобождаются земли, занятые отвалами, появляется возможность создания дополнительных рабочих мест. В этой связи возникает необходимость исследования проблем эколого- и технико-экономической эффективности использования и переработки твёрдых бытовых отходов в современных условиях. Основные технологические трудности связаны с высокой энергоёмкостью пере-

работки отходов и вредным воздействием на окружающую среду, обеспечением необходимой чистоты конечных продуктов [6–8].

Следовательно, целью исследования является повышение производительности мусороуборочных комплексов путём синхронизации основных операций и разработки энергоэффективного роторно-инерционного устройства по брикетированию твёрдых бытовых отходов.

Из научных источников [9; 10] известны исследования и перспективные технологические разработки А. А. Бутко, В. М. Лебедева, Б. И. Левина, М. С. Шерстобитова, реализованные с позиций решения отдельных вопросов этой многогранной проблемы. Однако недостаточно полно учитываются особенности качественно-количественного состава ТБО, технологического оборудования, специфических региональных факторов, в частности, природно-климатической и социально-экономической ситуации, что исключает их непосредственное тиражирование.

Технические решения управления отходами формируют существенную часть расходов. При планировании системы управления отходами нужно рассмотреть два главных вопроса:

1. Какие методы переработки или захоронения отходов будут использованы?
2. Какая плотность населения и доминирующие виды домов (многоэтажная застройка или частные дома)?

Ответы на эти вопросы определят технологические решения сбора отходов, виды контейнеров и машин, логистику транспорта и т.д.

Чтобы обеспечить соответствующие санитарные условия, а также сбор, транспортировку и переработку отходов как вторичных ресурсов, бытовые отходы регулярно собирают от их производителей.

Система сбора бытовых отходов должна соответствовать некоторым основным условиям [11; 12]:

- должна обеспечить на определённой административной территории выполнение целей и задач, выдвинутых на государственном и региональном уровнях, требований защиты окружающей среды и здоровья, также и других местных норм и правил, относящихся к системе управления отходами;





Рис. 1. Спектр систем сбора [13].



Рис. 2. Транспортировочные машины для сортированных отходов EMBED PBrush [14].



Рис. 3. Многосекционный транспорт для перевозки отходов [14].

- должна гарантировать выполнение выдвинутых требований обслуживания при наиболее низких расходах;
- должна обеспечить тесное сотрудничество государства, самоуправления и частного сектора для обеспечения достижения выдвинутых целей;
- должна быть довольно эластичной, чтобы меняться и выполнять также требования дальнейших периодов использования;
- должна способствовать уменьшению отходов и их использованию как вторичного ресурса.



Рис. 4. Транспорт для сбора отходов средней грузоподъёмности с погружением сзади [14].



Рис. 5. Мусоровоз модели МКМ-2 БК [14].

Существует несколько видов сбора отходов [11; 12]. Однако доминируют два основных: так называемые «принеси и положи» (стационарные системы контейнеров) и «оставь на краю тротуара» (сбор заупакованных отходов по графику в определённое время). Эти системы отличаются плотностью места сбора, их расположением по отношению к пользователю и степенью использования транспорта (рис. 1).

В зависимости от вида и объёма собираемых сортированных отходов используют различные типы контейнеров и транспортировочных машин.

Для непосредственного сбора отходов и перевозки на небольшие расстояния в густонаселённых районах используют мусороуборочные машины средней грузоподъёмности, с оптимальным объёмом 15–20 м³ со степенью сжатия 1:3 (рис. 4). В свою очередь, в редконаселённых деревенских районах более экономичны небольшие машины с объёмом 7,5–10 м³.

Выбор мусороуборочной машины зависит от вида отходов и условий сбора. Мусороуборочные машины отличаются видом шасси, конструкцией, а также подъёмником и устройством прессования. Мусороуборочные маши-

ны (рис. 5) в основном состоят из двух частей – тягача (кабина шофера и шасси), а также уплотнителя и накопителя отходов, размер которого для разных типов мусороуборочных машин меняется от 5 м³ до 23 м³. Можно привести следующие примеры:

1. Технические характеристики: базовое шасси – ЗИЛ-433362; вместимость кузова – 9,5 м³; масса спецоборудования – 2,4 т; масса вывозимого груза – 4,350 т; коэффициент уплотнения мусора – 2–3; грузоподъёмность манипулятора – 500 кг; давление в гидросистеме – 18 МПа; габариты – 7200 x 2422 x 3300 мм; модель – ЗИЛ-508.10.

2. Технические характеристики: тип базового шасси – МАЗ-5337; вместимость кузова – 18,0 м³; масса спецоборудования – 3,7 т; грузоподъёмность манипулятора – 0,7 т; масса вывозимого мусора – 7,6 т; давление в гидросистеме – 18,0 МПа; коэффициент уплотнения мусора – 2–3.

Плотность отходов и степень прессования обусловливают размеры и вид мусороуборочных машин. Чтобы уменьшить затраты транспорта, техника сбора отходов должна быть оборудована прессом. Контейнеры, мусороуборочные машины и дру-



Рис. 6. Мусоровоз МКМ-35 БК [14].

гая инфраструктура, которая предназначена для местностей с малой степенью плотности отходов, может быть не приспособлена для более тяжёлых отходов. Доступность мест сбора отходов также влияет на выбор мусороуборочных машин. Таким образом, важным этапом в утилизации ТБО является его сбор и транспортировка.

Энергия и материальные затраты при транспортировке мусора неоправданно завышены. Существующая специальная техника по транспортировке ТБО порядка 65 % энергии (от силовой установки и гидропривода) затрачивает на перемещение собственной массы [13]. С целью эффективной транспортировки мусора необходимо решить техническую задачу по системному использованию силовых агрегатов специальной техники в процессе её движения от контейнера до полигона. Обоснованный выбор конструктивно-технологических характеристик рабочего оборудования мусоровоза, характеризующих оценку эффективности работы устройства и выявление конструктивных недостатков, реализован методом сравнительного анализа существующих патентов.

Для решения поставленной задачи проработан патентный поиск существующих механизмов по переработке сырья и его брикетированию на стадии сбора и транспортировки. Известно устройство для брикетирования органических бытовых отходов, включающее камеру и гидравлический пресс с прессующей плитой, гидроцилиндр пресса установлен вертикально в нижней части устройства под прессующей плитой (RU67507 U1, МПК 6 C25C122, опубл. 27.10.2007 г.) [15]. Известен пресс для брикетирования кормов, содержащий бункер, корпус с выгрузным окном и ротор

с установленными на его поверхности лопatkами, размещёнными в корпусе с образованием между ними кольцевой полости (RU2347679 C1, МПК B30B11/14, опубл. 27.03.2009 г.) [16; 17]. Недостатками вышеуказанных устройств-аналогов являются невозможность их использования для брикетирования твёрдых бытовых отходов, сложность и высокая металлоёмкость их конструкции. Наличие прессовой плиты существенно снижает коэффициент использования грузоподъёмности.

Исследование ключевых факторов, влияющих на производительность машины и энергоёмкость процессов, позволило выявить недостатки в формуле изобретения патента RU67507 «Устройство для брикетирования твёрдых бытовых отходов» (опубл. 27.10.2007 г.). Разработка роторно-инерционного устройства по брикетированию ТБО основана на сочетании комплекса агрегатов по измельчению и прессованию мусора. За основу режущего и измельчающего устройства взят функциональный прототип, используемый в сельском хозяйстве – рулонный пресс-подборщик фирмы VARIANT 385-360. Устройство предназначено для сбора сена из валков с образованием рулонов прессованного сена.

Общий вид разработанного в программе SolidWorks прикладного пакета Simulation роторно-инерционного устройства представлен на рис. 7. При разработке конструкционной системы брикетирования принимались во внимание задачи функциональности спецтехники и её оборудования. Оптимальные пределы варьирования технических характеристик устройства определены методом силового расчёта при исследовании сил и моментов, создаваемых натяжителем, подающим ротором и прессующей лентой.

Разработанное роторно-инерционное устройство относится к устройствам сбора, измельчения и прессования ТБО. Прессовальная система с ремнями, армироваными тканью (рис. 8), и с поперечными планками обеспечивает более высокую плотность прессования и пропускную способность, плавный ход, снижение износа и затрат на техническое обслуживание.

Комбинация резинотканевых ремней и поперечных планок идеальна для высочайшей плотности прессования [18]. Бла-

Таблица 1

Анализ технических характеристик разрабатываемого устройства

Наименование	Достоинства	Недостатки
1. Разрабатываемое роторно-инерционное устройство для брикетирования бытового мусора перед утилизацией его на полигон	Позволяет произвести первичную обработку ТБО, т.е. измельчение и прессование Снижается масса спецоборудования мусоровоза за счёт снятия толкающей (прессующей) плиты и разрыхлителя	Переработка несортированных отходов может привести к поломке устройства Необходимо произвести полное переоборудование кузова
2. Рулонный пресс-подборщик фирмы Variant, модель 385-360	Позволяет произвести сбор сена с образованием рулона плотно спрессованного сена	Не подходит для переработки других материалов
3. Рулонный пресс-подборщик фирмы Rollant, модель 355	Позволяет произвести прессование и обёртывание зерновых культур	Большая трудоёмкость в обслуживании и большая металлоёмкость

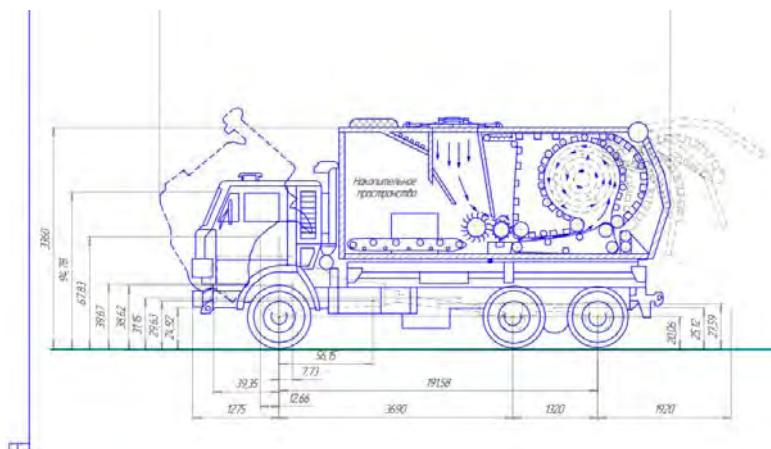


Рис. 7. Схема общего вида брикетирующего роторно-инерционного устройства на базе шасси КамАЗ КО-415 [авторская модель].



Рис. 8. Резинотканевые ремни с попечерными планками [17].

годаря высокому натяжению ремней обеспечивается надёжная динамичная передача приводного усилия. Высокая степень допустимых нагрузок обеспечивается слоями резины и ткани: вначале они сплетаются в сплошной ремень без соединительных элементов, а затем вулканизируются. В результате получается

структурата, состоящая из высокопрочных тканевых прослоек из полиэфирного волокна и полиамида с наваренными с обеих сторон слоями резины. Двустороннее профилирование ремней делает их чрезвычайно эластичными и прочными, гарантуя очень большой срок службы. Такая технология обеспечивает способ-





Рис. 9. Режущий ротор брикетирующего устройства [17].

ность выдерживать высокие нагрузки в любом месте.

Роторно-инерционное устройство состоит из прессующего барабана, нижнего транспортёра, рабочей петли, верхнего натяжного ролика с холостой петлей и датчиком включения вязального устройства, ротора с четырьмя рядами зубцов из восьмимиллиметровой борсодержащей стали для оптимального захвата ТБО, режущего ротора, рассчитанного на высокие нагрузки, с 30 ножами из двойной закалённой стали и двусторонней защитой ножей. Режущий и подающий ротор диаметром 550 мм имеет особенно высокую «поглощающую способность» (рис. 9). Расположенные V-образно зубья бесперебойно протягивают ТБО через ножи. Резание с протягиванием снижает энергозатраты и повышает плавность хода. Волнообраз-

ная форма лезвия ножей обеспечивает остроту ножей в течение длительного периода времени. Двойные зубья ротора непрерывно протягивают загружаемый мусор через ряд ножей резанья. Благодаря незначительному расстоянию между ножами и двойными зубьями, отклонение материала исключено. Также роторно-инерционное устройство состоит из вязального аппарата, гидромотора, направляющей воронки и дополнительных валов, которые создают дополнительный прессующий эффект.

После разработки отдельных элементов устройства важной задачей остаётся формирование кинематической схемы данного комплекса, в которой учитываются силовые и мощностные характеристики приводных агрегатов. Роторно-инерционное устройство состоит из гидромотора, приводящего в действие сплошной план-

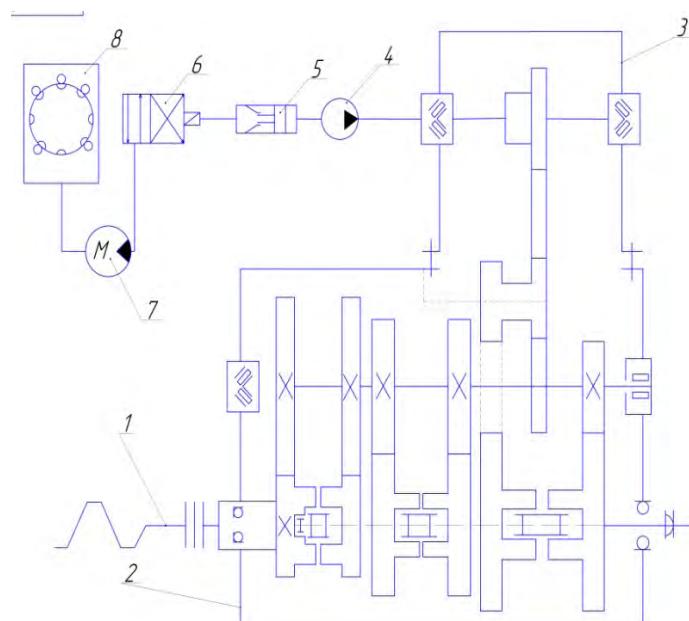


Рис. 10. Кинематическая схема брикетирующего устройства:
1 – двигатель, 2 – коробка передач, 3 – коробка отбора мощности, 4 – насос 310.256.04У1, 5 – масляный фильтр, 6 – гидрораспределитель, 7 – гидромотор, 8 – роторно-инерционное устройство [авторская схема].

чатель транспортёр с прорезиненными ремнями, который вращает и формует брикетируемый рулон устойчивой формы. Загрузка твёрдых бытовых отходов в кузов производится при помощи манипулятора через люк в крыше кузова (пульт управления рабочими органами расположен с правой стороны автомобиля), затем захватывающим ротором ТБО подаётся на режущий ротор с ножами.

При включении гидромотора (7) начинают вращаться захватывающий и режущий роторы, которые подают измельчённый мусор на нижний транспортер (8). На нижнем транспортере ТБО предварительно прессуется прессующим барабаном и по транспортерной ленте подаётся в рабочую петлю. Рабочая петля изготовлена из ремней, армированных тканью, с поперечными планками. Данный материал обеспечивает более высокую плотность прессования и пропускную способность. После измельчения ТБО передаётся в зазор между прессующим барабаном и нижним транспортером. Здесь ТБО подпрессовывается, поступает в рабочую петлю, где скручивается в рулон и окончательно прессуется за счёт эффекта скручивания. Когда рулон достигнет диаметра примерно 1,4 метра, а рабочая петля увеличится так, что холостая петля станет минимальной, её датчик введёт в действие вязальный аппарат. Вязальный аппарат обвязывает рулон выбранным материалом обвязки (шпагатом, плёнкой, сеткой). При доставке спрессованного рулона на полигон водитель при помощи пульта управления поднимет кузов, откроет задний борт и готовый рулон упадёт на землю. Затем следует опустить кузов, задний борт закрыть, тогда рабочая петля возвратится в начальное положение и процесс прессования можно повторить [18].

Для оценки эффективности предложенных мероприятий произведём расчёт эксплуатационно-технических показателей. Масса ТБО, перевозимого на мусоровозе КО-440-7 в стандартной комплектации в виде несортированного мусора, составляет две тонны. Фактическая масса всего объёма перевозимого мусора при классическом исполнении КО-440-7 составляет 1,38 тонны. Масса рулона, спрессованного на разрабатываемом устройстве, составляет 1,87 тонны.

Массу спрессованного ТБО определим по формуле [18]:

$$m = V \cdot q_{upl}, \quad (1)$$

где V – объём спрессованного ТБО (для стандартного оборудования равен 16 м^3 [18, с. 26]);

q_{upl}^{stand} – коэффициент уплотнения ТБО на стандартном оборудовании, равен $0,136 \text{ т}/\text{м}^3$ [18, с. 27];

$q_{upl}^{разраб}$ – коэффициент уплотнения ТБО на разрабатываемом устройстве, равен $0,25 \text{ т}/\text{м}^3$ [18, с. 27].

Объём спрессованного рулона на разрабатываемом оборудовании равен:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (2)$$

где R – радиус спрессованного рулона ТБО; H – высота рулона.

За счёт установки нового оборудования масса перевозимых ТБО увеличивается на 490 кг.

Исходными данными для выбора гидромотора является нагрузочный момент M_c и пределы изменения частоты вращения вала гидромотора. В зависимости от заданных параметров и паспортных данных выбирают тип гидромотора. Причём необходимо, чтобы момент M_r , развиваемый гидромотором, был больше нагрузочного момента примерно на 5–10 %, а частота вращения вала гидромотора обеспечивала заданные значения. После выбора типо-размера гидромотора по максимальной частоте вращения можно рассчитать расход рабочей жидкости Q_r , потребляемой гидромотором, по зависимости [20]:

$$Q_r = q_r \cdot \frac{n_{rmax}}{\eta_{0r}}, \quad (3)$$

где q_r – рабочий объём гидромотора, м^3 ;

n_{rmax} – максимальная частота вращения гидромотора, мин;

η_{0r} – КПД гидромотора.

Перепад давления в гидромоторе при нагрузочном моменте M_c определяется по формуле:

$$\Delta p_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_c \cdot \eta_{0r}}{q_r \cdot \eta_{общ}}. \quad (4)$$

Давление перед гидромотором можно представить в виде суммы перепада давления на гидромоторе и потерь давления в сливной гидролинии:

$$p_r = \Delta p_r + \Delta p_c. \quad (5)$$



Таблица 2

Сравнительные показатели эффективности разработки

Наименование параметра	Стандартный вариант		Разработанный вариант		Формула расчёта
Масса спрессованного ТБО, т	$m_{обор}^{станд}$	2,176	$m_{разраб}^{станд}$	3,077	$m = V \cdot q_{упл}$
Объём спрессованного рулона, м ³	$V_{станд}$	16	$V_{разраб}$	12,31	$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$
Работа, затрачиваемая для формирования прессованного ТБО, кДж	$A_{станд}$	48 000	$A_{разраб}$	11970	$A = F \cdot b$
Время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами, мин	$t_{маневра}$	3–4	– // –	3–4	Σt_i
	$t_{загрузки}$	10–12	– // –	15–18	

Потери давления в сливной гидролинии Δp_c обычно не превышают 0,2–0,3 МПа.

По полученным значениям Q_r и p_r выбираем гидромотор. Выбор гидромотора для разрабатываемого роторно-инерционного устройства осуществляён с учётом исходных данных: нагружочный момент на валу гидромотора M_c составляет 8000 Н · м; частота вращения изменяется в пределах $n_r = 10\text{--}80$ мин⁻¹.

Из табл. 2 [18] выбираем радиально-поршневой гидромотор типа МР-6,3/10 с номинальным развиваемым моментом $M_r = 9520$ Н · м, при перепаде давления $\Delta p_r = 10$ МПа, с рабочим объёмом $q_r = 6300$ см³/об и $\eta_{0r} = 0,93$.

Расход рабочей жидкости, потребляемой гидромотором, составит $Q_r \approx 9,02 \cdot 10^{-3}$ м³/с, перепад давления Δp_r при $M_c = 8000$ Н · м составит 8,35 МПа, учитывая давление на сливе $\Delta p_c = 0,2$ МПа, давление перед гидромотором $p_r = 8,55$ МПа.

Таким образом, расход гидромотора равен $9,02 \cdot 10^{-3}$ м³/с и давление перед гидромотором $p_r = 8,55$ МПа.

Как видно из расчётов, для работы гидромотора и всего приспособления необходимо давление в 8,55 МПа, а давление, необходимое для работы прессующей плиты, должно составлять не менее 12 МПа [19]. Следовательно, при установке разрабатываемого устройства на мусоровоз давление в гидросистеме можно уменьшить в 1,5 раза, и нагрузки на рабочие органы спецоборудования значительно уменьшаются.

Работа, затрачиваемая для формирования прессованного ТБО, равна:

$$A_i = F \cdot b, \quad (6)$$

где F – сила, необходимая для прессования, $F = P$;

b – длина прессованного ТБО.

Работа, затрачиваемая на формирование рулона на проектируемом оборудовании в четыре раза меньше, следовательно, износ прессующего и гидравлического оборудования значительно уменьшается.

Суммарное время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами при работе со стандартным оборудованием составляет 18 мин:

До внедрения:

- время, затраченное на манёвр $t_{маневра} = 3\text{--}4$ мин;
- время, затраченное на загрузку $t_{загрузки} = 12\text{--}14$ мин.

После внедрения брикетирующего устройства:

- время, затраченное на манёвр $t_{маневра} = 3\text{--}4$ мин;
- время, затраченное на загрузку, снизилось на 5 минут, что составило $t_{загрузки} = 9$ мин.

Таким образом, суммарное время обслуживания одной контейнерной площадки с пятью контейнерами при работе с разрабатываемым роторно-инерционным устройством снизилось до 13 мин.

Анализируя результаты первичного расчёта и сравнивая эксплуатационные и технологические показатели рассматриваемой и предложенной модели транспортной техники, можно косвенно оценить эффективность предложенных мероприятий. Например, при классической схеме компоновки (рис. 6) механизма прессования в МКМ-35 БК агрегат сжимает объём мусора $V_{станд} = 16$ м³ до массы прессования

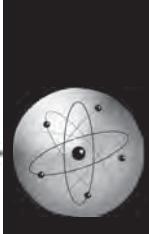
$m_{\text{обор}}^{\text{станд}} = 2,176$ т. В данном случае технические возможности модели МКМ-35 БК ограничены. Низкие значения прессования не позволяют сжать объём мусора до максимальных значений, обеспечивающих стопроцентное использование грузоподъёмности специальной техники. В итоге при полностью заполненном объёме мусоровоза его грузоподъёмность использована только на 70 %. Применив предложенную схему роторно-инерционного прессования, удалось снизить объём спрессованного рулона с 16 до 12,3 м³. Такой подход позволил формировать более плотные брикеты мусора, увеличив массу прессования $m_{\text{устр}}^{\text{разраб}}$ с 2 до 3 т, и повысить коэффициент использования грузоподъёмности γ_g с 0,69 до 0,93. Коэффициент использования грузоподъёмности γ_g определяется как отношение номинальной грузоподъёмности 2 т к фактической после модернизации конструкции (1,87 т). Что указывает на увеличение производительности одной машины на 26,3 %.

Оригинальность конструкции заключается в структурном расположении брикетирующего агрегата и механизма измельчения. Использование принципов инерционных моментов M_i и сил тяжести собственной массы мусора позволило существенно (на 25 %) снизить энергоёмкость процесса. Так, применение принципа использования механической энергии натяжителей транспортёрной ленты и увеличивающейся при брикетировании массы рулона под собственным весом позволило снизить работу, затрачиваемую для формирования прессованного ТБО, с $A_{\text{станд}} = 48000$ кДж до $A_{\text{разраб}} = 11970$ кДж.

ЛИТЕРАТУРА

- Мубаракшина Ф. Д., Гусева А. А. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом. – Известия КГАСУ. – № 4 (18) 2011. – С. 91–99.
- Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1998 Update. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 530-R-99-021, July 1999.
- The Role of Recycling in Integrated Solid Waste Management to the Year 2000. Keep America Beautiful, Inc. 1994.72. «Trends and Forecasts: Retail Sales», U.S. Industrial Outlook 1994, U.S. Department of Commerce.
- Пашали А. М., Абдрахманова А. З. Сравнительный анализ российского и зарубежного опыта утилизации твёрдых бытовых отходов и разработка средств повышения экологической культуры // Юный учёный. – 2019. – № 8. – С. 131–135. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/young/archive/28/1751/>. Доступ 02.02.2020.
- Пушкарева А. С. Эффективные методы переработки мусора: Швеция // Молодой учёный. – 2019. – № 2. – С. 77–78.
- Павленков М. Н., Воронин П. М. Организационно-экономические проблемы и направления утилизации отходов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2013. – № 3. – С. 188–192.
- Mbuligwe, S. E. Institutional solid waste management practices in developing countries: A case study of three academic institutions in Tanzania, Resources, Conservation and Recycling, 2002, Vol. 35, No. 3, pp. 131–146.
- Slack, R. J., Gronow, J. R., Hall, D. H., Voulvoulis, N. Household hazardous waste disposal to landfill: using LandSim to model leachate migration. Environmental Pollution, 2007, Vol. 146, No. 2, pp. 501–509.
- Шерстобитов М. С., Лебедев В. М. Способы утилизации твёрдых бытовых отходов // Известия Трансибиба. – 2011. – № 3 (7). – С. 79–84.
- Левин Б. И., Бутко А. А. Использование отходов в качестве топлива путем экологически чистого обезвреживания с выработкой энергии (применительно к городскому хозяйству Москвы). – М.: Прима-Пресс, 2005. – 128 с.
- Малыгин А. С. Разработка комплексной системы управления ТБО в жилой среде // Вестник АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – 2010. – № 1–2. – С. 140–145.
- Никогосов Х., Бочкова М., Мальцева С. Раздельный сбор твёрдых бытовых отходов // Коммуналщик. – 2010. – № 11. – С. 20–21.
- Манаев К. И., Мельников А. Н. Оптимизация автомобильного и контейнерного парка при сборе и вывозе твёрдых бытовых отходов // Вестник ОГУ. – 2014. – № 10 (171). – С. 130–134.
- Мусоровозы повышенной производительности с боковой загрузкой. Центр «КОММАШ». [Электронный ресурс]: http://www.sweeper.ru/musorovozy_s_bokovoy_zagruzkoj/rarz_enhanced_perform/. Доступ 02.02.2020.
- Галкин Г. Л., Слузов В. Ф., Паутов Е. К., Назаров В. Ю., Иванов С. А., Тонков С. М. Патент SU № 1814618 A3 «Брикетирующее устройство». Патентообладатель: государственный ивановский научно-производственный центр «КАРДАТЕКС». Бюл. № 17 от 07.05.1993 г.
- Старших В. В., Максимов Е. А. Патент RU № 2507242 C1 «Способ брикетирования отходов животного и птичьего происхождения и устройство для его осуществления». Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинская государственная агронженерная академия». Бюл. № 5 от 20.02.2014 г.
- Юнчик А. П. Патент RU № 2528376 C2 РФ «Способ изготовления брикетов из измельчённой соломы и устройство для изготовления брикетов». Патентообладатель: Юнчик А. П. Бюл. № 26 от 20.09.2014 г.
- Ризаева Ю. Н., Корчагина Т. В., Папонова А. И. Модель поиска эффективного функционирования автотранспортной социоприродноэкономической системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 2. – С. 25–33.
- Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн. 2 / Под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978.
- ОАО «Арзамасский завод коммунального машиностроения». Мусоровоз КО-440-7. Руководство по эксплуатации спецоборудования, 2006.





Development of an Energy-Efficient Rotary Inertia Device for Briquetting Household Solid Waste (HSW)



Vitaly V. SAVINKIN



Victoria N. KUZNETSOVA



Aigul S. ABILMAZHINOVA

*Savinkin, Vitaly V., North Kazakhstan State University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan.
Kuznetsova, Victoria N., Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia.
Abilmazhinova, Aigul S., North Kazakhstan State University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan*.*

ABSTRACT

Today, increasing volumes of household solid waste (HSW) pose a serious problem throughout the world. The solution to this problem is involvement of secondary raw materials and waste in production. The disposal of HSW includes laborious stages of its collection and transportation. Aggregates of the garbage truck work inefficiently, only pressing HSW into a shapeless mass, not subject to sorting and processing. The suggested re-equipment of a special vehicle with aggregates with the combined functions of «loading-forwarding-grinding-pressing-briquetting» will significantly reduce the energy consumption of the transportation process by providing simultaneous processing and briquetting of garbage at the time of its transportation. A scientific and technical problem arises in development of a technique for technical re-equipment of high-performance special equipment with given nominal energy and power characteristics of the machines. It was proposed to solve this problem by combining recuperative systems with reuse of the energy of gravity of the own mass of garbage. Thus, the objective of the work is to develop a rotor-inertial device with reduced energy intensity. Methods of analytical and statistical research of the model range of special equipment with an analysis of its technical characteristics have been

applied. To solve the problem of developing a kinematic diagram of a briquetting device, a calculation was performed based on the method of modeling the structure of composite aggregates. Modeling was performed in SolidWorks program in Simulation application package.

The developed kinematic diagrams of units and aggregates for briquetting and pressing garbage operate at rated power characteristics of hydraulic equipment achieved due to distribution of drive power among the most energy-loaded operations.

The article presents the rationale for effectiveness of the developed rotary-inertia device for briquetting HSW. The originality of the design lies in the structural arrangement of the briquetting unit and the grinding mechanism. The use of the principles of inertial moments and gravity of own mass of garbage allowed us to significantly (by 25 %) reduce the energy consumption of the pressing process and formation of the finished briquette. The use of mechanical energy of the conveyor belt tensioners and of the mass of the roll increased with briquetting under its own weight, allowed to reduce the work spent to form compacted HSW from 48000 kJ to 11970 kJ, to reduce the volume of the pressed roll, to increase the utilization rate of load carrying capacity, to reduce the energy intensity of the process.

Keywords: household solid waste, municipal solid waste, HSW disposal, briquetting, rotary device, transportation energy efficiency.

*Information about the authors:

Savinkin, Vitaly V. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Transport Construction and Mechanical Engineering of North Kazakhstan State University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan, cavinkin7@mail.ru.
Kuznetsova, Victoria N. – D.Sc. (Eng), Professor, Dean of the Department of Oil and Gas and Construction Engineering of Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia, dissovetsibadi@bk.ru.
Abilmazhinova, Aigul S. – master in engineering, Senior Lecturer at the Department of Transport Construction and Mechanical Engineering of North Kazakhstan State University named after Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan, aika_89_89@mail.ru.

Article received 16.01.2020, accepted 28.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 38.

The rational use of the resource potential of the economies of developed and developing countries (Russia, Kazakhstan, Belgium, Great Britain, Germany, China, Japan, etc.) based on reduction of material consumption for goods manufacturing, careful consumption of raw materials, fuel, energy, and involvement of production waste and secondary resources in the economy turnover is becoming one of the urgent problems under modern conditions [1]. The rapid development of scientific and technological progress over the past century has brought many benefits to society that have contributed to raising the level and comfort of life, improving the well-being of people.

There are annual norms for accumulation of household (or municipal) solid waste (HSW) per person, in Russia it is approximately 225–250 kg per year. For comparison, in developed European countries, such as Belgium, Great Britain, Germany, Denmark, Italy, the Netherlands, Sweden, Switzerland, and Japan, this figure reached 340–440 kg already in 1995–1996; in Austria and Finland this figure is higher than 620 kg, and in the USA it has long exceeded 720 kg per person per year [1, p. 91; 4, p. 134].

For industrialized countries, increasing volumes (up to 200 million m³) of HSW pose a serious problem [6, pp. 188–189]. Based on this, the mass of HSW accumulated, even in selected cities [4–6], not to mention the country as a whole, reaches gigantic quantities, therefore, disposal and neutralization of waste is a serious practical problem.

The involvement of secondary raw materials and waste in production also provides a significant environmental and social effect: the damage from environmental pollution by various types of waste is reduced, land occupied by dumps is freed up, and there is the possibility of creating additional jobs. In this regard, there is a need to study the problems of environmental, technical and economic efficiency of use and processing of household solid waste in modern conditions. The main technological difficulties are associated with high energy intensity of waste processing and its harmful effects on the environment, with ensuring necessary purity of the final products [6–8].

Therefore, the objective of the study is to increase productivity of garbage complexes by

synchronizing basic operations and developing an energy-efficient rotor-inertia device for briquetting household solid waste.

Scientific sources [9; 10] comprise research and promising technological developments of A. A. Butko, V. M. Lebedev, B. I. Levin, M. S. Sherstobitov, implemented from the standpoint of solving individual issues of this multifaceted problem. However, the characteristics of the qualitative and quantitative composition of HSW, technological equipment, specific regional factors, in particular, the climatic and socio-economic situation, which excludes their direct replication, are not fully taken into account.

Technical solutions for waste management form a significant part of costs. When planning a waste management system, two main issues need to be considered:

1. What methods of processing or landfill will be used?
2. What is the population density and dominant types of houses (multi-storey buildings or private houses)?

The answers to these questions will determine the technological solutions for waste collection, types of containers and machines, transport logistics, etc.

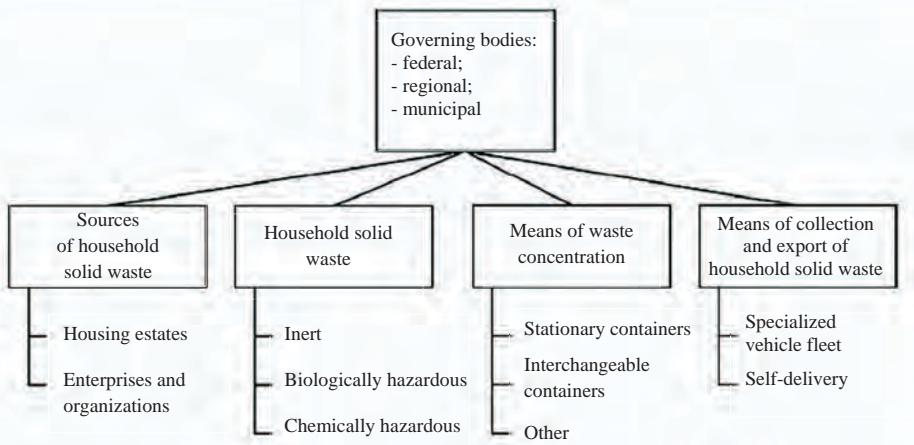
To ensure appropriate sanitary conditions, as well as collection, transportation and processing of waste as secondary resources, household waste is regularly collected from sites of its generation.

The household waste collection system must meet several basic conditions [11; 12]:

- should ensure in a certain administrative territory respect of goals and objectives set at the state and regional levels, environmental and health requirements, as well as other local norms and rules related to the waste management system;
- should guarantee compliance with advanced service requirements at the lowest cost;
- should ensure close cooperation between the state, local government and the private sector to ensure achievement of the set goals;
- should be quite flexible to change and able to meet the requirements of further periods of use;
- should contribute to reduction of waste and to its use as of a recycled resource.

There are several types of waste collection [11; 12]. However, two main ones dominate: the so-called «bring and lay» (stationary container





Pic. 1. Range of collection systems [13].



Pic. 2. EMBED PBrush sorted waste transporting vehicles [14].



Pic. 3. Multisectinal transport for waste transportation [14].

systems) and «leave at the edge of the sidewalk» (collection of packed waste according to the schedule at a certain time). These systems are distinguished by density of the collection sites, their location with respect to the user and the degree of transport use (Pic. 1).

Depending on the type and volume of collected and sorted waste, various types of containers and transportation machines are used.

For direct collection of waste and its transportation over short distances, densely



Pic. 4. Vehicle for collection of waste of medium capacity with rear loading [14].



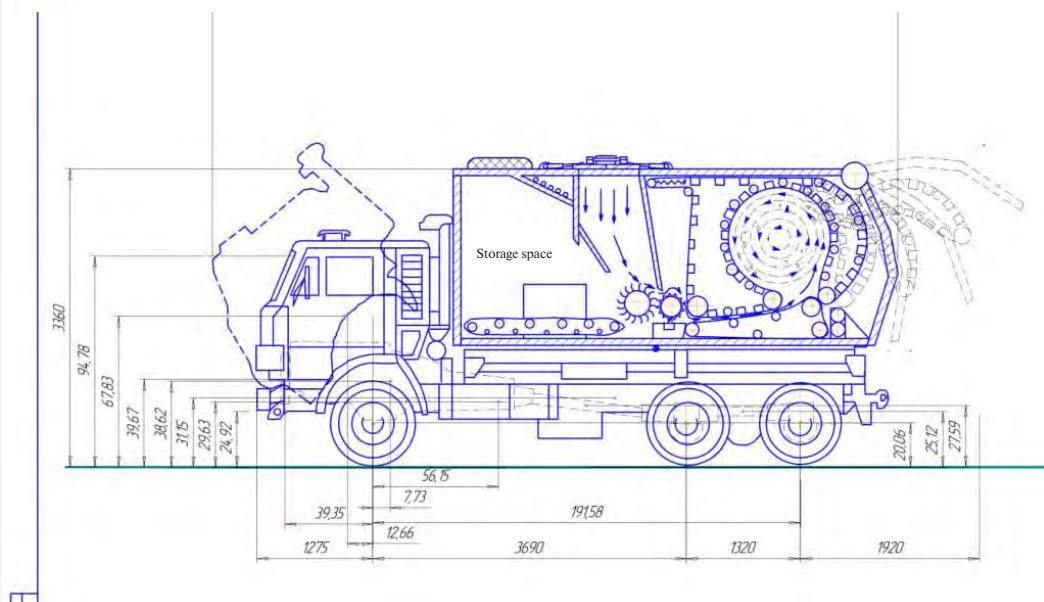
Pic. 5. Garbage truck model MKM-2 BK [14].



Pic. 6. Garbage truck MKM-35 BK [14].

Table 1**Analysis of the technical characteristics of the developed device**

Name	Advantages	Disadvantages
1. The developed rotary-inertial device for briquetting household waste before disposal at the landfill	Allows for the initial processing of HSW, i.e. grinding and pressing The mass of special equipment for the garbage truck is reduced due to removal of the pushing (pressing) plate and disintegrator	Recycling unsorted waste can damage the device It is necessary to make a complete re-equipment of the body
2. Variant round baler, model 385-360	Allows collecting hay with formation of rolls of densely compressed hay	Not suitable for processing other materials
3. Rollant baler, model 355	Allows compaction and wrapping of crops	High labor input in maintenance and large metal consumption



Pic. 7. General view of a briquetting rotary inertial device based on the chassis of KamAZ KO-415 [authors' model].

populated areas use medium-capacity garbage trucks with an optimal volume of 15–20 m³ and a compression ratio of 1:3 (Pic. 4). In turn, sparsely populated rural areas use more economical small cars with a volume of 7,5–10 m³.

The choice of a garbage truck depends on the type of waste and collection conditions. Garbage machines are distinguished by the type of chassis, design, as well as by a lift and a pressing device. Garbage machines (Pic. 5) mainly consist of two parts: a tractor (driver's cab and chassis), as well as a compactor and a waste collector, the size of which for different types of garbage machines varies from 5 m³ to 23 m³.

Specifications example 1: base chassis – ZiL-433362; body capacity – 9,5 m³; the mass of special equipment – 2,4 tons; mass of exported cargo – 4,350 t; the coefficient of compaction of garbage – 2–3; manipulator loading capacity – 500 kg; pressure in the

hydraulic system – 18 MPa; dimensions – 7200 x 2422 x 3300 mm; model – ZiL-508.10.

Specifications example 2: type of base chassis – MAZ-5337; body capacity – 18,0 m³; the mass of special equipment – 3,7 tons; manipulator loading capacity – 0,7 t; the mass of exported garbage – 7,6 tons; pressure in the hydraulic system – 18,0 MPa; the coefficient of compaction of garbage is 2–3.

The density of waste and the degree of compaction determine the size and type of garbage machines. To reduce transport costs, the waste collection technique should be equipped with a pressing device. Containers, garbage trucks and other infrastructure that is designed for areas with a low degree of waste density may not be suitable for heavier waste. The availability of waste collection sites also affects the choice of garbage machines. Thus, HSW collection and transportation is an important stage of its disposal.



Pic. 8. Rubber-fabric belts with crossbars [17].

The energy and material costs associated with transportation of garbage are unreasonably high. The existing special equipment for transportation of solid waste spends about 65 % of the energy (from the power plant and hydraulic drive) on moving its own mass [13]. In order to efficiently transport garbage, it is necessary to solve the technical problem of the systemic use of power units of special equipment in the process of its movement from the container to the landfill. A justified choice of the structural and technological characteristics of the working equipment of the garbage truck, characterizing assessment of the device's operating efficiency and identification of design flaws, is implemented by the method of comparative analysis of existing patents.

To solve this problem, a patent search of existing mechanisms for processing raw materials and their briquetting at the stage of collection and transportation was carried out. A device for briquetting organic household waste, including a chamber and a hydraulic press with a pressing plate, the hydraulic cylinder of the press is installed vertically in the lower part of the device under the pressing plate (RU67507 U1, IPC6 C25C122, published on October 27, 2007) [15]. A known press for briquetting feed contains a hopper, a housing with an unloading window and a rotor with blades mounted on its surface, placed in the housing with formation of an annular cavity between them (RU2347679 C1, IPC B30B11/14, published on March 27, 2009) [16; 17]. The disadvantage of the above similar devices is the inability to use them for briquetting solid household waste, the complexity and high metal consumption of their design. The

presence of a press plate significantly reduces the coefficient of utilization of capacity.

The study of key factors affecting performance of the machine and energy intensity of the processes revealed the shortcomings in the claims of patent RU67507 «Device for briquetting solid household waste» (published on October 27, 2007). The development of a rotor-inertial device for solid waste briquetting is based on a combination of a complex of aggregates for crushing and pressing garbage. The cutting and grinding device is based on a functional prototype used in agriculture which is VARIANT 385-360 round baler. The device is designed to collect hay from rolls with formation of bales of pressed hay.

The general view of the rotary inertial device developed with Simulation application of SolidWorks software is shown in Pic. 7. When developing a structural briquetting system, the tasks of functionality of special equipment and its equipment were taken into account. The optimal limits for varying the technical characteristics of the device are determined by the method of force calculation in the study of forces and moments created by the tensioner, feed rotor and pressing belt.

The developed rotor-inertial device relates to devices intended for collection, grinding and pressing of HSW. The press system with fabric-reinforced belts (Pic. 8) and cross bars provides higher pressing density and throughput, a smoother stroke, reduced wear and maintenance costs.

The combination of rubber-fabric belts and crossbars is ideal for the highest pressing density [18]. Thanks to high tension of the belts, reliable dynamic transmission of the drive force is ensured. A high degree of permissible loads is provided by layers of rubber and fabric: first, they are woven into a continuous belt without

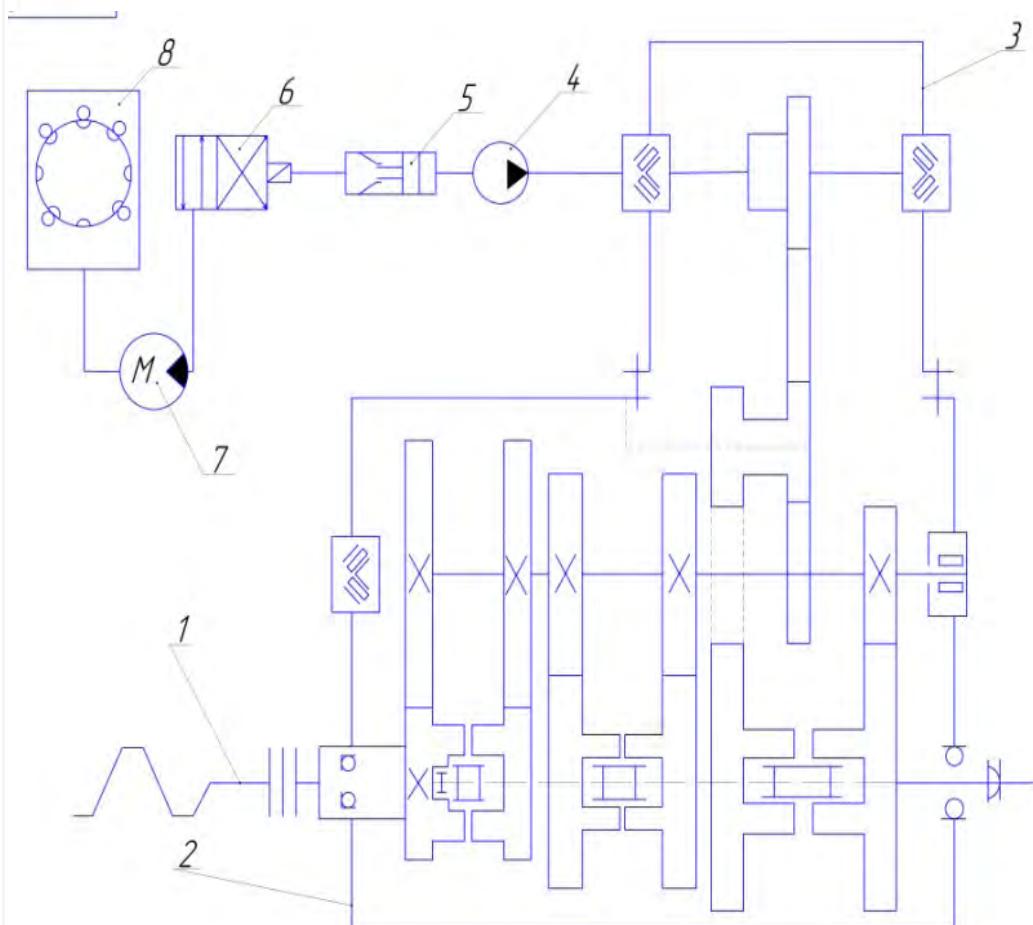




Pic. 9. Cutting rotor of the briquetting device [17].

connecting elements, and then they are vulcanized. The resulted structure consists of high-strength fabric layers of polyester fiber and polyamide with rubber layers welded on both sides. The double-sided profiling of the belts makes them extremely flexible and durable, guaranteeing a very long service life. This technology provides the ability to withstand high loads anywhere.

The rotor-inertial device consists of a pressing drum, a lower conveyor, a working loop, an upper tension roller with a single loop and a sensor for turning on the knitting device, a rotor with four rows of teeth made of eight-millimeter boron-containing steel for optimal capture of HSW, a cutting rotor designed for high loads, with 30 knives made of double hardened steel and double-sided knife protection.



Pic. 10. The kinematic scheme of the briquetting device:
1 – engine, 2 – gearbox, 3 – power take-off, 4 – pump 310.256.04U1, 5 – oil filter, 6 – valve,
7 – hydraulic motor, 8 – rotary inertial device [authors' scheme].

The cutting and feed rotor with a diameter of 550 mm has a particularly high «absorption capacity» (Pic. 9). The V-shaped teeth smoothly stretch HSW through the knives. Cutting with a pull reduces energy consumption and improves smoothness. The wave-like shape of the knife blade ensures sharpness of the knife for a long period of time. The double teeth of the rotor continuously pull the loaded garbage through a series of cutting knives. Due to the insignificant distance between the knives and double teeth, material deviation is excluded. Also, the rotor-inertial device consists of a knitting device, a hydraulic motor, a guiding funnel and additional shafts, which create an additional pressing effect.

After development of the individual elements of the device, it is important to develop of the kinematic scheme of this complex, which takes into account the power and force characteristics of drive units. The rotary inertial device consists of a hydraulic motor that drives a continuous slat conveyor with rubberized belts that rotates and forms a briquetted roll of a stable shape. Household solid waste is loaded into the body using the manipulator through the hatch (the control panel of the working bodies is located in the right side of the car), then the gripping rotor brings the HSW to the cutting rotor with knives.

When the hydraulic motor (7) is turned on, the gripping and cutting rotors begin to rotate, feeding the crushed garbage to the lower conveyor (8). On the bottom conveyor, HSW is pre-pressed with a pressing drum and fed into the working loop along the conveyor belt. The working loop is made of fabric-reinforced belts with crossbars. This material provides higher compaction density and throughput. After grinding, HSW is transferred to the gap between the pressing drum and the lower conveyor. Here, HSW is pressed, enters the working loop, where it is twisted into a roll and finally pressed due to the twisting effect. When the roll reaches a diameter of about 1,4 meters, and the working loop increases so that the idle loop becomes minimal, its sensor activates the knitting machine. The knitting machine will bind the roll with the selected binding material (twine, film, net). Upon delivery of the compressed roll to the landfill, the driver, using the control panel, will lift the body, open the tailgate and the finished roll will fall to the ground. Then it is necessary to lower the body, close the tailgate,

then the working loop returns to its original position and the pressing process can be repeated [18].

To assess the effectiveness of the proposed measures, we will calculate the operational and technical indicators. The mass of HSW transported on KO-440-7 garbage truck of standard design in the form of unsorted garbage is two tons. The actual mass of the total volume of transported garbage in the classic version of KO-440-7 is 1,38 tons. The mass of the roll compressed by the device under development is 1,87 tons.

The mass of compressed HSW is determined by the formula [18]:

$$m = V \cdot q_{comp}, \quad (1)$$

where V is volume of compressed HSW (for standard equipment it is 16 m^3 [18, p. 26]);

q_{comp}^{stand} – HSW compaction coefficient on standard equipment is $0,136 \text{ t/m}^3$ [18, p. 27];

q_{comp}^{devel} – HSW compaction coefficient on the developed device is $0,25 \text{ t/m}^3$ [18, p. 27].

The volume of the roll pressed by the equipment under development is equal to:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (2)$$

where R is radius of the compacted roll of HSW;

H – height of the roll.

Due to installation of new equipment, the mass of HSW transported increases by 490 kg.

The initial data for selection of the hydraulic motor is the load moment M_s and the limits of the change in frequency of rotation of the shaft of the hydraulic motor. Depending on the set parameters and specification data, the type of hydraulic motor is selected. Moreover, it is necessary that the moment M_h developed by the hydraulic motor is by about 5–10 % more than the load moment, and that the rotational speed of the hydraulic motor shaft provides the specified values. After choosing the size of the hydraulic motor by the maximum rotation speed criterion, it is possible to calculate the flow rate of the working fluid Q_h consumed by the hydraulic motor, according to the dependence [20]:

$$Q_h = q_h \cdot \frac{n_{hmax}}{\eta_{0h}}, \quad (3)$$

where q_h – working volume of the hydraulic motor, m^3 ;

n_{hmax} – maximum speed of the hydraulic motor, min;

η_{0h} – efficiency of the hydraulic motor.



Comparative development effectiveness indicators

Parameter name	Standard option		Developed option		Calculation formula
Mass of pressed HSW, t	m_{equip}^{stand}	2,176	m_{comp}^{devel}	3,077	$m = V \cdot q_{comp}$
Volume of pressed roll, m ³	V_{stand}	16	V_{devel}	12,31	$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$
Work spent for formation of pressed HSW, kJ	A_{stand}	48000	A_{devel}	11970	$A = F \cdot b$
Service time for one container site with five containers, min	$t_{maneuver}$	3–4	– // –	3–4	Σt_i
	$t_{loading}$	10–12	– // –	15–18	

The pressure drop in the hydraulic motor at a load moment M_s is determined by the formula:

$$\Delta p_h = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_s \cdot \eta_{0h}}{q_h \cdot \eta_{total}}. \quad (4)$$

The pressure in front of the hydraulic motor can be represented as the sum of the differential pressure on the hydraulic motor and the pressure loss in the drain hydraulic line:

$$p_h = \Delta p_h + \Delta p_s. \quad (5)$$

Pressure losses in the discharge hydraulic line Δp_s usually do not exceed 0,2–0,3 MPa.

Based on the obtained values of Q_h and p_h , we choose a hydraulic motor. The choice of the hydraulic motor for the developed rotary inertia device was carried out taking into account the initial data: the load moment on the shaft of the hydraulic motor M_s is 8000 N·m; the rotation frequency varies within $n_h = 10 - 80$ min⁻¹.

From the Table 2 [18] we select a MP-6,3/10 type radial-piston hydraulic motor with a rated developed moment $M_h = 9520$ N·m, with a pressure drop $\Delta p_h = 10$ MPa, with a working volume $q_h = 6300$ cm³/rot and $\eta_{0h} = 0,93$.

The flow rate of the working fluid consumed by the hydraulic motor will be $Q_h \approx 9,02 \cdot 10^{-3}$ m³/s, the pressure drop Δp_h at $M_s = 8000$ N·m will be 8,35 MPa, taking into account the discharge pressure $\Delta p_s = 0,2$ MPa, the pressure in front of the hydraulic motor $p_h = 8,55$ MPa.

Thus, the flow rate of the hydraulic motor is $9,02 \cdot 10^{-3}$ m³/s and the pressure in front of the hydraulic motor is $p_h = 8,55$ MPa.

As can be seen from the calculations, for operation of the hydraulic motor and the entire device, a pressure of 8,55 MPa is required, and the pressure necessary for operation of the pressing plate should be at least 12 MPa [19]. Therefore, when installing the developed

device on a garbage truck, the pressure in the hydraulic system can be reduced by 1,5 times and the load on the working bodies of special equipment can be significantly reduced.

The work spent for formation of pressed HSW is equal to:

$$A_i = F \cdot b, \quad (6)$$

where F – force necessary for pressing, $F = P$; b – length of the pressed HSW.

The work spent on formation of the roll with the designed equipment is four times less, therefore, wear of the pressing and hydraulic equipment is significantly reduced.

The total service time for one container site with five containers when working with standard equipment is 18 minutes:

Before introduction:

- time spent on maneuver $t_{maneuver} = 3-4$ min;

- time spent on loading $t_{loading} = 12-14$ min.

After introduction of the briquetting device:

- time spent on maneuver $t_{maneuver} = 3-4$ min;

- time spent on loading, is reduced by 5 minutes, and so is equal to $t_{loading} = 9$ min.

Thus, the total service time for one container site with five containers when working with the developed rotary-inertial device is decreased to 13 minutes.

Thus, by analyzing the results of the initial calculation and comparing the operational and technological indicators of the considered and proposed model of transport equipment, we can indirectly evaluate the effectiveness of the proposed measures. For example, in the classical layout scheme (Pic. 6) of the pressing mechanism in MKM-35 BK, the unit compresses the waste volume $V_{stand} = 16$ m³ to the pressing mass $m_{equip}^{stand} = 2,176$ t. In this case, the technical capabilities of MKM-35 BK are limited. Low values of pressing do not allow to

compress the volume of garbage to maximum values, providing 100 % use of the load capacity of special equipment. As a result, with the volume of the garbage truck fully filled, its carrying capacity was used only by 70 %. Applying the proposed scheme of rotary inertial pressing, it was possible to reduce the volume of the pressed roll from 16 to 12,3 m³. This approach made it possible to form more dense garbage briquettes, increasing the pressing mass m_{comp}^{devel} from 2 to 3 tons and increasing the load

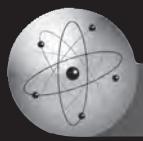
utilization coefficient γ_h from 0,69 to 0,93. The load utilization coefficient γ_h is defined as the ratio of the nominal load capacity 2 t to the value of 1,87 obtained after modernization of the structure. That indicates an increase in productivity of one machine by 26,3 %.

The originality of the design lies in the structural arrangement of the briquetting unit and the grinding mechanism. The use of the principles of inertial moments of M_i and gravity of own mass of garbage made it possible to significantly (by 25 %) reduce the energy intensity of the process. So application of the principle of using the mechanical energy of the conveyor belt tensioners and the mass of the bale that increases when briquetting under its own weight allowed us to reduce the work required to form pressed HSW from $A_{stand} = 48000$ kJ to $A_{devel} = 11970$ kJ.

REFERENCES

1. Mubarakshina, F. D., Guseva, A. A. Current problems and technologies for garbage processing in Russia and abroad [Sovremennye problemy i tekhnologii pererabotki musora v Rossii i za rubezhom]. *Izvestia KGASU*, Iss. 4 (18), 2011, pp. 91–99.
2. Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1998 Update. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 530-R-99-021, July 1999.
3. The Role of Recycling in Integrated Solid Waste Management to the Year 2000. Keep America Beautiful, Inc. 1994.72. «Trends and Forecasts: Retail Sales», U.S. Industrial Outlook 1994, U.S. Department of Commerce.
4. Pashali, A. M., Abdurakhmanova, A. Z. A comparative analysis of Russian and foreign experience in disposal of household solid waste and development of means to improve environmental culture [Sravnitelnyi analiz rossiiskogo i zarubezhnogo opyta utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov i razrabotka sredstv povysheniya ekologicheskoi kultury]. *Yunyi ucheniy*, 2019, Iss. 8, pp. 131–135. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/young/archive/28/1751>. Last accessed 02.02.2020.
5. Pushkareva, A. S. Effective garbage recycling methods: Sweden [Effektivnie metody pererabotki musora]. *Molodoi ucheniy*, 2019, Iss. 2, pp. 77–78.
6. Pavlenkov, M. N., Voronin, P. M. Organizational and economic problems and directions of waste disposal [Organizatsionno-ekonomicheskie problemy i napravleniya utilizatsii otkhodov]. *Bulletin of Nizhny Novgorod University n.a. N.I. Lobachevsky*, 2013, Iss. 3 (3), pp. 188–192.
7. Mbuligwe, S. E. Institutional solid waste management practices in developing countries: A case study of three academic institutions in Tanzania, Resources, Conservation and Recycling, 2002, Vol. 35, No. 3, pp. 131–146.
8. Slack, R. J., Gronow, J. R., Hall, D. H., Voulvoulis, N. Household hazardous waste disposal to landfill: using LandSim to model leachate migration. *Environmental Pollution*, 2007, Vol. 146, No. 2, pp. 501–509.
9. Sherstobitov, M. S., Lebedev, V. M. Methods of disposal of household solid waste [Sposoby utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov]. *Izvestiya Transsiba*, 2011, Iss. 3 (7), pp. 79–84.
10. Levin, B. I., Butko, A. A. The use of waste as fuel through environmentally friendly neutralization with energy production (in relation to the urban economy of Moscow) [Ispolzovanie otkhodov v kachestve topliva putem ekologicheskogo obezvrezhivaniya s vyrabotkoj energii (primenitelno k gorodskomu khozyaistvu Moskvy)]. Moscow, Prima-Press, 2005, 128 p.
11. Malygin, A. S. Development of an integrated HSW management system in a residential environment [Razrabotka kompleksnoi sistemy upravleniya TBO v zhiloi srede]. *Vestnik AltGTU im. I. Polzunova*, 2010, Iss. 1–2, pp. 140–145.
12. Nikogosov, Kh., Bochkova, M., Maltseva, C. Separate collection of household solid waste [Razdelnyi sbor tverdykh bytovykh otkhodov]. *Kommunalshchik*, 2010, Iss. 11, pp. 20–21.
13. Manaev, K. I., Melnikov, A. N. Optimization of the automobile and container fleet during collection and removal of household solid waste [Optimizatsiya avtomobilnogo i konteinerного parka pri sbore i vvoze tverdykh bytovykh otkhodov]. *Vestnik OGU*, 2014, Iss. 10 (171), pp. 130–134.
14. Garbage trucks of increased productivity with side loading. Center «Kommash» [Musorovozy povyshennoi proizvoditelnosti s bokovoi zagruzkoi. Tsentr «Kommash»]. [Electronic resource]: http://www.sweeper.ru/musorovozy_s_bokovoy_zagruzkoj/rarz_enhanced_perform/. Last accessed 02.02.2020.
15. Galkin, G. L., Sluzov, V. F., Pautov, E. K., Nazarov, V. Yu., Ivanov, S. A., Tonkov, S. M. Patent SU No. 1814618 A3 «Briquetting device». Patent holder: State Ivanovo Research and Production Center «Kardateks». Bull. No 17 on 07.05.1993.
16. Starshikh, V. V., Maksimov, E. A. Patent RU No. 2507242 C1 «Method for briquetting animal and bird wastes and a device for its implementation». Patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Chelyabinsk State Agroengineering Academy». Bull. No 5 on 20.02.2014.
17. Yunchik, A. P. Patent RU No. 2528376 C2 of the Russian Federation «Method for manufacture of briquettes from chopped straw and a device for manufacture of briquettes». Patent holder: A. P. Yunchik. Bull. No 26 on 20.09.2014.
18. Rizaeva, Yu. N., Korchagina, T. V., Paponova, A. I. Search model for effective functioning of the motor transport socio-natural economic system [Model poiska effektivnogo funktsionirovaniya avtotransportnoi sotsioprirodnoekonomiceskoi sistemy]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2011, Iss. 2, pp. 25–33.
19. Friction, wear, and lubrication: A Guide. Book 2 [Trenie, iznashивание и смазка: Spravochnik. Kn. 2]. Ed. by I. V. Kragelsky and V. V. Alisin. Moscow, Mashinostroenie, 1978.
20. OJSC «Arzamas plant of municipal engineering». Garbage truck KO-440-7. Operation manual for special equipment, 2006.





Концепция построения и реализации высокоскоростного транспорта



Виктор АЛЕКСЕЕВ



Александр ВАГАНОВ



Марина КАТИНА

*Алексеев Виктор Михайлович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
 Ваганов Александр Владимирович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
 Катина Марина Владимировна – Российский университет транспорта, Москва*.*

В статье рассматриваются вопросы реализации и организации движения высокоскоростного транспорта. Цель статьи – рассмотреть возможные варианты реализации высокоскоростных систем (ВС) движения с использованием принципа магнитной левитации, что обеспечит высокие скорости доставки грузов и населения на большие расстояния. Для достижения поставленной цели требуются разработка двигателя и технических решений конструкции ВС подвижного состава, принятие решений по инфраструктуре энергообеспечения и пути ВС, по вопросам обеспечения безопасности и новых систем управления, учитывающих состояние инфраструктуры и элементов её конструкции.

Рассмотрено несколько вариантов реализации систем высокоскоростного транспорта, различающихся системой питания, токосъёма и путем на основе магнитолевитационного подхода. Предложен оригинальный подход с использованием технологии электромагнитных пушек, предназна-

ченных для реализации тяговых усилий магнитолевитационного транспортного средства. Преимущество данного подхода заключается в том, что открывается возможность маневрирования транспортного средства во время движения. Это позволяет отказаться от стрелочных переводов, существенно ограничивающих применение магнитолевитационного транспорта. Рассмотрена математическая модель, описывающая взаимодействие электромагнитной пушки и супермагнитов, расположенных на пути. При построении модели использовались методы теории электромагнитного поля и взаимодействия магнитных тел, а при построении модели взаимодействия подвижного состава с магнитным путём – методы математической алгебры и теорема Коши.

Также предложены различные принципы организации движения на основе магнитолевитационного подхода для городского, пригородного и междугороднего транспорта.

Ключевые слова: транспорт, магнитная левитация, электромагнитная пушка, вихревые токи, магнитная индукция, высокоскоростной состав, диамагниты.

*Информация об авторах:

Алексеев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры управления и защиты информации Российской университета транспорта, Москва, Россия, alekseevvm@rambler.ru.

Ваганов Александр Владимирович – старший преподаватель кафедры управления и защиты информации Российской университета транспорта, Москва, Россия, aleksandr99@rambler.ru.

Катина Марина Владимировна – старший преподаватель кафедры управления и защиты информации Российской университета транспорта, Москва, Россия, kat@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.06.2019, принята к публикации 14.11.2019.

For the English text of the article please see p. 66.

На сегодняшний день в области развития городского и пригородного движения наметился ряд подходов. Многие городские администрации постепенно возвращаются к признанию общественного, особенно рельсового, транспорта как действенного средства решения всей осложняющихся транспортных проблем, важнейшей из которых является перегрузка улиц автомобилями, ведущая к образованию заторов и, следовательно, к увеличению времени поездки, загрязнению воздуха выхлопными газами. Исторически, для решения этой проблемы в столицах и крупнейших городах разных стран мира в расширяющихся масштабах строились линии подземного метрополитена. Затем, в том числе и в менее крупных городах, стали создавать сети метрополитена облегчённого типа, линии которого частично проходили на уровне земли. И, наконец, в последнее время вновь обратили внимание на трамвай, стоимость инфраструктуры и подвижного состава которого существенно ниже, чем метрополитена. Очевидны такие достоинства трамвая, как высокая провозная способность и высокая скорость движения поездов (при выделении обособленных полос), а также экологическая чистота (при принятии мер по уменьшению шумового воздействия на окружающую среду). Таким образом, возникли условия для возвращения трамвая в города.

Второй не менее важной особенностью является реализация новой концепции создания универсального транспортного средства «трамвай-поезд». Транспортные администрации многих городов Европы и Америки в последнее время стали проявлять интерес к концепции использования в качестве общественного транспорта для перевозок между центром города и пригородами или между центрами близлежащих городов подвижного состава, способного обращаться как по трамвайным путям, так и по линиям магистральных железных дорог. Концепция таких комбинированных транспортных систем получила название «трамвай-поезд» (tram-train) [1, с. 28–36].

Ещё десять лет назад о ней мало кто задумывался, несмотря на то, что по большей части колея трамвайных и железнодорожных сетей одинакова и технические проблемы совместности в принципе

преодолимы. Обе системы рельсового транспорта имеют сходный по конструкции путь и основаны на общем принципе использования сцепления в системе «колесо—рельс». Однако традиционно они были полностью отделены друг от друга и эксплуатировались по-разному, а вопрос об их (хотя бы частичном) объединении никогда не возникал. В то же время в ряде случаев возникал вопрос другого плана – о возможности пропуска поездов трамвая по неиспользуемым или малоиспользуемым путям пригородных железнодорожных линий, что позволяло бы жителям ближайших пригородов без пересадки попадать в центр города. Подобным же образом пригородные поезда при выполнении целого ряда условий могли бы заходить в центр города по путям трамвайных линий. Такое сочетание двух видов общественного рельсового транспорта с совместным использованием инфраструктуры было бы весьма полезным для повышения эффективности работы общественного транспорта и создания дополнительных удобств для пассажиров при условии, естественно, решения сопутствующих проблем.

Одним из основных вопросов последних лет в организации городского, пригородного, междугородного сообщения являлась проблема увеличения скорости перевозки пассажиров. Решению этой проблемы была призвана служить разработка систем высокоскоростного транспорта, которая привела к созданию высокоскоростного железнодорожного сообщения. Однако высокоскоростные магистрали при наличии большого числа преимуществ не пригодны для включения в городские и пригородные транспортные системы, за исключением создания разовых остановочных пунктов в городах-спутниках мегаполисов для приёма части пассажиропотоков на наиболее интенсивных направлениях и для безостановочных поездок в центр и из центра города.

Таким образом, в повестку дня может быть включён вопрос о наличии принципиальной возможности создания транспортной системы, которая бы отвечала двум базовым требованиям: имела высокие скоростные характеристики и была бы универсальной по назначению, то есть могла бы использоваться для обслужива-



ния маршрутов различной протяжённости, как дальних, так и городских.

Таким образом, можно определить, что концепция высокоскоростной транспортной системы должна быть нацелена на создание универсального транспортного средства, пригодного как для внутригородского, так и пригородного движения [2, с. 3–10].

Необходимо соблюдение ещё ряда условий. Переход к высокоскоростным транспортным средствам должен ориентироваться на минимизацию эксплуатационных расходов на содержание инфраструктуры. Однако существенны внешние факторы (погода, наличие отрицательных температур), которые оказывают влияние на варианты реализации ВСТ, особенно в России. Переход к высокоскоростным системам должен учитывать и человеческий фактор [3, с. 21–32; 4, с. 12–26]. Один из перспективных вариантов связан с магнитолевитационным транспортом.

Цель данной статьи – предложить подходы к построению высокоскоростных систем (ВС) движения, базирующихся на использовании малолюдных технологий обслуживания, энергоэффективных технологий с применением возобновляемых источников энергии, систем индуктивной передачи энергии на подвижные транспортные средства, с использованием принципа магнитной левитации. Это обеспечит высокие скорости доставки грузов и населения на большие расстояния и сделает конкурентоспособным железнодорожный комплекс России [2, с. 1–5; 5, с. 35–65].

Для решения поставленной цели необходимо решение следующих задач [6, с. 61–63; 7, с. 128–142]:

- разработка двигателя и технических решений конструкции ВС подвижного состава;
- разработка энергообеспечения ВС;
- разработка инфраструктуры пути ВС;
- обеспечение безопасности и новых систем управления с учётом состояния устройств инфраструктуры и элементов конструкции.

Одна из задач, создание нового типа пути, работающего в сложных климатических условиях, требует рассмотрения нестандартных вариантов, поскольку нормальная работа ВС транспорта возможна

только при условии полного ограничения доступа посторонних лиц, а также предотвращения попадания осадков и посторонних предметов на путь.

СИСТЕМА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Одним из определяющих параметров при реализации проекта высокоскоростного транспорта является организация системы энергообеспечения. От выбора системы энергообеспечения в большой степени зависит инфраструктура пути, конструкция состава и выбор системы управления. Существуют два подхода к реализации системы питания ВС транспорта.

Рассмотрим первый – централизованный. Централизованная система требует прокладки кабеля питания для подвижного транспортного средства по всей длине пути следования поезда. На борту подвижного транспортного средства устанавливается подвижная часть линейного двигателя (ЛД). Управление скоростью и торможением ЛД осуществляется посредством изменения частоты из центра, что делает невозможным пропуск более одного состава по пути между станциями. В то же время этот подход требует укладки в пути медных проводов в большом количестве. Предлагается передачу энергии на ВС транспортное средство осуществлять путём передачи энергии на ЛД с использованием индукционного эффекта, что жёстко связывает подвижной состав и путь, так как зазор между элементами ЛД и распределённым источником энергии для эффективной передачи энергии не должен превышать определённую величину. Это требует от конструкции высокоскоростного состава специальных мер привязки к месту расположения распределённого источника-трансформатора. Путь в таком случае становится активным, с большим количеством инфраструктурных элементов, обеспечивающих передачу энергии на ЛД подвижного состава. Необходимо отметить, что ввиду большой протяжённости участков движения затраты на инфраструктуру, в том числе связанные с её обслуживанием, могут быть значительными. При этом необходимо строить большое количество систем управления и энергообеспечения (по всей длине следования пути), управляющих движением транспортного средства. Вместе с тем этот

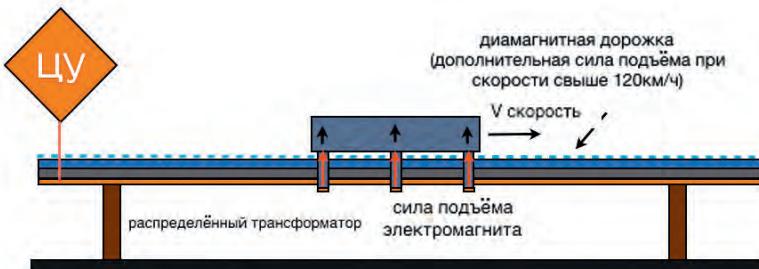


Рис. 1. Централизованная система энергоснабжения.
Рисунок авторов.

способ сокращает массогабаритные размеры транспортных средств, что является значительным положительным фактором, так как большая часть управления находится вне подвижного состава. Необходимо также отметить большие потери энергии ввиду протяжённости перегонов.

Второй вариант организации энергобез обеспечения – децентрализованный [5, с. 5–8; 6, с. 61–63]. По сути – это токосъём с использованием пантографа (с любой конструкцией), что снижает нагрузку на инфраструктуру пути и позволяет сделать её пассивной, но в то же время существенно ограничивается манёвренность состава, повышаются энергопотери при высокоскоростном движении из-за плохого контакта пантографа и контактного провода.

Использование токосъёма с пантографом делает активным транспортное средство, то есть система управления двигателем располагается на транспортном средстве. Это аналог существующей системы тяги, с той лишь разницей, что нет колес, а движение осуществляется за счёт сил электромагнитного сцепления ЛД. Этот способ повышает массогабаритные размеры транспортных средств, что является отрицательным фактором.

Существенной причиной, снижающей эффективность данных подходов, как централизованного, так и децентрализованного, является инфраструктура пути, а именно требование наличия стрелочных переводов или съездов. При использовании этого способа необходимо создавать тяжёлые (несколько тонн) стрелочные переводы (время перевода до 2 мин), что не позволит в будущем переходить к малым транспортным средствам, позволяющим организовать эффективный пакетный режим передвижения высокоскоростных транспортных средств.

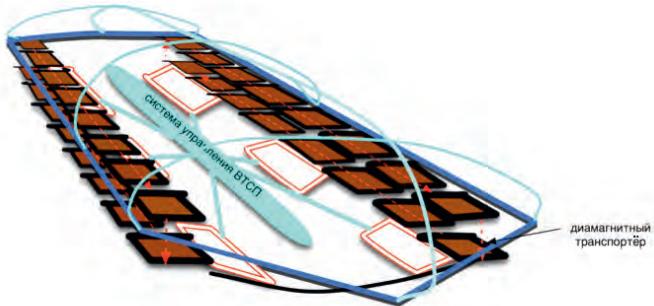
Другим важным фактором, определяющим реализацию вышеперечисленных подходов, является требование по реализации зазора между путевой структурой и транспортным средством. Это достигается применением конструкции, охватывающей путь, с установкой электромагнитов, притягивающих состав и обеспечивающих подъём и левитацию конструкции ВС над путём. В целях обеспечения более высокой надёжности в путь укладывают диамагнетики (алюминий) для получения дополнительного эффекта подъёма состава при скоростях движения выше 120 км/ч. Это обеспечивает величину зазора до 50–100 мм при движении на скоростях выше 250 км/ч, а также предотвращает соударение транспортного средства о путь при внезапном отключении питания в системе притягивающих электромагнитов. Вместе с тем это не позволяет отказаться от колёс для приземления состава в случае экстренного отключения питания на длительное время.

Рассмотрим вариант системы энергобез обеспечения и подвижной состав при использовании высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). В этом варианте основным элементом безопасности в транспортном средстве является ВТСП. Путь представляет собой набор супермагнитов, укладываемых на пути с индукцией ($B > 1,6$ Тл). ВТСП обеспечивает высоту левитации (клиренс) транспортного средства над конструкцией пути. На поддержание условий работы ВТСП должна расходоваться большая часть энергии, выработанной или аккумулированной на подвижном транспортном средстве.

Использование ВТСП позволяет создать конструкцию транспортных средств, работающих на принципах точечного пополнения энергии в специализированных пунктах обслуживания. На сегодняшний день время



Рис. 2. Диамагнитный двигатель. Рисунок авторов.



поддержания работоспособного состояния ВТСП лежит в пределах десяти дней (при использовании материалов с малым коэффициентом теплопроводности). Это позволяет планировать технологический режим обслуживания в определённых пунктах (в крупных городах, находящихся на расстоянии не менее 500–600 км). Энергия для движения транспортного средства с использованием ЛД на подвижном составе должна частично восполняться использованием солнечных батарей, путём подзарядки аккумуляторов (накопительных элементов) на остановках. Энергия накопительных элементов с подзарядкой используется для работы ЛД и должна обеспечить движение транспортного средства на расстояние до 8000 км.

Для реализации энергосистемы высокоскоростного транспортного средства следует использовать солнечные батареи с повышенным КПД.

Движение транспортного средства в ночное время можно осуществлять с большим количеством остановок для подзарядки аккумуляторов (накопительных конденсаторов) транспортного средства.

Одним из возможных путей повышения эффективности данного подхода в реализации ВТС может стать применение системы энергообеспечения транспортных средств с использованием бесконтактной системы накачки или передачи энергии на подвижной состав с использованием лазерных и электромагнитных технологий. Другим возможным вариантом пополнения энергии может быть ветровая энергия, которая при высокоскоростном движении образуется в большом количестве (применение ветровых генераторов).

Рассмотрим реализацию двигателя с использованием технологий диамагнитных элементов. Известно, что при изменении магнитного потока возникают силы противодействия движению за счёт возникновения вихревых токов в диамагнитных токопроводящих материалах. Величина силы зависит от скорости движения и электрических свойств материала электропроводности — меди или алюминия (наиболее часто используемых). Быстрое перемещение диамагнитного материала в магнитное поле вызывает возникновение тока, направленного в противоположную сторону от силы, переместившей диамагнит в это магнитное поле. Поскольку подвижная транспортная единица находится в режиме левитации, то вся конструкция начинает двигаться. Если движение диамагнитного материала осуществляется в противоположную от движущегося средства сторону, то начинается процесс торможения. Возможны различные типы систем вращения диамагнитов: колесо, винт, транспортёр и другие виды траектории.

Разгон и торможение осуществляются за счёт образования вихревых токов, возникающих между диамагнитными элементами и супермагнитами на пути. Стабилизацию положения транспортного средства необходимо проводить с использованием поперечных «диамагнитных устройств». А поворот транспортных средств осуществлять за счёт разности скоростей вращения «диамагнитных колес».

Существенным плюсом данного подхода в реализации подвижного состава является то, что не требуется применение стрелочных переводов. Поворот транспортного средства осуществляется за счёт разности скоростей левой и правой частей двигателя. Эта модель транспортного сред-

ства позволяет осуществить построение пути с использованием съездов и многоуровневых развязок. На прямых участках пути, где не предполагается оборудование съездов, необходимо применить такую геометрию пути, которая обеспечивала бы устойчивое движение для скоростей близких к 1000 км/ч. Устойчивость транспортного средства при скоростях, равных или близких к нулю, необходимо обеспечить синхронно-встречным вращением «дiamагнитных колёс».

Рассмотрим подход, основанный на использовании магнитного подвеса и двигателя с большим магнитным потоком. Данный вариант обеспечивает подвес состава за счёт взаимодействия супермагнитов с магнитной индукцией $B > 1,6$ Тл, расположенных в нижней части подвижного состава и на пути. Это обеспечивает высокую безопасность, так как сила отталкивания существует всегда. Двигатель реализуется на электромагнитных катушках с материалом сердечника с высокой магнитной проницаемостью μ . Двигатель представляет собой распределённые электромагнитные пушки, расположенные с левой и правой стороны в нижней части состава. Это позволяет реализовать поворот транспортного средства, разгон и торможение. При этом нет необходимости в стрелочных переводах, что значительно упрощает конструкцию пути. Электропитание осуществляется либо через накопительные конденсаторы, либо через пантограф.

При решении задачи реализации двигателя на основе большого магнитного потока одной из задач является расположение двигателя относительно пути и выбор геометрии магнитов, расположенных на пути.

Магнитное взаимодействие катушки с током и магнитов на системе пути определяется (в соответствие с положениями теории электромагнитного поля и взаимодействия магнитных тел) как:

$$F = (3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_m \cdot p_k) \cdot \cos(\alpha) / 4\pi\delta^4, \quad (1)$$

где δ – расстояние между катушкой и магнитами на пути;

$p_m = J_m \cdot V_m \cdot p_m$ – магнитный момент системы напольного магнита объёмом $V_m = s_m \cdot h_m$ и однородной намагниченностью J_m , где s_m , h_m – площадь и высота магнита;

$P_k = J_k \cdot V_k = J_k \cdot h_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2$ – магнитный момент катушки с сердечником высотой h_k и радиусом r ;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (H/A^2)$ – магнитная проницаемость в вакууме;

M – магнитная проницаемость сердечника катушки.

Формула (1) действительна для случая соосного расположения магнитной катушки и магнита. Это соответствует случаю вертикального отталкивания катушки с током от магнита. Транспортному средству необходимо двигаться, для этого необходимо наклонить катушку с током, в результате чего появляется горизонтальная сила,двигающая транспортное средство. Логично вместе с катушкой повернуть магнит так, чтобы плоскости взаимодействия были параллельны и угол соосности α составлял 90° . Это обеспечило бы максимальную силу разгона и торможения. Но в реальности это не осуществить. В таком случае необходимо придать магниту форму конуса с углом соосности $\alpha = 90^\circ$ для обеспечения силы отталкивания. Изменение формы магнита влечёт изменение намагниченности системы магнитов, расположенных на пути. Намагниченностью (вектором намагниченности) вещества является отношение суммарного магнитного момента выделенной части вещества к объёму этой части:

$$\overline{J_m} = \left(\sum_k \bar{p}_{m_k} \right) / (h_m \cdot s_m \cdot k), \quad (2)$$

где k – количество магнитов в выделенном объёме под катушкой.

Величина J_m меняется при движении транспортного средства, так как изменяется расположение части системы напольных магнитов под катушкой. Выразим J_m через степенной ряд:

$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left(\sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot a_{i_j}^j \cdot t^{i_j+i_\alpha} \right) \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4, \text{ при}$$

ограничении $\overline{J^m}_{min} \leq \overline{J^m} \leq \overline{J^m}_{max}$.

При движении может происходить изменение расстояния δ между катушкой двигателя и магнитами на пути и угла соосности α между катушкой и напольными магнитами. Выразим $\cos(\alpha)$ через степенной ряд (*методы математической алгебры*):

$$\cos(\alpha) = \sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot t^{i_\alpha},$$



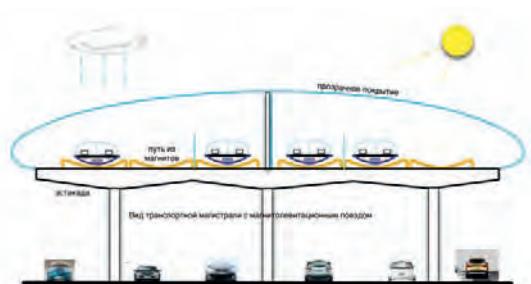
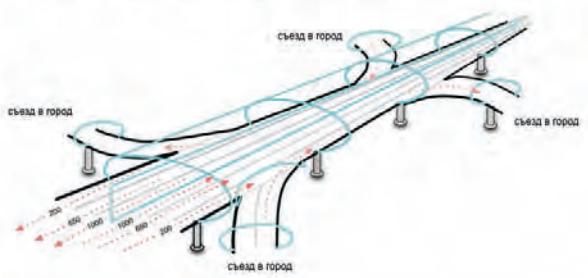


Рис. 3. Прозрачный купол с солнечными батареями над эстакадой.
Рисунок авторов.



при ограничениях $\delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max}$, $\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$.

Подставив последние формулы в (1), получаем ряд:

$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \left(\sum_{i,j=0}^{n_j} a_{i,j}^J \cdot i^{i,j} \right) \cdot V_m \right) \cdot p_k \cdot \left(\sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^\alpha \cdot i^{i,j+i_a} \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4.$$

Применим формулу теоремы Коши для перемножения полиномов J_m и $\cos(\alpha)$ (*теория и методы математической алгебры*):

$$\sum_{i,j=0}^{n_j} a_{i,j}^J \cdot i^{i,j} \cdot \sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^\alpha \cdot i^{i,j+i_a} = \sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{i,j=0}^{n_j} a_{i_a}^\alpha \cdot a_{i,j}^J \cdot i^{i,j+i_a}. \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), получаем:

$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left(\sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{i,j=0}^{n_j} a_{i_a}^\alpha \cdot a_{i,j}^J \cdot i^{i,j+i_a} \right) \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4. \quad (4)$$

Решение (4) достигается при выполнении условия: $4\pi \cdot (\delta)^4 > (\delta)_{min}$. Это означает, что электромагнитная катушка двигателя не должна сближаться с магнитами пути на расстояние меньшее, чем минимальный зазор. Усиленное решение при выполнении условия при постоянстве расстояния δ : $4\pi \cdot (\delta)^4 = 1$.

Таким образом, представленная модель обеспечивает возможность отследить изменение силы разгона и торможения двигателя с использованием катушки с сердечником с высокой магнитной проницаемостью μ .

ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРА ПУТИ

Инфраструктура должна базироваться на эстакадном исполнении пути. Это позволит интегрировать движение с но-

вым видом транспорта — электромобилями, совместив в нижней эстакадной части автодороги с инфраструктурой для зарядки электромобилей. Это позволит создать защищённую структуру пути с многоуровневой развязкой. Инфраструктура пути должна обеспечить круглогодичное, не зависящее от погодных условий передвижение. Для выполнения этой цели предлагается закрыть прозрачным куполом эстакадный путь и расположить на куполе солнечные батареи (рис. 3).

Принципы конструирования, управления и электропитания, закладываемые в новые транспортные средства, позволяют организовать многорядное движение (двухстороннее) и дифференцированное движение по путям:

- скорость до 1000 км/ч — грузоперевозки и перевозки пассажиров (Европа—Азия) по территории России;
- скорость до 650 км/ч — междугородний транспорт России;
- скорость до 200 км/ч — местный городской и пригородный транспорт по России.

Принцип построения инфраструктуры пути должен предусматривать кольцевые эстакады в крупных городах и значимых пунктах России. Следует планировать съезды с главной магистралью в населённые пункты с целью охвата большей территории проживания населения. Целесообразно предусмотреть в крупных городах строи-

тельство эстакадного пригородного транспорта (например, большое кольцо вокруг города) с целью охвата удалённых районов проживания населения.

При этом ориентация на создание транспортных средств индивидуального исполнения позволит включить в модельный ряд подвижной транспорт вместимостью до четырёх пассажиров, что даст дополнительный импульс развитию данного вида транспорта и появлению персональных транспортных средств.

Строительство эстакад для передвижения транспортных средств должно предусматривать следующие особенности организации движения:

- специализацию путей по скорости и дальности перевозок: 200 км/ч для пригородного сообщения, 650 км/ч для межобластного сообщения, до 1000 км/ч для континентальных перевозок;
- организацию съездов между специализированными путями, обеспечивающими развязку между транспортными средствами в одном уровне (обгон, стоянка и т.д.);
- организацию съездов в города и населённые пункты, перроны для посадки и высадки пассажиров.

Инфраструктура пути должна предусматривать пункты обслуживания транспортных средств:

- зарядки энергией накопителей и жидким гелием системы левитации для ЛД;
- центры управления движением транспортных средств;
- подключение к единой системе энергоснабжения.

Инфраструктура пути должна предусматривать необходимые места для установки специализированного оборудования управления, контроля и мониторинга транспортных средств, необходимый доступ персонала к элементам конструкций пути и оборудованию, установленному на нём. Требуется также предусмотреть, в случае возникновения ЧС, возможность передислокации людских сил и малогабаритной техники.

ВЫВОД

Предложенные подходы позволяют приблизиться к построению концепции высокоскоростных систем (ВС) движения, базирующихся на использовании

малолюдных технологий обслуживания, энергоэффективных технологий с применением возобновляемых источников энергии, систем индуктивной передачи энергии на подвижные транспортные средства, принципа магнитной левитации. Дальнейшие шаги требуют решения множества сложных инженерных задач, разработки новых технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батис Ф. Комбинированные системы общественного рельсового транспорта // Железные дороги мира. – 2000. – № 8. – С. 28–36.
2. ТР ТС 003/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (с изменениями на 9 декабря 2011 года). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>. Доступ 14.11.2019.
3. IEC62425. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety related electronic systems for signaling, 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4170895>. Доступ 14.11.2019.
4. IEC62280. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety-related communication in transmission systems, 2014. [Электронный ресурс]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5322077>. Доступ 14.11.2019.
5. Киселёв И. П., Сотников Е. А., Суходoev B. C. Высокоскоростные железные дороги. – СПб.: ПГУПС, 2001. – 59 с.
6. Зайцев А. А., Шматченко В. В., Плеханов П. А., Роенков Д. Н., Иванов В. Г. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5. – С. 61–63.
7. Шматченко В. В., Плеханов П. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2015. – № 2. – С. 127–142.
8. ТР ТС 002/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта. Список изменяющих документов» (в ред. решений комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 859, решений коллегии Евразийской экономической комиссии от 02.12.2013 г. № 285, от 03.02.2015 г. № 11, от 07.06.2016 г. № 62, от 14.06.2016 г. № 75). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/902293437>. Доступ 14.11.2019.
9. Перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и выполнения требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования (утв. решением комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710 Список изменяющих документов (в ред. решений коллегии Евразийской экономической комиссии от 03.02.2015 г. № 11, от 07.06.2016 г. № 62).





The Concept of Development and Implementation of High-Speed Transport



Victor M. ALEXEEV



Alexander V. VAGANOV



Marina V. KATINA

*Alexeev, Victor M., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Vaganov, Alexander V., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Katina, Marina V., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article discusses the issues of implementation and organization of high-speed transport. The objective of the article is to consider possible options for implementing high-speed (HS) motion systems using the principle of magnetic levitation, which will ensure high speeds for delivery of goods and carrying people over long distances. To achieve this objective, it is necessary to develop an engine and technical solutions for design of HS rolling stock, make decisions on energy supply infrastructure and the HS track, address safety issues and new control systems considering the state of the infrastructure and its design elements.

The article discusses several options for implementation of high-speed transport systems, differing in the power supply system, current collection and track based on the magnetic levitation approach. An original approach is proposed in

implementation of magnetic levitation transport using the technology of electromagnetic guns designed to implement traction forces of a magnetic levitation vehicle. The advantage of this approach is that it opens the possibility of maneuvering for the vehicle while driving. This allows to abandon switch turnouts, now significantly limiting the use of magnetic levitation transport. A mathematical model describing interaction of an electromagnetic gun and supermagnets located on the track is considered. In constructing the model, methods of the theory of electromagnetic field and interaction of magnetic bodies were used, and when constructing a model of interaction of rolling stock with a magnetic track, methods of mathematical algebra and the Cauchy theorem were used.

The article discusses various principles of organization of movement using the magnetic levitation for urban, suburban, and intercity transport.

Keywords: transport, magnetic levitation, electromagnetic gun, eddy currents, magnetic induction, high-speed train, diamagnets.

*Information about the authors:

Alexeev, Victor M. – D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Management and Information Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, alekseevvm@rambler.ru.

Vaganov, Alexander V. – Senior Lecturer at the Department of Management and Information Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, aleksandr99@rambler.ru.

Katina, Marina V. – Senior Lecturer at the Department of Management and Information Protection of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kat@mail.ru.

Article received 19.06.2019, accepted 14.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 58.

To date, several approaches have evolved in the field of urban and suburban traffic development. Many city administrations are gradually returning to recognition of public, especially rail, transport as an effective means of solving increasingly growing complex transport problems, most important ones being associated with overloading of streets with cars, leading to congestion and, consequently, to an increase in travel time, air pollution by exhaust gases. Initially, underground metro lines were built in the capitals and largest cities of different countries on an expanding scale. Then, comprising smaller cities, light metro networks began to be created, the lines of which partially run at ground level. And finally, lately, attention has been paid to the tram, the cost of infrastructure and rolling stock of which is significantly lower than that of the metro. The tram's advantages are obvious, these are high carrying capacity and high speed of coupled vehicles (when separate lanes are allocated), as well as environmental friendliness (when taking measures to reduce noise impact on the environment). Thus, conditions arose for the return of the tram to the cities.

The second equally important feature is implementation of the new concept of a universal «tram–train» vehicle. The transport administrations of many cities in Europe and America have recently begun to show interest in the concept of using rolling stock that can go along the tracks of both tram and main railways as public transport for transportation between the city center and the suburbs or between the centers of nearby cities. The concept of such combined transport systems was called «tram–train» [1, pp. 28–36].

Ten years ago, few people thought about it, even though for the most part the tracks of tram and railway networks are the same and technical compatibility problems can be normally overcome. Both rail transport systems have a track similar in design and are based on the general principle of using adhesion in a wheel–rail system. However, traditionally, they were completely separated from each other and operated in different ways. So, the question of their (at least partial) integration has never arisen. At the same time, in a number of cases, a different question arose and it concerned a possibility of passing tram trains on unused or under-used suburban railway lines, which would allow residents of the nearest suburbs to

get to the city center without transfer. In the same way, suburban trains (respecting some conditions) could enter the city center along tram lines. Such a combination of two types of public rail transport with joint use of infrastructure would be especially useful for increasing the efficiency of public transport and creating additional amenities for passengers, provided, of course, solution of the associated problems.

The increase in speed of passenger transit has recently become topical issue for urban, suburban, and intercity traffic. The development of high-speed transportation systems that helped creating high-speed trains had to bring new solutions. The high-speed railways while offering multiple advantages can not be integrated into urban and suburban transit systems, except for rare stopping points in cities neighboring megalopolises to receive part of passenger flows at most intensive directions, and to allow to travel to and from the downtown without stops.

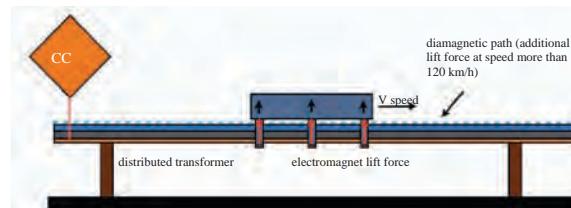
A current agenda can include the point on a basic possibility to create a transportation system that would meet two fundamental criteria: it should have high speed features, and should be general-purpose one, as to serve routes of different range (from long distances to intraurban ones).

Thus, we can declare that the concept of high-speed transportation system should be focused on development of a generally purposed vehicles, capable to provide travelling within the city, as well as to its suburbs [2, pp. 3–10].

It is also necessary to meet other conditions. The transition to high-speed transportation systems should be focused on minimizing operation costs of maintaining transport infrastructure. However, external factors are significant (weather, freezing temperatures), and will affect the options for implementing HS transport, particularly in Russia. The transition to high-speed systems should consider the human factor as well [3, pp. 21–32; 4, pp. 12–26].

The *objective* of this article is to suggest approaches to development of high-speed (HS) transportation systems based on the use of low-maintenance technologies, energy-efficient technologies using renewable energy sources, and systems of inductive energy transfer to mobile vehicles using the principle of magnetic levitation. This will ensure high





Pic. 1. Centralized power supply system. Authors' drawing.

speeds for delivery of goods and transporting of people over long distances and will make the Russian railway complex competitive [2, pp. 1–5; 5, pp. 35–65].

To attain this objective, it is necessary to solve the following tasks [6, pp. 61–63; 7, pp. 128–142]:

- development of an engine and technical solutions for design of HS rolling stock,
- development of power supply for HS;
- HS track infrastructure development;
- ensuring safety and new control systems, taking into account the state of infrastructure devices and structural elements.

One of the tasks consists in development of a new type of a track, operated in difficult climatic conditions, and that task requires consideration of non-standard options, since normal operation of HS transport is possible only if the access of unauthorized persons is completely limited, as well as prevention of rainfall and foreign objects getting on the track is provided.

POWER SUPPLY SYSTEM

One of the determining parameters in implementation of the high-speed transport project is organization of the power supply system. The infrastructure of the track, the design of the train, and the choice of control system are most dependent on the choice of the power supply system. There are two approaches to implementation of HS transport power system.

Let us consider the first that is a *centralized one*. A centralized system requires laying a power cable for a moving vehicle along the entire length of the train. On board the mobile vehicle, the mobile part of the linear motor (LM) is installed. The speed and braking of the LM is controlled by changing the frequency from the center, which makes it impossible to process more than one train along the track between stations. At the same time, this

approach requires laying of large quantities of copper wires along the track. It is proposed to transfer energy to HS vehicle by transferring energy to LM using the induction effect, which tightly connects rolling stock and the track, since the gap between the elements of LM and the distributed energy source for efficient energy transfer should not exceed a certain amount. This requires that the design of high-speed train provides for special measures of considering the location of the distributed source transformer. In this case, the track becomes active with many infrastructure elements that provide energy transfer to LM of rolling stock. It should be noted, in view of the large extent of the traffic areas, that infrastructure costs are significant, including those related to maintenance. In this case, it is necessary to build many control and power supply systems (along the entire length of the route) that determine and control vehicle's movement. However, this method reduces the overall dimensions of vehicles, and that is a significant positive factor, since most of the control is outside the rolling stock. It is also necessary to note large energy losses due to the length of the hauls.

The second option for organizing power supply is *decentralized* one [5, pp. 5–8; 6, pp. 61–63]. In fact, this is a current collector using a pantograph (of any design), which reduces the load on the track infrastructure and allows it to be passive, but at the same time, train maneuverability is significantly limited, and losses during high-speed movement increase due to poor contact between the pantograph and the contact wire.

The use of a current collector with a pantograph makes the vehicle active, that is, the engine control system is located on the vehicle. This is an analogue of the existing traction system, with the only difference being that there is no wheel, and movement is carried out due to the forces of electromagnetic

adhesion of LM. This method increases overall dimensions of vehicles, and that is a negative factor.

A significant reason that reduces the effectiveness of these approaches, both centralized and decentralized, is track infrastructure, namely requirement for switch turnouts or exits. When using this method, it is necessary to create heavy (several tons) switch turnouts (point setting is up to 2 min), which will not allow in the future to switch to small vehicles, which will allow organizing an efficient packet mode of movement of high-speed vehicles.

Another important factor determining implementation of the above approaches is the requirement to implement a gap between the track structure and the vehicle. This is achieved by using a structure that covers the track, with installation of electromagnets that attract the train and ensure the rise and levitation of HS structure over the track. To ensure higher reliability, diamagnetic elements (aluminum) are placed on the track to obtain an additional effect of raising the train at speeds exceeding 120 km/h. This provides a gap of up to 50–100 mm when driving at speeds above 250 km/h, and also prevents the vehicle from colliding with the track when the power is suddenly disconnected in the system of attractive electromagnets. At the same time, this does not allow abandoning the wheels for landing of the train in case of emergency power off for a long time.

Let us consider a variant of the power supply system and rolling stock when using high-temperature superconductors (HTSC). In this embodiment, the main safety element in the vehicle is HTSC. The track is a set of super magnets stacked on the track with induction ($B > 1,6$ T). HTSC provides the vehicle levitation height (clearance) above the track structure. Maintaining the HTSC operating conditions should consume most of the energy generated or accumulated in a mobile vehicle.

The use of HTSC allows to create a design of vehicles operating on the principles of point replenishment of energy in specialized service points. To date, time to maintain the working state of HTSC is within ten days (when using materials with a low coefficient of thermal conductivity). This allows to plan the technological mode of service at certain points (in large cities located at a distance of at least 500–600 km). The energy for moving a vehicle

using LM on rolling stock should be partially replenished using solar panels, by recharging batteries (storage cells) at stops. The energy of the storage cells with recharging is used for operation of LM and should ensure movement of the vehicle at a distance of up to 8000 km.

To implement the power system of a high-speed vehicle, solar panels with increased efficiency should be used.

The movement of the vehicle at night can be carried out with a large number of stops to recharge the batteries (storage capacitors) of the vehicle.

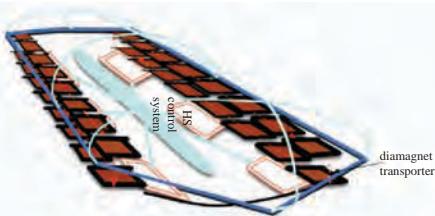
One of possible ways to increase the effectiveness of this approach in implementation of HS transport may be to use a vehicle energy supply system using a non-contact pumping system or transferring energy to rolling stock using laser and electromagnetic technologies. Another possible option for replenishing energy can be wind energy, which is generated in large quantities during high-speed movement (the use of wind generators).

Let us consider implementation of the engine using the technology of diamagnetic elements. It is known that when the magnetic flux changes, counter forces arise due to appearance of eddy currents in diamagnetic conductive materials. The magnitude of the force depends on speed of movement and the electrical properties of the material of electrical conductivity of copper or aluminum (most commonly used). The rapid movement of the diamagnetic material into the magnetic field causes appearance of a current directed in the opposite direction from the force that moved the diamagnet into this magnetic field. Since the movable transport unit is in levitation mode, the whole structure begins to move. If the diamagnetic material moves in the opposite direction of the moving then the braking process begins. Various types of diamagnet rotation systems are possible: wheel, screw, conveyor and other types of trajectory.

Acceleration and deceleration are accomplished due to formation of eddy currents arising between diamagnetic elements and supermagnets in the track. The stabilization of the vehicle must be carried out using transverse «diamagnetic devices». And turning of vehicles is carried out due to difference in rotation speeds of «diamagnetic wheels».

A significant advantage of this approach in implementation of rolling stock is that





Pic. 2. Diamagnet motor. Authors' drawing.

the use of switch turnouts is not required. The turning of the vehicle is carried out due to the speed difference between the left and right parts of the engine. This vehicle model allows to build a track using ramps and multi-level interchanges. On straight sections of the track, where exit ramps are not intended, it is necessary to apply such a track geometry that would ensure stable movement for speeds close to 1000 km/h. The stability of the vehicle at speeds equal to or close to zero must be ensured by synchronous-counter-rotation of the «diamagnetic wheels».

Let us consider an approach based on the use of magnetic suspension and an engine with a large magnetic flux. This option provides suspension of the train due to interaction of supermagnets with magnetic induction $B > 1,6 \text{ T}$, located in the lower part of rolling stock and on the track. This ensures high safety, since the repulsive force always exists. The engine is implemented on electromagnetic coils with a core material with high magnetic permeability μ . The engine is a distributed electromagnetic gun located on the left and right sides in the lower part of the train. This allows to realize turning of the vehicle, acceleration and braking. There is no need for switch turnouts, which greatly simplifies track design. Power is supplied either through storage capacitors or through a pantograph.

When solving the task of realizing an engine based on a large magnetic flux, one of the tasks is to position the engine relative to the track and select the geometry of the magnets located on the track.

The magnetic interaction of the coil with current and magnets on the track system is determined (in accordance with the provisions of the theory of electromagnetic fields and interaction of magnetic bodies) as:

$$F = (3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_m \cdot p_k) \cdot \cos(\alpha) / 4\pi\delta^4, \quad (1)$$

where δ is distance between the coil and magnets on the track;

$p_m = J_m \cdot V_m \cdot p_m$ – magnetic moment of the floor magnet system with a volume of $V_m = s_m \cdot h_m$ and homogeneous magnetization J_m , where s_m , h_m – area and height of the magnet;

$$p_k = J_k \cdot V_k = J_k \cdot h_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2 - \text{magnetic moment of the coil with a core of height } h_k \text{ and radius } r;$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (H/A^2) - \text{magnetic permeability in vacuum};$$

M – magnetic permeability of the core of the coil.

Formula (1) is valid for the case of coaxial arrangement of the magnetic coil and the magnet. This corresponds to the case of vertical repulsion of a coil with current from a magnet. The vehicle needs to move, for this it is necessary to tilt the coil with current, as a result of which there is a horizontal force moving the vehicle. It is logical to rotate the magnet together with the coil so that interaction planes are parallel and the alignment angle α is 90° . This would provide maximum acceleration and braking power. But in reality this cannot be done. In this case, it is necessary to give the magnet a cone shape with the alignment angle $\alpha = 90^\circ$ to ensure repulsive force. A change in the shape of the magnet entails a change in magnetization of a system of magnets located on the track. The magnetization (by magnetization vector) of a substance is the ratio of the total magnetic moment of the selected part of the substance to the volume of this part:

$$\overline{J_m} = \left(\sum_k \bar{p}_{m_k} \right) / (h_m \cdot s_m \cdot k), \quad (2)$$

where k – number of magnets in the allocated volume under the coil.

The value J_m changes with movement of the vehicle, since location of a part of the floor magnet system under the coil changes. We express J_m in terms of the power series:

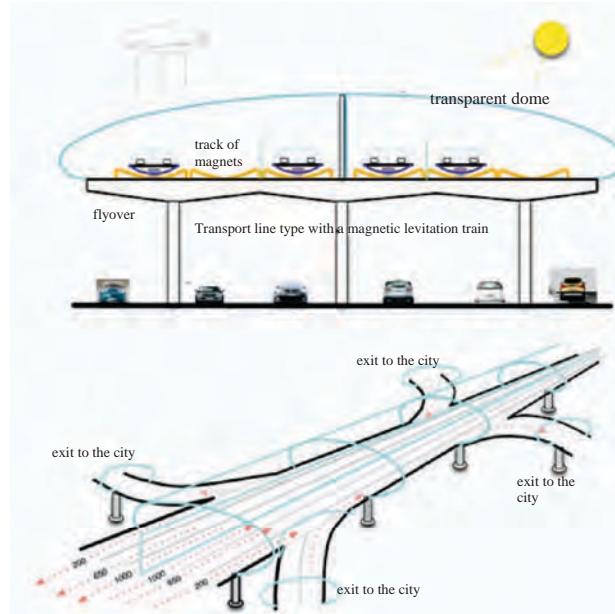
$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left(\sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_a}^\alpha \cdot a_{i_j}^\beta \cdot i^{i_j+i_a} \right) \right) / 4\pi(\delta)^4,$$

under restriction $\overline{J^m}_{min} \leq \overline{J^m} \leq \overline{J^m}_{max}$.

During movement, a change in the distance δ between the motor coil and magnets on the track and the alignment angle α between the coil and floor magnets can occur. We express $\cos(\alpha)$ in terms of a power series (*methods of mathematical algebra*):

$$\cos(\alpha) = \sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^\alpha \cdot i^{i_a},$$

under restrictions $\delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max}$, $\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$.



Pic. 3. Transparent dome with solar batteries above the flyover. Authors' drawing.

Substituting the latter formulas in (1) we obtain the series:

$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \left(\sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_j}^{\alpha} \cdot t^{i_j} \right) \cdot V_m \right) \cdot p_k \cdot \left(\sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^{\alpha} \cdot t^{i_a} \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4.$$

We apply the formula of the Cauchy theorem for multiplication of the polynomials J_m and $\cos(\alpha)$ (*theory and methods of mathematical algebra*):

$$\sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_j}^{\alpha} \cdot t^{i_j} \cdot \sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^{\alpha} \cdot t^{i_a} = \sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_a}^{\alpha} \cdot a_{i_j}^{\alpha} \cdot t^{i_j+i_a}. \quad (3)$$

Substituting (3) in (1) we get:

$$F = \left(3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left(\sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_a}^{\alpha} \cdot a_{i_j}^{\alpha} \cdot t^{i_j+i_a} \right) \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4. \quad (4)$$

Solution (4) under the condition: $4\pi \cdot (\delta)^4 > (\delta)_{min}$. This means that the electromagnetic coil of the engine should not come closer to the track magnets for a distance shorter than the minimum gap. The strengthened solution is when the condition is fulfilled with a constant distance δ : $4\pi \cdot (\delta)^4 = 1$.

Thus, the presented model provides the ability to track the change in acceleration and braking forces of the engine using a coil with a core with high magnetic permeability μ .

Traffic organization and track infrastructure

The infrastructure of HS railway transport should be based on the flyover design of the track. This will allow us to integrate traffic with a new type of electric transport, providing that

the lower part of the flyover road is equipped with the infrastructure for charging electric vehicles. This will create a secure track structure with multi-level interchange. Track infrastructure should provide year-round, weather-independent movement of HS railway transport. To achieve this goal, it is proposed to close the flyover with a transparent dome and place solar panels on the dome (Pic. 3).

The principles of construction, control and power supply, laid down in new vehicles, allow to organize multi-row traffic (two-way) and differentiated traffic along the tracks:

- speed up to 1000 km/h for freight and passenger transportation (Europe–Asia) in Russia;
- speed up to 650 km/h for intercity national transportation;
- speed up to 200 km/h for local urban and suburban transport in Russia.

Construction of track infrastructure should include ring flyovers in large cities and major settlements of Russia. There should be exits from the main highway to settlements to allow coverage of larger populated areas. It is advisable to envisage in large cities the construction of flyover railway transport of suburban traffic (for example, a large ring around the city) in order to cover remote residence areas.

Focus on designing of custom-made vehicles will significantly expand the range of mobile vehicles for individual use with the

number of passengers up to four people, which will give an additional impetus to development of this type of transport and emergence of personal vehicles.

The construction of a flyover for movement of vehicles should include the following features of traffic organization:

- specialization of tracks in speed and distance of transportation: 200 km/h for suburban traffic, 650 km/h for inter-regional traffic, up to 1000 km/h for continental transportation;
- organization of exits between specialized tracks, providing interchange between vehicles at the same level (overtaking, parking, etc.);
- organization of exits to cities and towns, platforms for passengers embarkation and disembarkation.

Track infrastructure should include vehicle service points:

- points for charging power storage devices and liquid helium levitation systems for LM;
- vehicle traffic control centers;
- connection to a single power supply system.

Track infrastructure should provide the necessary places for installation of specialized equipment for traffic management, control and monitoring of vehicles, access of maintenance employees to structural elements of the track and the equipment installed on it. It is necessary to provide in case of an emergency the possibility of relocation of human forces and small-sized equipment.

Conclusion

The suggested proposals allow us to approach the development of the concept of high-speed transportation systems, based on the use of low-maintenance service technologies, energy-efficient technologies using renewable energy sources, and systems of inductive energy transfer to mobile vehicles using the principle of magnetic levitation. Further steps will require searching for solutions to numerous complex engineering problems, development of new technology.

REFERENCES

1. Batiss, F. Combined systems of public rail transport [*Kombinirovannie sistemy obshchestvennogo reisovogo transporta*]. *Zheleznie dorogi mira*, 2000, Iss. 8, pp. 28–36.
2. TR TS003/2011. Technical regulation of the Customs Union «On safety of railway transport infrastructure» (as amended on December 9, 2011) [TR TS003/2011. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta» (s izmeneniyami na 9 dekabrya 2011 goda)*]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>. Last accessed 14.11.2019.
3. IEC62425. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety related electronic systems for signaling, 2007. [Electronic resource]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4170895>. Last accessed 14.11.2019.
4. IEC62280. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety-related communication in transmission systems, 2014. [Electronic resource]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5322077>. Last accessed 14.11.2019.
5. Kiselev, I. P., Sotnikov, E. A., Sukhodoev, V. S. High-speed railways [*Vysokoskorostnie zheleznie dorogi*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2001, 59 p.
6. Zaitsev, A. A., Shmatchenko, V. V., Plekhanov, P. A., Roenkov, D. N., Ivanov, V. G. The modern regulatory framework for ensuring safety of high-speed rail transport [*Sovremennaya normativnaya baza obespecheniya bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2015, Iss. 5, pp. 61–63.
7. Shmatchenko, V. V., Plekhanov, P. A. The modern regulatory framework for ensuring safety of magnetic levitation transport [*Sovremennaya normativnaya baza obespecheniya bezopasnosti magnitolevitatsionnogo transporta*]. *Transportnie sistemy i tekhnologii*, 2015, Iss. 2, pp. 127–142.
8. TR TS002/2011. Technical regulation of the Customs Union «On safety of high-speed rail. List of amending documents» (as amended by the decision of the Commission of the Customs Union dated December 9, 2011, No. 859, decisions of the board of the Eurasian Economic Commission dated December 2, 2013, No. 285, dated February 3, 2015, No. 11, dated June 7, 2016, No. 62, dated June 14, 2016, No. 75) [TR TS002/2011. *Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta. Spisok izmenyayushchikh dokumentov*] (v red. resheniya komissii Tamozhennogo soyuza ot 09.12.2011 g. № 859, reshenii kollegii Evrazijskoj ekonomicheskoi komissii ot 02.12.2013 g. № 285, ot 03.02.2015 g. № 11, ot 07.06.2016 g. № 62, ot 14.06.2016 g. № 75)]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/902293437>. Last accessed 14.11.2019.
9. The list of standards containing the rules and methods of research (testing) measurements, including the rules for sampling, necessary for application and implementation of the requirements of the technical regulation of the Customs Union «On safety of railway rolling stock» and assessment of conformity of objects of technical regulation (approved by the decision of the Commission of the Customs Union of July 15, 2011 No. 710 List of amending documents (as amended by the decisions of the board of the Eurasian Economic Commission dated February 3, 2015 No. 11, dated June 7, 2016 No. 62) [Perechen' standartov, soderzhchikih pravila i metody issledovanii (ispytani) izmerenii, v tom chisel pravila otbora obraztsov, neobkhodimie dlya primeneniya i ispolneniya trebovaniii tekhnicheskogo reglamenta Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava» i osushchestvleniya otsenki sootvetstviya ob'ektov tekhnicheskogo regulirovaniya (utv. resheniem komissii Tamozhennogo soyuza ot 15 iyulya 2011 g. № 710 Spisok izmenyayushchikh dokumentov (v red. reshenii kollegii Evrazijskoj ekonomicheskoi komissii ot 03.02.2015 g. № 11, ot 07.06.2016 g. № 62)].

**АНАЛИЗ****74**

Сравнение и прогнозирование пассажиропотоков разных видов транспорта.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ****94**

Времена года влияют не только на погодные условия, но и на спрос на перевозки.

ПАССАЖИРСКИЙ ТРАНСПОРТ**116**

На кого ложится бремя компенсации затрат на обеспечение льготного проезда.

АВИАПЕРЕВОЗКИ**134**

Взаимодействие факторов, роль регионов при моделировании спроса.

ANALYSIS**84**

Comparing and forecasting passenger flows of different modes of transport.

TRANSPORT OPERATION EFFICIENCY**105**

Seasons have impact on weather conditions and... on the demand.

PASSENGER TRANSPORT**125**

Who will compensate for social benefits of passengers? Interaction of people, public transport administrations and companies.

AIR PASSENGER TRANSPORTATION**140**

Interaction of factors and regions' roles for simulating the demand.

ЭКОНОМИКА • ECONOMICS



Сравнение методик прогнозирования междугородних пассажиропотоков на различных видах транспорта



Никита МАКУЦКИЙ



Максим ФАДЕЕВ



Павел ЧИСТЯКОВ

Макуцкий Никита Александрович – ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия.
Фадеев Максим Сергеевич – ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия.
Чистяков Павел Александрович – ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия*.

Статья посвящена методическим особенностям прогнозирования междугородних пассажиропотоков в условиях трансформации транспортной системы России, а именно, появления нового вида транспорта – скоростного железнодорожного сообщения. Цель статьи – изложить авторскую методику прогнозирования пассажиропотоков и доказать её более высокую эффективность относительно методик, применяемых в России сегодня. В статье рассмотрен исторический аспект прогнозирования пассажиропотоков, проанализированы сильные и слабые стороны существующих подходов к их моделированию. Авторы отмечают невозможность моделирования количества поездов при изменениях параметров транспортного сообщения только на основании закономерностей, выявленных по ретроспективным рядам данных (наиболее распространённый подход к прогнозированию пассажиропотоков в России).

В статье предлагается альтернативная методика, основанная на расчёте совокупных затрат пассажира при совершении поездки, которые зависят от стоимости проезда, потерю времени, частоты отправления транспортных

средств и их комфортности, а также учитывающая динамику ключевых социально-экономических показателей. Методика позволяет минимизировать погрешности измерений, возникающие из-за недостатка первичной информации о некоторых видах пассажирского транспорта, а также рассчитать индуцированный спрос на поездки, возникающий вследствие улучшения характеристик сообщения. Авторами определены и выражены в количественных показателях основные факторы перераспределения пассажиропотока на нововведённые виды транспорта.

В статье рассмотрен опыт прогнозирования пассажиропотока по предлагаемой методике на примере четырёх корреспонденций, где было начато движение скоростных поездов типа «Ласточка». Результаты прогнозирования сопоставлены с фактическими объёмами перевозок, на основании чего сделаны выводы об эффективности методики прогнозирования и её применимости в современных реалиях российской транспортной системы. Выявлены преимущества и недостатки предложенного подхода к прогнозированию пассажиропотоков, а также определены возможности его распространения и дальнейшего развития в России.

Ключевые слова: транспорт, методы прогнозирования, пассажиропоток, транспортный спрос, транспортная подвижность населения, скоростной поезд.

*Информация об авторах:

Макуцкий Никита Александрович – ведущий эксперт ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия, namakutskiy@infraeconomy.com.

Фадеев Максим Сергеевич – директор по экспертной работе ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия, msfadеev@infraeconomy.com.

Чистяков Павел Александрович – вице-президент ООО «Центр Экономики Инфраструктуры», Москва, Россия, pachistyakov@infraeconomy.com.

Статья поступила в редакцию 14.01.2020, принятая к публикации 03.03.2020.

For the English text of the article please see p. 84.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЗАДАЧИ

Современные подходы к прогнозированию междугородних пассажиропотоков основываются преимущественно на математических моделях с многофакторными регрессионными зависимостями.

Математические модели прогнозирования пассажиропотоков в большинстве своём основываются на классической четырёхступенчатой модели [1]. Данный подход, впервые использованный в 1950-х годах, позволяет получить картину распределения пассажиропотока по сети на основании вводных предпосылок генерации спроса на поездки и параметров транспортной системы. Моделирование осуществляется в четыре этапа:

- 1) определение точек генерации и притяжения поездок и их потенциала;
- 2) распределение поездок по сети;
- 3) выбор вида транспорта;
- 4) составление матрицы корреспонденций «Пункт_i—Пункт_j» с абсолютным значением пассажиропотока по каждому из имеющихся на корреспонденции видов транспорта.

Распределение количества поездок между точками генерации и притяжения по маршрутам и видам транспорта в классической четырёхступенчатой модели осуществляется по принципу минимизации транспортных издержек и ограничениям пропускной способности инфраструктуры. То есть, пассажир, совершающий поездку из Пункта 1 в Пункт 2, будет выбирать кратчайший маршрут и наиболее дешёвый по совокупным транспортным издержкам вид транспорта до тех пор, пока не будет достигнут лимит провозной способности по данному маршруту и виду транспорта.

Дальнейшее развитие данной концепции прогнозирования пассажиропотока было направлено в сторону ухода от формализованного рационального обоснования выбора пассажиром маршрута или вида транспорта. Тезис об иррациональности потребительского поведения оказал влияние на трансформацию алгоритмов моделирования. Так, на этапе распределения поездок по видам транспорта и маршрутам стала учитываться не дифференциация совокупной стоимости поездки, а дифференциация субъективной значимо-

сти параметров сообщения, определяемая на основе регрессионной зависимости пассажиропотоков и параметров сообщения по видам транспорта и маршрутам по ретроспективным временными рядам.

Для решения задач по моделированию пассажиропотока на корреспонденции «Пункт 1—Пункт 2» высокую популярность приобрели модели анализа временных рядов ARMA (autoregressive moving average) и ARIMA (autoregressive integrated moving average, модель Бокса–Дженкинса), математически представляющие собой обобщение модели авторегрессии и модели скользящего среднего [3].

В рамках подхода, основанного на регрессионном анализе временных рядов, прогноз пассажиропотока по корреспонденции «Пункт 1—Пункт 2» в случае ввода нового вида транспорта (или изменения параметров существующего) осуществляется следующим образом.

На первом этапе прогнозируется общий спрос на поездки, определяющийся характеристиками мобильности населения. Прогноз суммарного спроса на поездки по корреспонденции «Пункт 1—Пункт 2» осуществляется на основании регрессионной зависимости ретроспективных данных пассажиропотока от социально-экономических и демографических параметров пунктов сообщения.

На втором этапе осуществляется прогноз переключения пассажиропотока на новый вид транспорта. Классическим инструментом расчёта переключения в настоящее время является модель дискретного выбора вида транспорта. Принцип её работы заключается в использовании выявленной зависимости изменения пассажиропотока от изменения параметров сообщения. Иными словами, модель «обучается» реакции спроса на поездки различными видами транспорта на ретроспективные изменения времени в пути, стоимости проезда, частоты сообщения и комфортности. Так выявляется эластичность пассажиропотока по вышеупомянутым параметрам, которая и определяет долю переключаемых пассажиров в случае их изменения.

Альтернативный подход с использованием метода баланса обобщённых транспортных издержек в настоящее время ис-



пользуется преимущественно как корректирующее дополнение к методам регрессионного анализа. Однако, в некоторых случаях, особенно при прогнозировании пассажиропотока для принципиально нового вида сообщения, данному методу отводится ведущая роль. Например, национальная компания французских железных дорог SNCF использует метод баланса обобщённых издержек при прогнозировании переключений на вводимые в эксплуатацию высокоскоростные магистрали [4]. Для каждого конкретного пассажира на конкретной корреспонденции определяется оптимальный вид транспорта для совершения поездки. Критерием оптимальности является минимальное значение обобщённых издержек, которое рассчитывается по формуле:

$$C_g = (P_{\text{journey}} + P_{\text{access}}) + h \cdot (T_{\text{journey}} + T_{\text{access}}), \quad (1)$$

где C_g – обобщённые издержки;

P_{journey} – стоимость основной поездки, руб.;

P_{access} – стоимость вспомогательных поездок (чтобы добраться до основного транспорта), руб.;

T_{journey} – время основной поездки, мин;

T_{access} – время вспомогательных поездок, мин;

h – стоимость времени, руб.

Следовательно, нововведённая высокоскоростная железнодорожная магистраль переключит на себя то количество пассажиров, для которого она окажется наиболее выгодным видом транспорта с точки зрения обобщённых издержек.

Отдельным этапом моделирования изменения пассажиропотока является прогноз индуцированного (или деиндуцированного) спроса на поездки, вызванного изменением транспортной доступности Пункта 1 и Пункта 2 относительно друг друга. Изменение общего спроса на поездки в таком случае рассчитывается по закону гравитации, где в качестве массы Пунктов 1 и 2 выступает объём платёжеспособного спроса, концентрирующийся в них, а в качестве расстояния между ними – средневзвешенные обобщённые (денежные и временные) затраты на поездку до и после моделируемого изменения [5].

Говоря об основных проблемах использования общепринятых мировых подходов

к моделированию и прогнозированию междугородних пассажиропотоков [например, 6–9] в России, необходимо отметить крайне высокую неоднородность развития инфраструктуры, платёжеспособности населения и, как следствие, транспортного поведения жителей. Поэтому применение единых коэффициентов чувствительности к изменению параметров видов транспорта (в первую очередь времени в пути, стоимости проезда, частоты сообщения, уровня комфорта) для всей территории России некорректно. Необходимо, как минимум, проводить кластеризацию корреспонденций и рассчитывать чувствительность пассажиропотока к данным показателям индивидуально, причём кластеров должно быть достаточно много для того, чтобы минимизировать погрешность. Однако чем больше выделяется кластеров, тем меньше становится обучающая выборка корреспонденций в каждом из них. В связи с этим методики оценки переключения пассажиропотоков между видами транспорта, основанные на модели дискретного выбора, могут давать некорректные результаты в случае, если задаваемые прогнозируемые параметры видов транспорта не находятся в диапазоне, наблюдаемом в ретроспективных данных.

Большинство моделей, используемых в зарубежных странах для прогнозирования пассажиропотоков, крайне требовательны к качеству исходных статистических данных, которые в них закладываются, и к величине динамического ряда, по которому определяются регрессионные зависимости. К сожалению, в России преимущество использования методически более сложных алгоритмов нивелируется тем, что объём и качество исходных данных значительно уступает статистическим данным большинства Европейских стран, США или Японии.

В России достоверная статистическая информация в разрезе конкретных корреспонденций (пары населённых пунктов) имеется по воздушному и железнодорожному транспорту, что, к сожалению, недостаточно для построения корректного прогноза совокупного транспортного спроса. По автобусному транспорту сведения имеются лишь для ограниченного набора корреспонденций, к тому же,

несмотря на борьбу с нелегальными перевозчиками, в большинстве регионов по-прежнему высока доля теневых перевозок в структуре пассажиропотока.

Оценка пассажиропотоков на личном автомобильном транспорте – отдельная методически сложная задача, и официальной статистики о перемещениях пассажиров даже на межрегиональном уровне не существует. Таким образом, для дооценки существующего пассажиропотока приходится прибегать к использованию социологических методов исследования и масштабным полевым наблюдениям. Некорректные данные всего лишь по одной корреспонденции в обучающей выборке могут существенно исказить результаты прогнозирования.

В данных условиях применение более простых и прозрачных алгоритмов, где на каждом этапе расчётов возможно оценить промежуточный результат (имеющий физический смысл), даёт даже более точный результат прогнозирования по сравнению с более совершенными и математически сложными методиками, представляющими собой «чёрный ящик» при проведении исследования.

Целью данной статьи является формирование набора необходимых исходных данных и алгоритмов, минимизирующих, с точки зрения авторов данной статьи, риск получения значительной ошибки при прогнозировании междугородних пассажиропотоков и их апробация на примере недавно введённых маршрутов скоростного железнодорожного сообщения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных данных для моделирования и прогнозирования пассажиропотоков по корреспонденциям предлагается использовать следующие наборы данных:

1. Информация о существующих пассажиропотоках и параметрах деятельности видов транспорта.

1.1. Ретроспективные данные о пассажиропотоках в разрезе по видам транспорта. В предлагаемой методике используются ряды данных за 2005–2018 годы, т.к. только в пределах этого периода авторы располагают достоверной статистикой.

Среди видов транспорта выделяются¹ воздушный, автобусный, личный автомобильный и железнодорожный транспорт. Последний из-за сильной неоднородности рассматривается отдельно по подвидам: плацкарт (к данной категории также относятся общие и сидячие вагоны, за исключением вагонов в составе скоростных и ускоренных поездов), купе (также относится пассажиропоток в вагонах категорий СВ, люкс и мягкий) и скоростные поезда.

1.2. Усреднённые за годовой период параметры деятельности видов транспорта по прогнозируемым корреспонденциям за период с 2005 по 2018 годы: время в пути, стоимость проезда, частота сообщения, уровень комфорта транспортных средств для пассажиров².

2. Социально-экономические показатели.

2.1. Информация о валовом региональном продукте (по субъектам РФ).

2.2. Информация о структуре населения по доходным группам по субъектам РФ в соответствии с классификацией Росстата (численность жителей региона с доходами менее 7 тыс. руб., от 7 до 10 тыс. руб., от 10 до 14 тыс. руб., от 14 до 19 тыс. руб., от 19 до 27 тыс. руб., от 27 до 45 тыс. руб., от 45 до 60 тыс. руб., более 60 тыс. руб.).

2.3. Информация о численности населения пунктов генерации пассажиропотока (населённых пунктов или городских агломераций).

Источником данных по социально-экономическим показателям является Федеральная служба государственной статистики (Росстат).

Блок прогнозирования пассажиропотоков по матрице корреспонденций в разрезе видов транспорта, состоит из трёх основных компонент:

- прогнозирование суммарного спроса на пассажирские перевозки всеми видами транспорта по корреспонденции;
- распределение суммарного пассажиропотока по видам транспорта;
- прогнозирование индуцированного спроса.

¹ При необходимости в модель может быть добавлен любой другой вид/подвид транспорта со своими параметрами.

² Расчёт интегрального индекса комфорта будет приведён ниже.



Суммарный спрос на пассажирские перевозки зависит от ряда социально-экономических показателей. По результатам проведённого факторного анализа, среди всех социально-экономических показателей наибольшую корреляцию с транспортной подвижностью населения региона³ продемонстрировал показатель валового регионального продукта ($r=0,88$). На основании ретроспективных данных была выявлена регрессионная зависимость между транспортной подвижностью населения и ВРП.

При росте ВРП увеличивается и транспортная подвижность населения, следовательно, при прочих равных условиях, и суммарный пассажиропоток на корреспонденции. Таким образом, суммарный пассажиропоток на прогнозируемый год можно определить по следующей формуле:

$$F_{\text{forecast}} = F_{\text{current}} \cdot GDP_{\Delta} \cdot k_{\text{gdp-flow}} \cdot Pop_{\Delta}, \quad (2)$$

где F_{forecast} и F_{current} – прогнозируемый и существующий суммарный пассажиропоток на корреспонденции, чел.;

GDP_{Δ} – прирост ВРП регионов, соединяемых корреспонденцией;

$k_{\text{gdp-flow}}$ – коэффициент чувствительности изменения транспортной подвижности населения к ВРП⁴;

Pop_{Δ} – прирост численности населения территорий, соединяемых корреспонденцией.

Прирост ВРП регионов, соединяемых корреспонденцией, рассчитывается по следующей формуле:

$$GDP_{\Delta} = X \cdot \frac{GRP_{\text{future 1}}}{GRP_{\text{current 1}}} + Y \cdot \frac{GRP_{\text{future 2}}}{GRP_{\text{current 2}}}, \quad (3)$$

где GDP_{Δ} – прирост ВРП регионов на соответствующий год;

$GRP_{\text{future 1}}$, $GRP_{\text{future 2}}$ – прогнозируемый ВРП в регионе 1 и регионе 2;

$GRP_{\text{current 1}}$, $GRP_{\text{current 2}}$ – текущий ВРП в регионе 1 и регионе 2;

X и Y – доли пассажиропотока, генерируемые регионом 1 и регионом 2.

В случае, если населённые пункты маршрута расположены в пределах одного региона, в расчётах используются данные только по этому региону.

³ Количество поездок за пределы населённого пункта, совершаемое всеми видами транспорта на душу населения.

⁴ Определяется по результатам обучения модели на ретроспективных данных.

Аналогично рассчитывается прирост численности населения территорий, соединяемых корреспонденцией:

$$Pop_{\Delta} = X \cdot \frac{Pop_{\text{future 1}}}{Pop_{\text{current 1}}} + Y \cdot \frac{Pop_{\text{future 2}}}{Pop_{\text{current 2}}}, \quad (4)$$

где Pop_{Δ} – прирост численности населения ячеек, соединяемых корреспонденцией на соответствующий год;

$Pop_{\text{future 1}}$, $Pop_{\text{future 2}}$ – прогнозируемая численность населения ячеек 1 и 2, чел.;

$Pop_{\text{current 1}}$, $Pop_{\text{current 2}}$ – текущая численность населения ячеек 1 и 2, чел.;

X и Y – доли пассажиропотока, генерируемые регионом 1 и регионом 2.

Распределение суммарного прогнозируемого пассажиропотока по видам транспорта производится на основании совокупности влияющих на выбор пассажира четырёх факторов: времени в пути, стоимости проезда, частоты сообщения, уровня комфорта.

Каждый из показателей конвертируется в стоимостное выражение и влияет на показатель совокупных транспортных затрат на поездку по данной корреспонденции для пассажира. Совокупные транспортные затраты рассчитываются для каждого вида (подвида) транспорта отдельно.

Показатель совокупных транспортных затрат рассчитывается как сумма стоимости проезда и стоимости потраченного времени:

$$TTC = C_{\text{travel}} + C_{\text{time}}, \quad (5)$$

где TTC – совокупные транспортные затраты, руб.;

C_{travel} – стоимость проезда⁵, руб.;

C_{time} – стоимость потраченного времени (с поправкой на уровень комфорта поездки), руб.;

$$C_{\text{travel}} = C_{t1} + NCT + C_{t2}, \quad (6)$$

где C_{t1} – средневзвешенная стоимость проезда от пункта отправления до вокзала/автовокзала/аэропорта, на котором начинается основной сегмент поездки данной корреспонденции, руб.;

⁵ Полная стоимость проезда для общественного транспорта (с учётом стоимости проезда между вокзалами/автовокзалами/аэропортами и пунктами отправления/назначения), либо расчётная стоимость поездки для личного автомобильного транспорта, включающая в себя: 1) стоимость затраченного топлива, 2) стоимость техобслуживания на 1 км пробега, умноженную на протяжённость корреспонденции, 3) стоимость использования инфраструктуры, в случае, если за него взимается плата.

NCT – средняя стоимость проезда на основном сегменте поездки, руб.;

C_{t_2} – средняя стоимость проезда от вокзала/автовокзала/аэропорта, на котором заканчивается основной сегмент поездки данной корреспонденции до пункта назначения.

Стоимость потраченного времени зависит от времени в пути, частоты сообщения (и, как следствие, среднего времени ожидания отправления транспортного средства), а также уровня дохода пассажира (рассчитывается для каждой группы пассажиров по уровню доходов). Также стоимость потраченного времени корректируется на уровень дискомфорта, который испытывает пассажир во время поездки при использовании определённого вида (подвида) транспорта и при определённой продолжительности поездки.

Рассчитывается стоимость потраченного времени по следующей формуле:

$$C_{\text{time}} = (T_{\text{travel}} \cdot K_{\text{comf}} + (1/Fr) \cdot (1-K_{fr}) \cdot I_h), \quad (7)$$

где C_{time} – стоимость потраченного времени (с поправкой на уровень комфорта поездки), руб.;

T_{travel} – среднее время в пути пассажира от пункта отправления до пункта прибытия, мин;

K_{comf} – коэффициент дискомфорта поездки;

Fr – частота сообщения (число рейсов в сутки), ед.;

K_{fr} – коэффициент эластичности к частоте сообщения⁶;

I_h – средняя стоимость часа рабочего времени для пассажира с определённой категорией доходов.

Время в пути на корреспонденции складывается из нескольких сегментов поездки: $T_{\text{travel}} = T_{t_1} + T_{\text{waiting}} + NTT + T_{t_2}$, (8) где T_{travel} – время в пути пассажира от пункта отправления до пункта прибытия, мин;

T_{t_1} – среднее время в пути от пункта отправления до вокзала/автовокзала/аэропорта, на котором начинается основной сегмент поездки данной корреспонденции, мин;

T_{waiting} – среднее время, закладываемое пассажиром на пересадку при смене видов транспорта в ходе поездки, мин;

⁶ Определяется по результатам обучения модели на ретроспективных данных.

NTT – чистое время поездки на основном сегменте, мин;

T_{t_2} – среднее время в пути от вокзала/автовокзала/аэропорта прибытия до пункта назначения, мин.

Пунктом отправления и пунктом назначения для территориальной ячейки является геометрический центр системы расселения ячейки.

Коэффициент комфорта поездки зависит от уровня комфорта самого транспортного средства и коэффициента эластичности к уровню комфорта⁷. Коэффициент комфорта определяется для каждого вида транспорта и приобретает значения от 0 до 1. Его значение рассчитывается на основании результатов социологических исследований пассажиров на предмет комфортности поездки при использовании различных видов транспорта.

Средняя стоимость часа рабочего времени зависит от среднемесячного уровня дохода пассажира данной группы населения и среднего количества рабочих часов в году:

$$I_h = \frac{I_m}{\frac{247}{12} \cdot 8}, \quad (9)$$

где I_m – среднемесячный доход пассажира определённой группы населения по уровню дохода, руб.;

247 – среднее число рабочих дней в году;

12 – число месяцев в году;

8 – среднее число рабочих часов в рабочем дне.

На следующем этапе рассчитывается отношение показателя совокупных транспортных затрат на данном виде транспорта к минимальному показателю среди всех видов транспорта:

$$K_{\text{ttc}} = \text{TTC}_i / \text{TTC}_{\min}, \quad (10)$$

где K_{ttc} – коэффициент отношения совокупных транспортных затрат для данного вида транспорта к минимальному значению среди всех видов транспорта;

TTC_i – совокупные транспортные затраты для данного вида транспорта, руб.;

TTC_{\min} – минимальное значение совокупных транспортных затрат среди всех видов транспорта для данной корреспонденции, руб.



⁷ Определяется по результатам обучения модели на ретроспективных данных для каждого вида транспорта и корреспонденции.

Коэффициент вероятности выбора вида транспорта рассчитывается следующим образом:

$$K_p = \frac{1}{K_{\text{ttc}}^{\text{Ketc}}}, \quad (11)$$

где K_p – коэффициент вероятности выбора вида транспорта;

K_{etc} – коэффициент эластичности пассажиропотока к изменению совокупных транспортных затрат⁸.

В соответствии с коэффициентом вероятности выбора вида транспорта распределяется суммарный прогнозируемый пассажиропоток:

$$F_i = \frac{K_p}{\sum_{i=1}^n K_p} \cdot F_{\text{forecast}}, \quad (12)$$

где F_i – прогнозируемый пассажиропоток на данном виде транспорта, чел.;

K_p – коэффициент вероятности выбора вида транспорта;

F_{forecast} – прогнозируемый суммарный пассажиропоток на корреспонденции, чел.

Таким образом, для каждого вида (подвида) транспорта находится прогнозируемое значение пассажиропотока на корреспонденции.

Если какие-либо параметры видов транспорта изменяются с течением времени, средневзвешенные совокупные транспортные затраты также изменятся. В случае, если совокупные транспортные затраты в результате изменений параметров времени в пути, стоимости проезда, частоты сообщения и уровня комфорта снижаются, возникает индуцированный спрос (пассажиры начинают совершать поездки чаще, либо начинают совершать поездки те люди, кто раньше вовсе не совершал поездок на данной корреспонденции). В случае если совокупные транспортные затраты возрастают, возникает обратная ситуация (спрос снижается). В общем виде формула расчёта индуцированного спроса выглядит следующим образом:

$$F_{\text{ind}} = F_{\text{forecast}} \cdot \left(\left(\frac{TTC_{\text{base}}}{TTC_{\text{model}}} \right)^{K_{\text{nc}}} - 1 \right), \quad (13)$$

где F_{ind} – прогнозируемый индуцированный спрос, чел.;

TTC_{base} – средневзвешенные совокупные транспортные затраты при существующих параметрах видов транспорта, руб.;

TTC_{model} – средневзвешенные совокупные транспортные затраты при моделируемых параметрах видов транспорта, руб.;

K_{ttc} – коэффициент эластичности к совокупным транспортным затратам.

Объём прогнозируемого индуцированного спроса суммируется с базовым прогнозируемым пассажиропотоком на том виде транспорта, за счёт которого произошло снижение совокупных транспортных затрат для данной корреспонденции. Данная величина и будет являться итоговым объёмом прогнозируемого пассажиропотока на данном виде транспорта и корреспонденции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вышеописанная методика прогнозирования пассажиропотока применялась в научно-исследовательских работах, связанных с разработкой крупных инфраструктурных проектов, в частности, высокоскоростных железнодорожных магистралей Москва–Нижний Новгород и Москва–Санкт-Петербург, перспективной сети скоростных автомобильных дорог ГК «Автодор». Среди частично реализованных к настоящему моменту транспортных проектов, в процессе проработки опиравшихся на осуществлённый по данной методике прогноз, следует упомянуть маршрутную сеть скоростных электропоездов «Ласточка». Скоростные электропоезда «Ласточка» назначаются на междугородние маршруты на сети ОАО «РЖД» с 2012 года. В 2014 году ООО «ЦЭИ»⁹ выполнило научно-исследовательскую работу по разработке плана по развитию маршрутной сети поездов «Ласточка», в рамках которой был сделан прогноз пассажиропотока по перспективным маршрутам скоростных поездов на период до 2035 года в разрезе корреспонденций «станция–станция».

Рассмотрим прогнозные и фактические значения пассажиропотока на 2018 год по главным корреспонденциям четырёх маршрутов скоростного сообщения, которые были введены в эксплуатацию с максимально близкими к использованным при прогнозировании параметрами сообщения. Для осуществления прогноза пассажиро-

⁸ Определяется по результатам обучения модели на ретроспективных данных.

⁹ Общество с ограниченной ответственностью «Центр Экономики Инфраструктуры».

Таблица 1

Предполагаемые параметры сообщения на 2018 год, использованные в качестве вводных данных для моделирования пассажиропотока

Корреспонденция	Вид сообщения	Стоимость проезда, руб.	Время в пути, часов	Частота сообщения, рейсов в сутки
Москва–Курск	Плацкарт	1324	7,2	10,3
	Купе	2444	7,2	9,3
	Ласточка	982	5,7	2,0
	Автобус	850	9,0	3,3
	Личный автомобиль	1208	6,7	Неограниченная
Москва–Орёл	Плацкарт	1179	5,3	11,3
	Купе	1861	5,3	9,3
	Ласточка	697	4,1	4,0
	Автобус	650	6,5	10,0
	Личный автомобиль	936	4,5	Неограниченная
Москва–Смоленск	Плацкарт	950	5,8	7,0
	Купе	1652	5,8	7,0
	Ласточка	900	4,1	3,0
	Автобус	900	6,5	34,0
	Личный автомобиль	1082	4,8	Неограниченная
Москва–Тверь	Плацкарт	722	2,2	8,0
	Купе	1018	2,2	8,0
	Ласточка	510	1,7	12,0
	Пригородный поезд	390	3,0	7,0
	Личный автомобиль	447	2,6	Неограниченная

Источник: составлено авторами.

потока для исследуемых корреспонденций была собрана база данных параметров существующих видов транспорта и заданы перспективные параметры скоростного железнодорожного сообщения.

Таблица 2 содержит прогнозные и фактические значения пассажиропотока, обслуживаемого скоростными поездами «Ласточка» по главным корреспонденциям вышеуказанных маршрутов. Фактический пассажиропоток отклоняется от сделанного в рамках НИР прогноза не более чем на 5 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из результатов прогнозирования следует, что скоростные поезда «Ласточка» на исследуемых корреспонденциях к 2018 году должны были занять от 25 до 50 % рынка пассажирских перевозок, что фактически и произошло. Помимо значительных переключений пассажиров с альтернативных видов транспорта, важным источником пассажиропотока стал существенный индуцированный спрос на поездки: от 10 до 15 % пассажиров поездов «Ласточка» вообще не совершили бы свою поездку

**Таблица 2
Прогнозные и фактические значения пассажиропотока за 2018 год**

Корреспонденция	2018 (прогноз)	2018 (факт)
Москва–Смоленск	342 359	356 426
Москва–Курск	311 173	327 171
Москва–Орёл	417 989	434 179
Москва–Тверь	2 292 005	2 407 746

Источник: составлено авторами.

в случае отсутствия скоростного железнодорожного сообщения.

В силу интенсивности деловых и культурно-бытовых связей и высоких стоячих доходов населения на корреспонденциях между Москвой и соседними регионами существует высокий спрос на «утренние» или «вечерние» поездки, проходящие без потери ночи или дня на дорогу. Пассажиры, совершающие такие поездки, крайне чувствительны ко времени в пути. Запуск поездов «Ласточка» в сочетании с их удобным временем отправления и прибытия позволил сделать возможны-



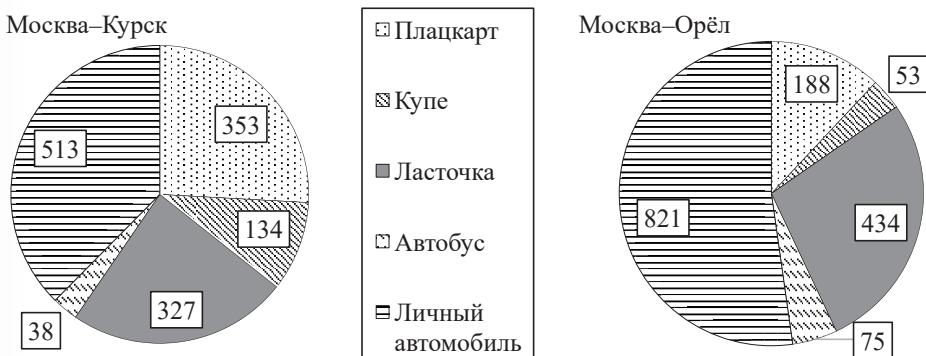


Рис. 1. Фактическая структура пассажиропотока на корреспонденции Москва–Курск и Москва–Орёл, 2018 г., тыс. пассажиров. Источник: составлено авторами.



Рис. 2. Фактическая структура пассажиропотока на корреспонденции Москва–Смоленск и Москва–Тверь, 2018 г., тыс. пассажиров. Источник: составлено авторами.

ми такие поездки в Москву из Смоленска, Орла и Курска и существенно упростил возможность совершения таких поездок из Твери.

Переключения пассажиров на скоростные поезда осуществлялись со всех альтернативных видов транспорта, включая личный автомобильный. На первых трёх корреспонденциях наибольший отток пассажиров ощутили автобусный и традиционный железнодорожный (плацкарт) транспорт. На корреспонденции Москва–Тверь основной базой для переключения пассажиров на поезда «Ласточка» послужили классические пригородные электропоезда – в результате запуска скоростного сообщения они потеряли около 90 % годового пассажиропотока.

Данный прогноз не мог быть корректно осуществлён с помощью модели дис-

кретного выбора вида транспорта, основанной на регрессионной ретроспективной зависимости изменения пассажиропотока от изменения параметров сообщения, потому что в данном случае моделируется спрос на принципиально новую транспортную услугу. Поезда «Ласточка» следуют по вышеперечисленным маршрутам значительно быстрее альтернативных видов транспорта, при этом обеспечивается конкурентоспособная стоимость проезда (табл. 1). Кроме того, поезда «Ласточка» характеризуются более высоким уровнем комфорта относительно конкурирующих с ними автобусов и традиционного железнодорожного сообщения. Базы данных для корректного обучения регрессионной модели, с помощью которой можно было бы спрогнозировать спрос на поезда «Ласточка» на момент осуществления прогноза не было,

поскольку в ретроспективе подобных нововведений было очень мало. Более того, в зависимости от типа корреспонденции и степени развития конкуренции с другими видами сообщения, одинаковые изменения параметров могут привести к различным изменениям структуры и суммарного объёма пассажиропотока. Например, сокращение времени следования ночных поездов с 10 до 7,5 часов (на 25 %) вызовет меньший прирост пассажиропотока, нежели сокращение времени следования дневного экспресса с 4 до 3 часов (на те же 25 %), потому что стоимость времени у пассажира ночных поездов ниже, чем у пассажира дневного экспресса. Это невозможно спрогнозировать без учёта такого параметра, как стоимость единицы времени пассажира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная выше методика прогнозирования пассажиропотоков совпадает с наиболее распространёнными математическими подходами, основанными на регрессионном анализе динамических рядов, в области прогнозирования суммарного спроса на поездки. Однако рассматриваемый подход отличается большей прозрачностью в части расчёта распределения пассажиров между видами транспорта. Преимуществом предложенного метода является количественное выражение параметров сообщения через итоговые затраты на поездку для дифференцированных групп пассажиров. Модель распределяет пассажиропоток не по результатам обучения на ретроспективных данных, а на основании совокупных транспортных затрат пассажиров на поездку. Это позволяет с более высокой точностью моделировать изменения параметров сообщения, не имеющие аналогов в ретроспективе. Прогноз пассажиропотока для новых маршрутов скоростных поездов «Ласточка» показал, что чувствительность пассажиропотока к изменению времени в пути и комфорtnости поездки могут быть различными, в зависимости от масштаба изменений данных параметров, поскольку транспортное поведение разных групп пассажиров определяют разные параметры сообщения. В частности, грамотный учёт

стоимости времени пассажиров позволил выявить на этапе прогнозирования пассажиропотока «скрытый потенциал» скоростного сообщения, не учитываемый при использовании регрессионно-аналитического подхода. Главным недостатком предлагаемой методики является недоучёт иррациональности поведения потребителей. Те или иные виды транспорта на определённых корреспонденциях могут быть экономически необоснованно популярны или, наоборот, не популярны, в силу ментальных особенностей пассажиров (например, привычки пользоваться определённым видом транспорта).

ЛИТЕРАТУРА

1. Cervero, R. Induced Travel Demand: Research Design, Empirical Evidence, and Normative Policies. *Journal of Planning Literature*, 2002, Vol. 17 (3), pp. 3–20. [Электронный ресурс]: <http://jpl.sagepub.com/cgi/content/abstract/17/1/3>. Доступ 27.02.2020. DOI: 10.1177/0881220017001001.
2. Осетров Е. С. Математические модели, методы и алгоритмы для прогнозирования пассажирских перевозок / Дис... канд. физ.-мат. наук. – Дубна. – 2018. [Электронный ресурс]: https://wwwinfo.jinr.ru/dissertation/Osetrov_disser.pdf. Доступ 27.02.2020.
3. McNally, M. G. The Four-Step Model. In: *Handbook of Transport Modelling*. Ed. D. A. Hensher, K. J. Button, 2000, pp. 35–52. [Электронный ресурс]: <https://pdfs.semanticscholar.org/c91e/e47992495bd9c9fe36ed4dbe85dc3c21aecf.pdf>. Доступ 27.02.2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/9780857245670-003>.
4. Бонсалл П. У., Чемпернуун А. Ф., Мейсон А. К., Уилсон А. Г. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе / Пер. с англ. Е. М. Шлафштейна. – М.: Транспорт, 1982. – 207 с.
5. Box, G. E. P., Jenkins, G. M. Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco, 1970. [Электронный ресурс]: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2106713>. Доступ 27.02.2020
6. Sartono. Models for Train Passenger Forecasting of Java and Sumatra. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 824:012032, 3rd International Conference on Mathematics, Science and Education 2016, 3–4 September 2016, Semarang, Indonesia. DOI: 10.1088/1742-6596/824/1/012032.
7. Nagel, K., Wagner, R., Woesler, R. Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling. *Operations Research*, January 2, 2003, Vol. 51, pp. 681–710. Corpus ID: 3616360. DOI: 10.1287/opre.51.5.681.16755.
8. Guo, Xin. Passenger capacity prediction model based on LOGIT and system dynamics for passenger dedicated line. *Transaction of Beijing Institute of Technology*, Iss. 1, pp. 31–34.
9. Yan, Xi; Li, Jing. Analysis on predict model of railway passenger travel factors judgment with soft-computing methods. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, OmniaScience, Barcelona, 2014, Vol. 7, Iss. 1, pp. 100–114. [Электронный ресурс]: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/188593/1/v07-i01-p0100_940-6029-2-PB.pdf. Доступ 26.02.2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.940>.





Comparison of Forecasting Methods for Intercity Passenger Flows for Various Modes of Transport



Nikita A. MAKUTSKY



Maxim S. FADEEV



Pavel A. CHISTYAKOV

*Makutsky, Nikita A., LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia.
Fadeev, Maxim S., LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia.
Chistyakov, Pavel A., LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article is devoted to methodological features of forecasting intercity passenger flows under the conditions of transformation of the transport system of Russia, namely, the emergence of a new type of rail transport which is high-speed rail. The objective of the article is to present the authors' methodology for forecasting passenger flows and to prove its higher efficiency relative to the methods used in Russia today. The article considers the historical aspect of forecasting passenger flows, analyzes strengths and weaknesses of existing approaches to forecasting and modelling passenger flows. The authors argue that it is impossible to simulate the number of trips with changes in transportation parameters only on the basis of patterns identified by retrospective data series (the most common approach to forecasting passenger flows in Russia).

The article proposes an alternative methodology based on the calculation of passenger's total costs of a trip, which depend on cost of travel, loss of time, frequency of departure of vehicles and their comfort, as well as considering the

dynamics of key social-economic indicators. The technique allows minimizing measurement errors arising from the lack of primary information about some types of passenger transport, as well as calculating the induced demand for trips arising as a result of improved transportation characteristics. The authors identified and expressed in quantitative terms the main factors of redistribution of passenger flows to newly introduced types of transport.

The article discusses the experience of forecasting passenger flow according to the proposed method at the example of four itineraries where movement of high-speed trains of *Lastochka* type started. The forecasted results are compared with the actual volumes of transportation, on the basis of which conclusions are drawn about the effectiveness of the forecasting method and its applicability in modern realities of the Russian transport system. The advantages and disadvantages of the proposed approach to forecasting passenger traffic, as well as the possibilities of its implementation and further development in Russia are identified.

Keywords: forecasting methods, passenger flow, transport demand, transport mobility of the population, high-speed train.

*Information about the authors:

Makutsky, Nikita A. – Leading Expert of LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia, namakutskiy@infraeconomy.com.

Fadeev, Maxim S. – Director for Expert Activity of LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia, msfadeev@infraeconomy.com.

Chistyakov, Pavel A. – Vice-president of LLC Center for Economics of Infrastructure, Moscow, Russia, pachistyakov@infraeconomy.com.

Article received 14.01.2020, accepted 03.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 74.

Introduction and statement of the research problem

Modern approaches to forecasting long-distance passenger flows are based mainly on mathematical models with multivariate regression dependencies.

Modern mathematical models for forecasting passenger flows, for the most part, are based on the classical four-stage model [1]. This approach, first used in the 1950s, allows getting a picture of passenger flow distribution over the network based on input prerequisites for generating travel demand and parameters of the transport system. Modelling is carried out in four stages:

- 1) identification of the points of generation and attraction of trips and their potential;
- 2) distribution of trips over the network;
- 3) selection of a mode of transport;
- 4) compilation of the zonal interchange (trip distribution) matrix «Point_i–Point_j» with the absolute value of the passenger flow for each of the modes of transport available for trips.

The distribution of the number of trips between the points of generation and attraction along routes and by modes of transport in the classical four-stage model are carried out according to the principle of minimizing transport costs and considering restraints of transit capacity of the infrastructure. That is, the passenger travelling from Point 1 to Point 2 will choose the shortest route and the cheapest mode of transport by the total transport costs until the capacity limit for this route and mode of transport is reached.

Further development of this concept of forecasting passenger flow was directed towards avoiding a formalized rational justification for a passenger's choice of a route or a mode of transport. The thesis of irrationality of the consumer behaviour has influenced the transformation of modelling algorithms. So, at the stage of distribution of trips by modes of transport and routes, it was not differentiation of the total cost of the trip that was taken into account, but differentiation of subjective significance of transportation parameters, determined on the basis of the regression dependence of the passenger flow on transportation parameters by a mode of transport and route within retrospective time series.

To solve the problems of modelling a passenger flow for the trip «Point 1–Point 2»,

models of analysis of time series ARMA (autoregressive moving average) and ARIMA (autoregressive integrated moving average, Box–Jenkins model), mathematically representing a generalization of the auto-regression model and the moving average model, have become very popular [2; 3].

In the framework of the approach based on the regression analysis of time series, the forecast of the passenger flow for the trip «Point 1–Point 2» in the case of introducing a new mode of transport (or changing the parameters of an existing one) is carried out as follows.

At the first stage, the total travel demand is estimated, which is determined by the characteristics of population mobility. The forecast of the total demand for travel between «Point 1–Point 2» is based on regression dependence of retrospective data of the passenger flow on the social-economic and demographic parameters of the departure and arrival points.

At the second stage, a forecast is made for switching passenger traffic to a new mode (type) of transport. The classic tool for calculating switching is currently a model of discrete choice of a mode of transport. The principle of its operation is to use the revealed dependence of the passenger flow change on the change in transportation parameters. In other words, the model «learns» the reaction of demand for trips by various modes of transport to retrospective changes in travel time, cost of travel, transit frequency and comfort. Thus, the passenger flow elasticity is revealed by its sensitivity to the aforementioned parameters, which in case of their change determines the rate of passengers who switch to a new type of transport.

An alternative approach using the method of balance of generalized transport costs is currently used mainly as a corrective complement to the methods of regression analysis. However, in some cases, especially when forecasting the passenger flow for a fundamentally new type of traffic, this method plays a leading role. For example, the national company of French railways SNCF uses the method of balancing the generalized costs in forecasting passenger traffic switching to commissioned high-speed lines [4]. Optimal transit mode is determined for each individual passenger and for a specific trip. The optimality



criterion is the minimum value of generalized costs, which is calculated by the formula:

$$C_g = (P_{\text{journey}} + P_{\text{access}}) + h \cdot (T_{\text{journey}} + T_{\text{access}}), \quad (1)$$

where C_g – generalized costs;

P_{journey} – cost of the main trip, rub.;

P_{access} – cost of auxiliary trips (to access the main transport), rub.;

T_{journey} – time of the main trip, min;

T_{access} – time of auxiliary trips, min;

h – time cost, rub.

Consequently, the newly introduced high-speed rail will attract the number of passengers for which it will turn out to be the most advantageous mode of transport in terms of generalized costs.

A separate stage in modelling the passenger flow change is the forecast of induced (or deinduced) demand for trips caused by a change in transport accessibility of Point 1 and Point 2 relative to each other. The change in total travel demand in this case is calculated according to the law of gravity, where the mass of respective Points 1 and 2 is the volume of effective demand concentrated in them, and the distance between them is the weighted average generalized (monetary and time) travel costs before and after simulated changes [5].

Speaking about the main problems of using generally accepted international approaches to modelling and forecasting intercity passenger flows [e.g. 6–9] in Russia, it is necessary to note the extremely high heterogeneity in development of infrastructure, the solvency of the population and, as a consequence, transport behaviour of residents. Therefore, the use of uniform sensitivity coefficients to measure changes in the parameters of modes of transport (primarily travel time, cost of travel, transit frequency, comfort level) for the entire territory of Russia is incorrect. It is at least necessary to cluster trips between different origin and destination points and calculate the sensitivity of the passenger flow to these indicators individually and there should be a lot of clusters in order to minimize the error. However, the more clusters are distinguished, the smaller becomes the training sample of trips' origin and destination points in each of them. In this regard, the methods for assessing the switching of passenger flows between modes of transport, based on the discrete choice model, may give incorrect results if the specified forecasted parameters of the modes of transport are

beyond the range observed in the retrospective data.

Most of the models used in foreign countries for forecasting passenger flows are extremely demanding on quality of initial statistical data that are laid therein, and on the value of time series by which regression dependencies are determined. Unfortunately, in Russia, the advantage of using methodically more complex algorithms is offset by the fact that the volume and quality of the source data is significantly inferior to the statistical data of most European countries, the USA or Japan.

In Russia, reliable statistical information in the context of trips between specific origin and destination points (pairs of settlements) is only available for air and railway transport, which, unfortunately, is not enough to make a correct forecast of total transport demand. Information on bus transport is available only for a limited set of origin and destination points, moreover, despite the fight against illegal carriers, in most regions the share of informal transportation in the structure of passenger flow is still high.

The assessment of passenger flows generated by private cars is a separate methodically difficult task, and official statistics on private car passenger traffic, even at the inter-regional level, do not exist. Thus, to completely assess the existing passenger flow, one has to resort to the use of sociological survey methods and large-scale field observations. Incorrect data on just one route in the training set can significantly distort the forecasting results.

Under these conditions, the use of simpler and more transparent algorithms, where at each stage of the calculations it is possible to evaluate the intermediate result (having physical meaning), gives an even more accurate forecasting result compared to more advanced and mathematically complex methods, which are rather a «black box» during the study.

The *objective* of this article is to develop a set of necessary initial data and algorithms that minimize, from the point of view of the authors of this article, the risk of significant errors in forecasting intercity passenger flows and to test them at the example of recently introduced high-speed rail routes.

Research methods

It is proposed to use the following data sets as initial data for modelling and forecasting passenger flows for different itineraries:

1. Information about the existing passenger flows and the parameters of activity of modes of transport.

1.1. Retrospective data on passenger flows by modes of transport.

The proposed methodology uses data series for 2005–2018, as only within this period the authors could use reliable statistics. Among the modes of transport, air, bus, private cars and railway transport are assessed¹. Due to strong heterogeneity, the latter is considered separately for classes: shared open compartment carriages (open compartment sleeping cars, but also sitting cars and day coaches, excluding cars in high-speed and accelerated trains), compartment carriages (passenger flow in cars of the first class, luxury and upholstered beds categories also applies) and high-speed trains.

1.2. Parameters of activity of modes of transport averaged over the annual period for forecasted itineraries for the period from 2005 to 2018: travel time, fare, transit frequency, carriage or vehicle comfort for passengers².

2. Social and economic indicators.

2.1. Information on gross regional product (per constituent entities of the Russian Federation);

2.2. Information on the structure of the population by income groups per constituent entities of the Russian Federation in accordance with the classification of the Federal State Statistics Service (the number of inhabitants of the region having respectively income of less than 7 thousand rubles, from 7 to 10 thousand rubles, from 10 to 14 thousand rubles, from 14 to 19 thousand rubles, from 19 to 27 thousand rubles, from 27 to 45 thousand rubles, from 45 to 60 thousand rubles, more than 60 thousand rubles);

2.3. Information on the population size of passenger flow generation points (settlements or urban agglomerations).

The source of data on social and economic indicators is the Federal State Statistics Service (Rosstat).

The passenger flow forecasting unit according to the interchange zonal matrix in the context of modes of transport consists of three main components:

¹ When necessary any other mode/types of transport with their respective parameters can be added to the model.

² Approach to calculation of integral trip comfort index will be described below.

- forecasting the total demand for passenger transportation by all modes of transport by each itinerary;
- distribution of the total passenger flow by a mode of transport;
- forecasting induced demand.

The total demand for passenger transportation depends on several social and economic indicators. According to the results of the factor analysis, the gross regional product ($r = 0,88$) showed the greatest correlation with the transport mobility of residents of regions³. Based on retrospective data, a regression relationship between the transport mobility of the population and GRP was revealed.

With an increase in GRP, the transport mobility of the population also increases, therefore, ceteris paribus, the total passenger flow by an itinerary also grows. Thus, the total passenger flow for the forecast year can be determined by the following formula:

$$F_{\text{forecast}} = F_{\text{current}} \cdot \text{GRP}_{\Delta} \cdot k_{\text{grp-flow}} \cdot \text{Pop}_{\Delta}, \quad (2)$$

where F_{forecast} and F_{current} are respectively forecasted and current total passenger flow for an itinerary, persons;

GRP_{Δ} – increase in GRP of regions connected by the itinerary;

$k_{\text{grp-flow}}$ – coefficient of sensitivity of changes in transport mobility of the population to GRP⁴;

Pop_{Δ} – population growth of cells connected by an itinerary.

Increase in GRP of regions connected by an itinerary is calculated using the following formula:

$$\text{GRP}_{\Delta} = X \cdot \frac{\text{GRP}_{\text{future 1}}}{\text{GRP}_{\text{current 1}}} + Y \cdot \frac{\text{GRP}_{\text{future 2}}}{\text{GRP}_{\text{current 2}}}, \quad (3)$$

where GRP_{Δ} – increase of GRP of regions for the corresponding year;

$\text{GRP}_{\text{future 1}}, \text{GRP}_{\text{future 2}}$ – forecasted GRP in region 1 and region 2;

$\text{GRP}_{\text{current 1}}, \text{GRP}_{\text{current 2}}$ – current GRP in region 1 and region 2;

X and Y – passenger flow shares, generated by region 1 and region 2.

If the settlements of the route are located within one and the same region, the calculations use data only for this region.

³ The number of trips outside the settlement, made by all modes of transport per capita.

⁴ Determined according to the results of training of the model on retrospective data.

Similarly, the population growth of the territories connected by the itinerary is calculated:

$$\text{Pop}_\Delta = X \cdot \frac{\text{Pop}_{\text{future } 1}}{\text{Pop}_{\text{current } 1}} + Y \cdot \frac{\text{Pop}_{\text{future } 2}}{\text{Pop}_{\text{current } 2}}, \quad (4)$$

where Pop_Δ – population growth of cells connected by the itinerary for the corresponding year:

$\text{Pop}_{\text{future } 1}$, $\text{Pop}_{\text{future } 2}$ – forecasted population number of cells 1 and 2, persons;

$\text{Pop}_{\text{current } 1}$, $\text{Pop}_{\text{current } 2}$ – current population number of cells 1 and 2, persons;

X and Y – passenger flow shares, generated by region 1 and region 2.

The distribution of the total forecasted passenger flow by a mode of transport is based on a combination of four factors affecting the choice of a passenger: travel time, cost of travel, transit frequency, and comfort level.

Each of the indicators is converted into value terms and affects the indicator of the total transport costs of the trip for this passenger for this itinerary. The total transport costs are calculated for each mode (type, class) of transport separately.

The indicator of total transportation costs is calculated as the sum of cost of travel and the cost of time spent.

$$\text{TTC} = \text{C}_{\text{travel}} + \text{C}_{\text{time}}, \quad (5)$$

where TTC – total transportation costs, rub.;

C_{travel} – cost of travel⁵, rub.;

C_{time} – cost of time spent (adjusted to the level of trip comfort), rub.;

$$\text{C}_{\text{travel}} = \text{C}_{\text{t1}} + \text{NCT} + \text{C}_{\text{t2}}, \quad (6)$$

where C_{t1} – average weighted cost of travel from the departure point to the station/bus station/airport at which the main segment of the trip begins, rub.;

NCT – average cost of travel on the main segment of the trip, rub.;

C_{t2} – average cost of travel from the station/bus station/airport, on which the main segment of the trip of this itinerary to the destination point ends.

The cost of time spent depends on travel time, transit frequency (and, as a result, the average waiting time for departure of the vehicle), as well

as on the income level of the passenger (calculated for each group of passengers by income level). Also, the cost of time spent is adjusted to the level of discomfort that the passenger experiences during the trip when using a certain mode (type) of transport and for a certain duration of the trip.

The cost of time spent is calculated according to the following formula:

$$\text{C}_{\text{time}} = (\text{T}_{\text{travel}} \cdot \text{K}_{\text{comf}} + (1/\text{Fr}) \cdot (1 - \text{K}_{\text{fr}})) \cdot \text{I}_h, \quad (7)$$

where C_{time} – cost of time spent (adjusted to the level of the trip comfort), rub.;

T_{travel} – average travel time of a passenger from the departure point to the destination point, min;

K_{comf} – coefficient of trip discomfort;

Fr – transit frequency (number of trips per day), units;

K_{fr} – coefficient of elasticity with regard to transit frequency⁶;

I_h – average cost of a working hour for a passenger belonging to a particular income category.

Travel time of a trip is composed of several trip segments:

$$\text{T}_{\text{travel}} = \text{T}_{\text{t1}} + \text{T}_{\text{waiting}} + \text{NTT} + \text{T}_{\text{t2}}, \quad (8)$$

where T_{travel} – travel time of a passenger from the departure point to the destination point, min;

T_{t1} – average travel time from the departure point to the station/bus station/airport, on which the main segment of the trip of this itinerary starts, min;

$\text{T}_{\text{waiting}}$ – average time required for a passenger for transfers when changing modes of transport during the trip, min;

NTT – net travel time on the main segment, min;

T_{t2} – average travel time from the station/bus station/airport of arrival to the destination point, min.

The point of departure and destination for the territorial cell is the geometric center of the cell settlement system.

The trip comfort index depends on the comfort level of the vehicle itself and the coefficient of elasticity to the comfort level⁷. The comfort coefficient is determined for each type of transport and gets values from 0 to 1. The value is calculated based on the results of social surveys of passengers

⁵ Full travel cost for public transport (with account of cost of travel between stations/bus stations/airports and point of departure/destination), or calculated cost of travel for private car trip, which includes: 1) cost of fuel used, 2) cost of technical maintenance per 1 km of run, multiplied by the length of a route; 3) cost of infrastructure use, in case, it is charged.

⁶ Determined based on the results of training of the model on retrospective data.

⁷ Determined based on the results of training of the model on retrospective data for each mode of transport and itinerary.

regarding the trip comfort when using different modes of transport.

The average cost of a working hour depends on the average monthly income level of a passenger in a given population group and the average number of working hours per year:

$$I_h = \frac{I_m}{\frac{247}{12} \cdot 8}, \quad (9)$$

where I_m – average monthly income of a passenger of a particular population income group, rub.;

247 – average number of working days per year;

12 – number of months per year;

8 – average number of working hours per day.

At the next stage, the ratio of the indicator of total transportation costs for this mode of transport is calculated in relation to the minimum indicator among all modes of transport:

$$K_{TTC} = TTC_i / TTC_{min}, \quad (10)$$

where K_{TTC} – coefficient of ratio of the total transportation costs for a given mode of transport to the minimum value among all modes of transport;

TTC_i – total transportation costs for this mode of transport, rub.;

TTC_{min} – minimal value of total transportation costs among all modes of transport for this trip, rub.

The probability coefficient for choosing a mode of transport is calculated as follows:

$$K_p = \frac{1}{K_{TTC}}, \quad (11)$$

where K_p – probability coefficient for choosing a mode of transport;

K_{etc} – coefficient of elasticity of passenger flow to the change in total transportation costs⁸.

The total forecasted passenger flow is distributed in accordance with the coefficient of probability of choosing a mode of transport:

$$F_i = \frac{K_p}{\sum_{i=1}^n K_p} \cdot F_{forecast}, \quad (12)$$

where F_i – forecasted passenger flow on this mode of transport, people;

K_p – coefficient of probability of choosing a mode of transport;

$F_{forecast}$ – forecasted total passenger flow for an itinerary, persons.

⁸ Determined based on the results of training of the model on retrospective data.

Thus, for each mode (type, class) of transport forecasted value of the passenger flow on the correspondence is calculated.

If any parameters of the modes of transport change over time, the weighted average total transportation costs will also change. If the total transportation costs as a result of changes in travel time, fare, transit frequency, and comfort level decrease, then there is an induced demand (passengers begin to travel more often, or those who have not traveled at all begin to use this itinerary for their trips). If the total transportation costs increase, the opposite situation arises (demand decreases). In general, the formula for calculating induced demand is as follows:

$$F_{ind} = F_{forecast} \cdot \left(\left(\frac{TTC_{base}}{TTC_{model}} \right)^{K_{tc}} - 1 \right), \quad (13)$$

where F_{ind} – forecasted induced demand, persons;

TTC_{base} – average weighted total transportation costs with existing parameters of modes of transport, rub.;

TTC_{model} – average weighted total transportation costs for modelled parameters of modes of transport, rub.;

K_{tc} – coefficient of elasticity to total transportation costs.

The volume of forecasted induced demand is summed up with the base forecasted passenger flow by the mode of transport, due to which there was a decrease in the total transportation costs for this itinerary. This value will be the final volume of the forecasted passenger flow for this mode of transport and itinerary.

Research results

The above-described passenger flow forecasting technique has been used in research projects related to development of large-scale infrastructure projects, in particular, of Moscow–Nizhny Novgorod and Moscow–St. Petersburg high-speed rail projects, of a promising high-speed road network of Avtodor Group of Companies. Transport projects partially implemented to date, and based on the forecast made using the methodology, comprise the route network of fast (express trains with higher speeds) electric trains Lastochka. Fast electric trains Lastochka are assigned to intercity routes on the network of JSC Russian Railways since 2012. In 2014, LLC Center for Economics of



Table 1**Estimated transportation parameters for 2018, used as input data for passenger flow modelling**

Itinerary	Type of transportation	Cost of travel, rub.	Travel time, hours	Transit frequency, trips per day
Moscow–Kursk	Shared open compartment	1324	7,2	10,3
	Compartment	2444	7,2	9,3
	Lastochka	982	5,7	2,0
	Bus	850	9,0	3,3
	Private car	1208	6,7	Unlimited
Moscow–Oryol	Shared open compartment	1179	5,3	11,3
	Compartment	1861	5,3	9,3
	Lastochka	697	4,1	4,0
	Bus	650	6,5	10,0
	Private car	936	4,5	Unlimited
Moscow–Smolensk	Shared open compartment	950	5,8	7,0
	Compartment	1652	5,8	7,0
	Lastochka	900	4,1	3,0
	Bus	900	6,5	34,0
	Private car	1082	4,8	Unlimited
Moscow–Tver	Shared open compartment	722	2,2	8,0
	Compartment	1018	2,2	8,0
	Lastochka	510	1,7	12,0
	Suburban train	390	3,0	7,0
	Private car	447	2,6	Unlimited

Source: compiled by the authors.

Table 2**Forecasted and actual values of passenger flow for 2018**

Itinerary	2018 (forecast)	2018 (fact)
Moscow–Smolensk	342359	356426
Moscow–Kursk	311173	327171
Moscow–Oryol	417989	434179
Moscow–Tver	2292005	2407746

Source: compiled by the authors.

Infrastructure carried out research work on a plan for development of Lastochka train route network, within the framework of which a forecast was made of passenger flow on promising high-speed train routes for the period until 2035 in the context of station-to-station trip distribution.

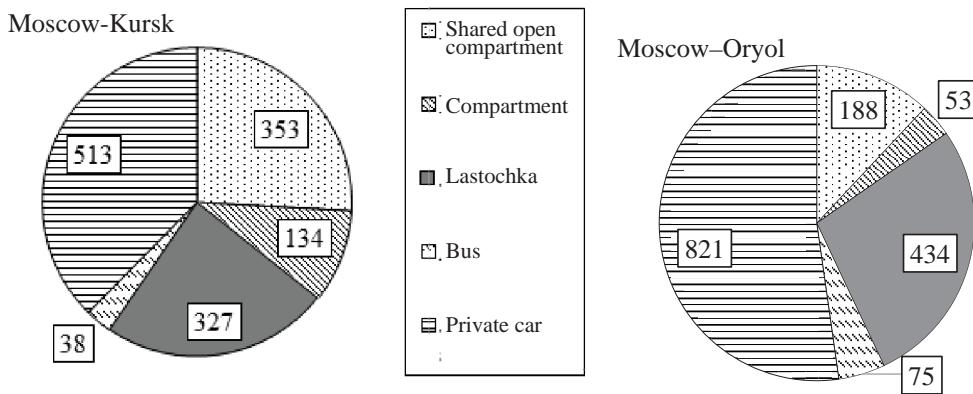
Let's consider the forecasted and actual values of the passenger flow for 2018 according to the main itineraries of four express routes that were put into operation with the parameters closest to those used for forecasting. To carry out a passenger flow forecast for the itineraries under study, a database of

parameters of existing modes of transport was compiled and promising parameters of fast rail transportation were set (Table 1).

Table 2 contains the forecasted and actual values of the passenger flow served by express trains Lastochka on the main point-to-point segments of the above routes. Actual passenger flow deviates from the forecast made as part of the research by no more than 5 %.

Discussions of results

It follows from the forecasting results that fast trains Lastochka on the itineraries under study should have occupied from 25 to 50 %



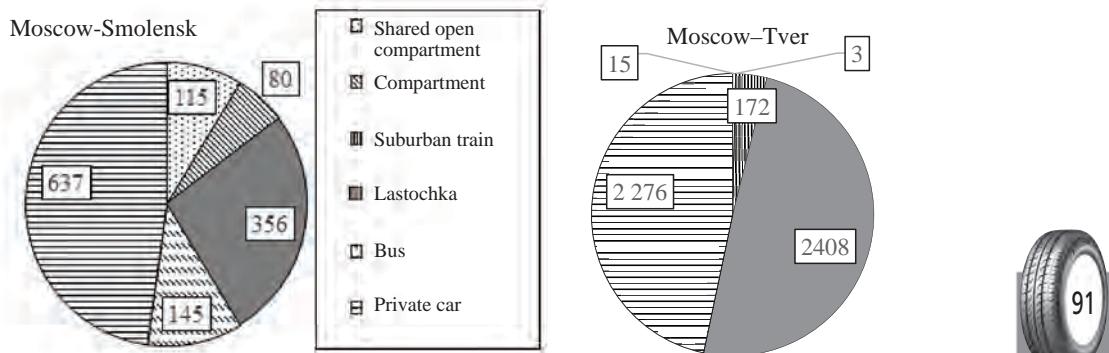
Pic. 1. The actual structure of passenger flow on the itineraries Moscow–Kursk and Moscow–Oryol, 2018, thousand passengers. Source: compiled by the authors.

of the passenger transportation market by 2018, which actually happened. In addition to significant switching of passengers from other modes of transport, passenger flow was influenced by a significant induced demand for trips: from 10 to 15 % of passengers of Lastochka trains would not have traveled at all if there were no fast trains.

Due to the intensity of business, cultural and domestic relations and high incomes of the residents of the capital city, there is a high demand for «morning» or «evening» trips between Moscow and neighboring regions that allow not to lose a night or a daytime for the trip. Passengers making such trips are extremely sensitive to travel time. The launch of Lastochka trains, combined with their convenient departure and arrival times, made it possible to make such trips to Moscow from Smolensk, Oryol and Kursk, and greatly simplified the possibility of making such trips from Tver.

Switching of passengers to fast trains was carried out from all alternative modes of transport, including private cars. On the first three routes, the greatest outflow of passengers was suffered by bus and traditional railway (shared open compartment class) transport. On the Moscow-Tver route, classical suburban electric trains were the main source for passenger switching to Lastochka trains: as the result of the launch of faster trains suburban trains lost about 90 % of the annual passenger flow.

This forecast could not be correctly carried out using the model of discrete choice of the mode of transport, based on the regression retrospective dependence of changes in passenger flow on changes in transportation parameters, since in this case the demand for a fundamentally new transport service is simulated. Lastochka trains travel along the above routes much faster than alternative modes of transport, while ensuring competitive



Pic. 2. Actual structure of the passenger flow on the route Moscow–Smolensk and Moscow–Tver, 2018, thousand passengers. Source: compiled by the authors.

cost of travel (Table 1). In addition, those trains can offer higher level of comfort relative to competing buses and traditional railway services. There was no database for correct training of the regression model, with which it would have been possible to forecast the demand for the Lastochka trains at the time the forecast was made, since there had been previously few similar innovations.

Moreover, depending on the type of the itinerary and the degree of competition with other types of transportation, the same changes in parameters might lead to different changes in the structure and total volume of passenger flow. For example, reducing travel time of a night train from 10 to 7,5 hours (by 25 %) will cause a smaller increase in passenger flow than reducing travel time of a day express train from 4 to 3 hours (by the same 25 %), because the cost of time for a night passenger trains is lower than the cost of time for a day express passenger. So it is impossible to forecast without considering such a parameter as the cost of a unit of time of a passenger.

Conclusion. The proposed methodology for forecasting passenger flows coincides with the most common mathematical approaches based on the regression analysis of time series in the field of forecasting the total demand for trips. However, the approach under consideration is more transparent in terms of calculating distribution of passengers between modes of transport. The advantage of the proposed method is the quantitative expression of transportation parameters through the total cost of the trip for differentiated groups of passengers. The model distributes the passenger flow not according to the training results on retrospective data, but on the basis of total passenger transportation costs per trip. This allows to more accurately simulate changes in the transportation parameters that have had no analogues in retrospect. The forecast of the passenger flow for new routes of fast Lastochka trains showed that the sensitivity of the passenger flow to changes in travel time and travel comfort can be different depending on the scale of changes in these parameters, since different transportation parameters determine the transport behaviour of different groups of passengers. In particular, competent accounting of cost of travel time of passengers made it possible to identify the «hidden potential» of

faster transportation at the stage of forecasting passenger flow, which is not considered using the regression-analytical approach. The main disadvantage of the proposed methodology is underestimation of irrationality of the consumer behaviour. Certain modes of transport for certain itineraries might be economically unreasonably popular or, conversely, not popular, due to the particular mental characteristics of passengers (for example, habits of using a certain mode of transport).

REFERENCES

1. Cervero, R. Induced Travel Demand: Research Design, Empirical Evidence, and Normative Policies. *Journal of Planning Literature*, 2002, Vol. 17 (3), pp. 3–20. [Electronic resource]: <http://jpl.sagepub.com/cgi/content/abstract/17/1/3>. Last accessed 27.02.2020. DOI: 10.1177/088122017001001.
2. Osetrov, E. S. Mathematical models, methods and algorithms to forecast passenger transportation. Ph.D. (Physics and Mathematics) thesis [*Matematicheskie modeli, metody i algoritmy dlya prognozirovaniya passazhirskikh perevozok. Diss. na soiskanie uchenoi stepeni kand. fiz.-mat. nauk.*]. Dubna, 2018. [Electronic resource]: https://wwwinfo.jinr.ru/dissertation/Osetrov_disser.pdf. Last accessed 27.02.2020.
3. McNally, M. G. The Four Step Model. In: Handbook of Transport Modelling. Ed. D. A. Hensher, and K. J. Button, 2000, pp. 35–52. [Electronic resource]: <https://pdfs.semanticscholar.org/c91e/e47992495bd9c9f/e36ed4dbe85dc3c21aecf.pdf>. Last accessed 27.02.2020. <https://doi.org/10.1108/9780857245670-003>.
4. Bonsall, P. W., Champernowne, A. F., Wilson, A. G., and Mason, A. C. Transport modelling: sensitivity analysis and policy testing (Original title) [*Russian edition title: Modelling of passenger flows in the transport system (Modelirovanie passazhiropotokov v transportnoy sisteme)*]. Transl. from English by E. M. Schlafstein. Moscow, Transport publ., 1982, 207 p.
5. Box, G. E. P., Jenkins, G. M. Time-Series Analysis, Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco, 1970. [Electronic resource]: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2106713>. Last accessed 27.02.2020.
6. Sasrtono. Models for Train Passenger Forecasting of Java and Sumatra. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 824:012032, 3rd International Conference on Mathematics, Science and Education 2016, 3–4 September 2016, Semarang, Indonesia. DOI: 10.1088/1742-6596/824/1/012032.
7. Nagel, K., Wagner, R., Woesler, R. Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling. *Operations Research*, January 2, 2003, Vol. 51, pp. 681–710. Corpus ID: 3616360. DOI: 10.1287/opre.51.5.681.16755.
8. Guo, Xin. Passenger capacity prediction model based on LOGIT and system dynamics for passenger dedicated line. *Transaction of Beijing Institute of Technology*, Iss. 1, pp. 31–34.
9. Yan, Xi; Li, Jing. Analysis on predict model of railway passenger travel factors judgment with soft-computing methods. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, OmniaScience, Barcelona, 2014, Vol. 7, Iss. 1, pp. 100–114. [Electronic resource]: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/188593/1/v07-i01-p0100_940-6029-2-PB.pdf. Last accessed 26.02.2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.940>. ●



ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ОАО «РЖД» В 2019 ГОДУ

По оперативным данным, в 2019 году на инфраструктуре ОАО «РЖД» перевезено 1,2 млрд пассажиров (+3,4 % к 2018 году), из них в дальнем следовании – 116,5 млн пассажиров (+5,6 %), в пригородном сообщении – 1 млрд 80 млн пассажиров (+3,2 %). Пассажирооборот на сети ОАО «РЖД» в 2019 году вырос на 3,2 % к уровню предыдущего года и составил 133,5 млрд пасс.-км, в том числе в дальнем следовании – 99,2 млрд пасс.-км (+3,1 %), в пригородном сообщении – 34,2 млрд пасс.-км (+3,4 %).

В декабре 2019 года, по оперативным данным, перевезено около 99 млн пассажиров, что на 3,2 % больше, чем за аналогичный период 2018 года. Из них в пригородном сообщении отправлено 90,4 млн пассажиров (+3,2 %), в дальнем следовании – 8,6 млн (+4 %).

PASSENGER TRANSPORTATION THROUGH THE INFRASTRUCTURE OWNED BY RUSSIAN RAILWAYS IN 2019

According to the latest figures, the infrastructure of Russian Railways contributed to transportation of 1,2 billion passengers in 2019, that is by 3,4 % more than in 2018. Long-distance passenger numbers amounted to 116,5 million passengers, a decrease of 5,6 %, while suburban passengers rose 3,2 % to 1,08 billion.

Passenger turnover on the Russian Railways network in 2019 increased by 3,2 % compared to the previous year and amounted to 133,5 billion pkm. Long-distance passenger turnover was 99,2 billion passenger-kilometres, grown by 3,1 %, while suburban traffic rose by 3,4 % to attain 34,2 billion pkm.

According to the latest figures, about 99 million passengers were transported in December 2019, 3,2 % more than the same month in 2018. The number of suburban commuter passengers rose to 90,4 million, thus presenting an increase

Пассажирооборот в декабре 2019 года составил 9,4 млрд пасс.-км, что на 3,7 % больше, чем за аналогичный период предыдущего года, в том числе в дальнем следовании – 6,7 млрд пасс.-км (+4,3 %), в пригородном сообщении – 2,7 млрд пасс.-км (+2,4 %).

По Московскому центральному кольцу (МЦК) в 2019 году перевезено более 148 млн пассажиров, что на 14,5 % больше, чем в 2018 году. Всего с начала эксплуатации услугами Московского центрального кольца воспользовались около 415 млн пассажиров.

Рекордное количество пассажиров на МЦК со дня его открытия (10 сентября 2016 года) зафиксировано 25 декабря 2019 года – 580 112 человек.

По материалам пресс-центра
ОАО «РЖД»: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=247441> •

by 3,2 %, while 8,6 million passengers travelled using long-distance services, up 4 %.

Passenger turnover in December 2019 amounted to 9,4 billion passenger-kilometres, 3,7 % more than in the same period of the previous year. Long-distance passenger turnover was 6,7 billion pkm, an increase by 4,3 %, while suburban traffic was up by 2,4 % to attain 2,7 billion pkm. The Moscow Central Circle (MCC) carried more than 148 million passengers in 2019, which is 14,5 % more than in 2018. Since the MCC began operations, it has carried about 415 million passengers and set a record of the highest number of passengers since it was launched on September 10, 2016, when 580 112 passengers travelled on December 25, 2019.

Compiled based on JSC Russian Railways press centre news: <https://eng.rzd.ru/en/9517/page/104070?id=4091> •

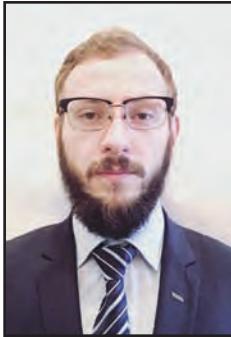




Экономическая оценка сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры



Дмитрий МАЧЕРЕТ



Алексей РАЗУВАЕВ



Анастасия ЛЕДНЕЙ

*Мачерет Дмитрий Александрович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
 Разуваев Алексей Дмитриевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
 Ледней Анастасия Юрьевна – Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

В статье рассматривается проблема сезонной неравномерности перевозок и влияние её на загрузку транспортной инфраструктуры. Целью проведённого исследования является выработка научно обоснованных рекомендаций по осуществлению мониторинга сезонной неравномерности перевозок и загрузки инфраструктуры на основе её адекватной оценки; проведению экономической оценки влияния сезонности перевозок на показатели текущей и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта; выработке рекомендаций по дальнейшему снижению неравномерности перевозок или, по крайней мере, недопущению её роста. Авторами решены следующие задачи: сформирована аргументированная, логически структурированная последовательность экономической оценки влияния сезонности перевозок на показатели текущей и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта, и предложены научно обоснованные рекомендации для дальнейшего снижения неравномерности перевозок (недопущения её роста). При этом использованы следующие методы: логико-аналитический, методы статистического анализа, экономико-математического моделирования и технико-экономических расчётов.

В результате исследования авторы выявили, что сезонная неравномерность загрузки железнодорожной инфраструктуры приводит к снижению качества перевозок и ухудшению рыночного имиджа железнодорожной отрасли, увеличению эксплуатационных расходов

и себестоимости перевозок, то есть к снижению эффективности и конкурентоспособности железнодорожных дорог. Неравномерность перевозок негативно оказывается и на эффективности инвестиций в развитие железнодорожного транспорта.

Проведённый анализ позволил сформулировать теоретическую модель влияния сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на эффективность её использования и развития. Предложенный в статье методический инструментарий оценки сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры целесообразно использовать для её углублённого ретроспективного анализа, с выявлением основных факторов, влияющих на показатели неравномерности, и определением предельно допустимого уровня сезонной неравномерности.

Разработанная модель влияния сезонной неравномерности загрузки на эффективность использования и развития железнодорожной инфраструктуры позволяет осуществлять экономическую оценку сезонной неравномерности, являясь инструментом повышения эффективности планирования и управления перевозочной деятельностью и развития железнодорожных дорог. Снижение сезонной неравномерности перевозок следует рассматривать как фактор повышения экономической эффективности не только текущей, но и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта, а её рост – как специфический вид риска для эффективности реализации проектов развития железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: транспорт, сезонная неравномерность загрузки инфраструктуры, железнодорожная инфраструктура, приведённая работа, эксплуатационные расходы, себестоимость перевозок, экономическая эффективность.

*Информация об авторах:

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российской университета транспорта, Москва, Россия, macheretda@rambler.ru.

Разуваев Алексей Дмитриевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российской университета транспорта, Москва, Россия, razuvaevalex@yandex.ru.

Ледней Анастасия Юрьевна – аспирант кафедры экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российской университета транспорта, Москва, Россия, trinitinoks@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.12.2019, принятая к публикации 03.03.2020.

For the English text of the article please see p. 105.

ВВЕДЕНИЕ

Негативное влияние неравномерности перевозок на эксплуатационные и экономические показатели железных дорог отмечалось исследователями начиная с XIX века и до современности [1–3]. Фундаментальный характер данной проблемы был раскрыт в работе [4]. При этом особенно значимой является сезонная неравномерность перевозок [5, с. 5] (сезонность), под которой понимают «неравномерность перевозок по кварталам года и месяцам» [6, с. 240].

Академик Т. С. Хачатуров отмечал негативное влияние неравномерности перевозок как на инвестиционные, так и на эксплуатационные затраты железных дорог. Первое связано с тем, что «приходится предусматривать... резерв технического вооружения транспорта, обусловленный неравномерностью перевозок, что соответственно увеличивает потребные капиталоизложения» [6, с. 239]. Второе – с тем, «что в периоды максимума перевозок нередко возникают трудности с продвижением поездов, что приводит к замедлению продвижения грузов. Всё это способствует повышению себестоимости перевозок» [6, с. 239–240]. К этой справедливой оценке следует добавить, что замедление продвижения грузов влечёт за собой и существенные макроэкономические потери, связанные с «замораживанием» оборотного капитала, воплощённого в перевозимых товарах, в течение срока их перевозки [7; 8, с. 92].

И потери, связанные с замедлением доставки товаров, и повышение себестоимости перевозок [9] становятся особенно значимыми в условиях высокого и сверхвысокого заполнения пропускной способности железных дорог («перегрузки», в современной экономической терминологии [10]). А именно такая ситуация существует на ряде ключевых направлений сети российских железных дорог [11, с. 14]. Её преодоление требует развития железнодорожной инфраструктуры. Комплексным планом модернизации и расширения магистральной инфраструктуры предусмотрены масштабные задачи, охватывающие все виды транспорта, в том числе – железнодорожный, и нацеленные как на решение существующих инфраструктурных

проблем, так и на то, чтобы открыть возможности для развития новых точек экономического роста [12; 13].

Анализ Комплексного плана показывает, что он требует существенных инвестиционных вложений со стороны не только федерального бюджета, но и регионов (многие из которых испытывают финансовые проблемы), а также со стороны хозяйствующих субъектов [14, с. 32–36]. В частности, в Долгосрочной программе развития (ДПР) ОАО «РЖД» до 2025 года, увязанной в части железнодорожных инфраструктурных проектов с Комплексным планом, предусмотрен существенный рост инвестиций. В соответствии с базовым сценарием ДПР, в 2019–2025 годах среднегодовые инвестиции должны составить около 670 млрд руб., а по оптимистичному сценарию – порядка 830 млрд руб. [15]. Важно, что ускорение инвестиций в развитие российских железных дорог уже началось. Если в 2018 г. объём инвестиций ОАО «РЖД» составил около 550 млрд руб., то в 2019 г. – около 690 млрд [16, с. 9]. При этом возможность такой активизации инвестиционной деятельности компании и в целом успешность реализации ДПР будет зависеть от множества факторов, включая факторы внешней среды, и сопряжена с существенными рисками, некоторые из которых уже проявились на старте реализации программы, в 2019 году [17, с. 16].

Комплексным планом предусмотрена реализация наиболее крупных инфраструктурных проектов. И для развития бизнеса, и в интересах обеспечения мобильности населения страны они «должны быть дополнены «низовой» активизацией развития транспортной инфраструктуры, которая решила бы проблемы «последней мили», местных перевозок и т.п.» [18, с. 35]. Для таких проектов нужны дополнительные инвестиции, в том числе – частные, привлечение которых требует соответствующих институциональных условий.

Учитывая, что инвестиционные ресурсы всегда являются ограниченными (это свойственно всем экономическим благам [19, с. 103–108]), важной задачей является повышение эффективности использования существующей транспортной инфраструктуры. Это позволяет отсрочить инвестици-



онные вложения, что даёт соответствующий эффект [20, с. 57].

Снижение сезонной неравномерности перевозок является немаловажным фактором обеспечения для экономики и населения такого ключевого в современных условиях экономического блага, как транспортная инфраструктура.

Грузооборот на железнодорожном транспорте за 2016–2018 годы увеличился на 10,8 %, при снижении его сезонной неравномерности, оцениваемой как отношение максимального месячного значения среднесуточного грузооборота в течение года к среднесуточному грузообороту за год, с 105,6 до 103,3 %. Очевидно, что в условиях неполного удовлетворения спроса на пассажирские ресурсы в периоды «пикового» спроса, отмечаемого грузоотправителями [21, с. 26; 22, с. 36], сохраняющейся на сети проблемы оставления поездов без движения («брошенных поездов»), без снижения уровня сезонной неравномерности перевозок фактически достигнутая динамика грузооборота могла бы быть не обеспечена. Исходя из сказанного, представляется необходимым:

- во-первых, осуществление мониторинга сезонной неравномерности перевозок и загрузки инфраструктуры на основе её адекватной оценки;
- во-вторых, проведение экономической оценки влияния сезонности перевозок на показатели текущей и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта;
- в-третьих, выработка рекомендаций по дальнейшему снижению неравномерности перевозок или, по крайней мере, недопущению её роста.

Целью данной статьи является выработка научно обоснованных рекомендаций по решению указанных задач. При этом используются логико-аналитический метод, методы статистического анализа, экономико-математического моделирования и технико-экономических расчётов.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАГРУЗКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В работах [23; 24] представлен усовершенствованный методический инструментарий для оценки сезонной неравномерно-

сти грузовых и пассажирских перевозок. Следует выделить два его главных отличия от традиционного подхода:

- для каждого рассматриваемого периода (месяца или квартала) используются среднесуточные, а не совокупные значения показателей, характеризующих объёмы перевозок;

- сезонная неравномерность грузовых перевозок оценивается не по показателю «перевезено грузов», а по двум показателям: «погрузка грузов» и «грузооборот». Это позволяет существенно уточнить характеристики неравномерности перевозок, как наглядно показано в работе [24, с. 325].

Неравномерность перевозок целесообразно оценивать по каждому виду перевозок (грузовым и пассажирским), используя для этого соответствующие показатели, как это представлено в работе [23, с. 5]. В то же время в условиях совмещённого движения грузовых и пассажирских поездов, характерного для отечественных железных дорог [25, с. 84], для характеристики загрузки инфраструктуры целесообразно использовать релевантный интегральный показатель. В качестве такого показателя может выступать суммарный грузооборот брутто, охватывающий перевозки в грузовом и пассажирском движении [26] или приведённая работа [27]. Учитывая, что грузооборот брутто является исключительно расходообразующим показателем, а для оценки приведённой продукции транспорта, производительности важнейших ресурсов, таких, как труд и инфраструктура [27], используется показатель «приведённая работа», представляется целесообразным оценивать сезонную неравномерность загрузки железнодорожной инфраструктуры с помощью этого показателя. Приведённая работа (продукция) железнодорожного транспорта определяется как сумма грузооборота и пассажирооборота [28, с. 121], при этом для определения производительности труда пассажирооборот удваивается [28, с. 199]. Обосновывается также введение специального повышающего коэффициента для грузооборота контейнерных грузов исходя из более высокой себестоимости и зарплатоёмкости их перевозок. Как указывается в [29, с. 45–46], наиболее точно приведённую работу для оценки производительности инфраструктуры мож-

Таблица 1

Сезонная неравномерность загрузки железнодорожной инфраструктуры, %

Год	$K_{\text{неп}}^1$	$K_{\text{неп}}^2$	$K_{\text{неп}}^3$				
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
2017	102,5	105,7	96,9	99,3	102,5	101,3	
2018	102,6	105,5	97,3	99,6	102,6	100,5	

но было бы оценить, используя специально рассчитываемые коэффициенты приведения для грузооборота и пассажирооборота, выполняемого каждой категорией поездов, имеющих коэффициент съёма пропускной способности, отличный от других категорий. Однако такая оценка довольно сложна, поэтому отмечается возможность определять приведённую работу для оценки производительности инфраструктуры по формуле [29, с. 46]:

$$PL_{\text{тап}} = PL_{\text{тап}} + K_{\text{прив}} \cdot HL, \quad (1)$$

где $PL_{\text{тап}}$ – тарифный грузооборот;

HL – пассажирооборот;

$K_{\text{прив}}$ – коэффициент приведения.

Коэффициент приведения может оцениваться различным образом, важно отметить, что в любом случае он будет больше единицы. В настоящем исследовании принимается значение $K_{\text{прив}} = 2$, как и для оценки производительности труда.

Оценку сезонной неравномерности загрузки инфраструктуры предлагается осуществлять с помощью следующих показателей (коэффициентов неравномерности):

$$K_{\text{неп}}^1 = \frac{\overline{PL}_{\text{прив}}^{\max}}{\overline{PL}_{\text{прив}}^{\min}}, \quad (2)$$

$$K_{\text{неп}}^2 = \frac{\overline{PL}_{\text{прив}}^{\max}}{\overline{PL}_{\text{прив}}^{\min}}, \quad (3)$$

$$K_{\text{неп}}^3 = \frac{\overline{PL}_{\text{прив}}^i}{\overline{PL}_{\text{прив}}^{\min}}, \quad (4),$$

где $\overline{PL}_{\text{прив}}^{\max}$, $\overline{PL}_{\text{прив}}^{\min}$ – соответственно, максимальное и минимальное квартальное (месячное) значение среднесуточной приведённой работы в течение года;

$\overline{PL}_{\text{прив}}^i$ – среднесуточная приведённая работа за год;

$\overline{PL}_{\text{прив}}^i$ – среднесуточная приведённая работа конкретного квартала (месяца).

Указанные показатели, которые могут выражаться в виде коэффициентов или в процентах, являются не альтернативными, а взаимодополняющими. В совокупно-

сти они позволяют комплексно оценить сезонную неравномерность загрузки железнодорожной инфраструктуры.

Коэффициент $K_{\text{неп}}^1$ характеризует превышение загрузки инфраструктуры в «пиковом» сезон над среднегодовым уровнем. Его важность определяется тем, что пропускные и провозные способности железных дорог должны позволять реализовывать не только средние, но и максимальные нагрузки без потери ритмичности и устойчивости работы. Это необходимо для обеспечения экономической эффективности их функционирования. Однако важно также соотношение загрузки инфраструктуры в «пиковом» сезон и сезон низкого спроса, которое показывает коэффициент $K_{\text{неп}}^2$. Вместе эти коэффициенты дают общегодовую характеристику неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры. Но и такая характеристика не является исчерпывающей. С экономической точки зрения важно (как будет показано ниже) оценить и уровень загрузки в каждом сезоне, в сравнении со среднегодовым уровнем с помощью коэффициента $K_{\text{неп}}^3$.

Характеристики сезонной (квартальной) неравномерности загрузки инфраструктуры Российских железных дорог показаны в табл. 1. Как видно из данных таблицы, они не подвержены резким изменениям.

Важное теоретическое и прикладное значение имеет выявление влияния сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на экономические показатели отрасли.

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОСТИ ЗАГРУЗКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Эффективность деятельности и конкурентоспособность железнодорожного



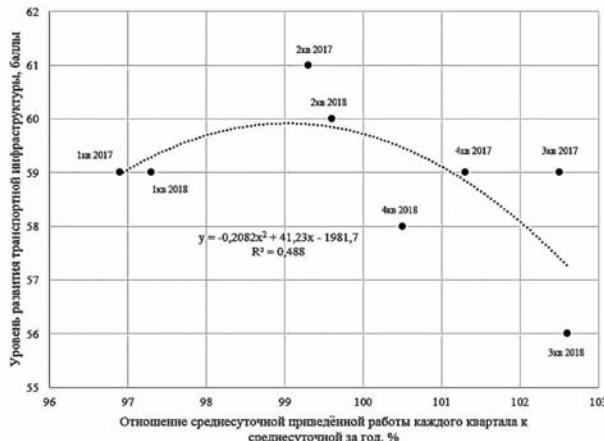


Рис. 1. Зависимость оценки грузоотправителями уровня развития железнодорожной инфраструктуры от уровня её загрузки.



Рис. 2. Зависимость оценки грузоотправителями наличия вагонов нужного типа в необходимом количестве от уровня загрузки инфраструктуры.

транспорта как текущая, так и долгосрочная, значимо зависят от уровня качества услуг, оказываемых пользователям [30; 31]. При этом важны не только объективно измеряемые отраслевой статистикой показатели качества перевозок, но и субъективные оценки качества оказываемых услуг самими пользователями [32, с. 58; 29, с. 147–148]. Использование для характеристики качества транспортных услуг таких оценок не просто отражает принцип клиентаориентированности, а соответствует фундаментальным положениям экономической теории [33, с. 63]. Ведь именно на основе собственных субъективных оценок пользователи принимают решение о том, как организовать перевозку (какие виды транспорта, какую логистическую схему использовать), да и осуществлять ли перевозку вообще. Использование обобщённых в виде «Индекса качества» оценок грузовладельцев позволило установить, что чувствительность спроса на грузовые перевозки к уровню качества почти вдвое выше,

чем к уровню провозной платы [34, с. 40–41; 35, с. 135–139].

С учётом сказанного представляет интерес исследование зависимости балловых оценок грузовладельцами показателей качества транспортных услуг, являющихся компонентами обобщённого «Индекса качества», от уровня загрузки железнодорожной инфраструктуры. При загрузке инфраструктуры свыше 100 % от среднедневного уровня существует тенденция снижения оценок грузоотправителями уровня развития транспортной инфраструктуры (рис. 1). Другими словами, в периоды «пиковой» загрузки инфраструктуры её развитие воспринимается грузоотправителями как относительно худшее, чем в периоды загрузки ниже среднего уровня.

Интересно, что значительно более сильная зависимость существует между оценками грузоотправителями наличия вагонов нужного типа в необходимом количестве и уровнем загрузки инфраструктуры (рис. 2). В периоды «пиковой» загрузки эти

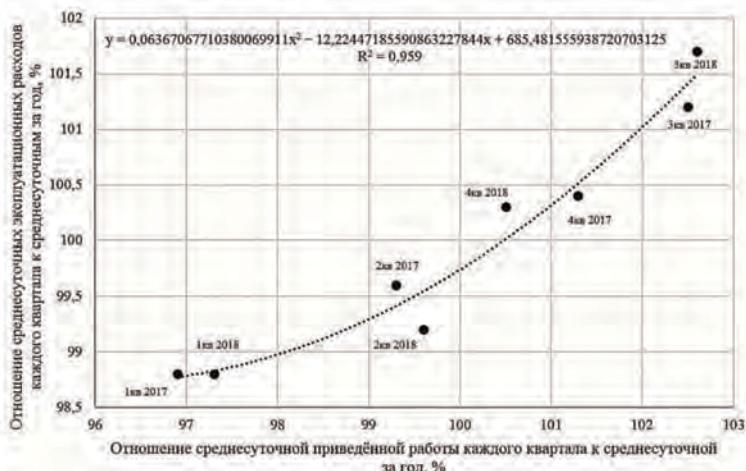


Рис. 3. Зависимость эксплуатационных расходов от неравномерности загрузки инфраструктуры.

оценки снижаются, что связано как с возникновением дефицита вагонов при росте спроса, так и с затруднениями в подсылке порожних вагонов к местам погрузки из-за высокого и сверхвысокого заполнения пропускной способности на многих участках сети железных дорог.

Важное значение имеет анализ зависимости ключевого экономического показателя железнодорожного транспорта – расходов на осуществление перевозок (эксплуатационных расходов) – от неравномерности загрузки инфраструктуры. Для выполнения соответствующей оценки эксплуатационные расходы разных кварталов были приведены к сопоставимому виду путём исключения из расходов I и IV («зимних») кварталов дополнительных затрат, связанных с осуществлением эксплуатационной работы в зимний период (на топливо, снегоборьбу и др.), а из расходов IV квартала, кроме того, дополнительных затрат, связанных с завершением года (выплаты по счётам и др.). После указанных корректировок квартальных данных были рассчитаны среднесуточные расходы по каждому году и по кварталам и определены отношения среднесуточных расходов каждого квартала к соответствующим среднегодовым значениям.

Выполненная оценка показывает нелинейный характер зависимости эксплуатационных расходов от уровня загрузки железнодорожной инфраструктуры (рис. 3). Такой результат является эмпирическим

подтверждением теоретических положений, высказанных в ряде работ по экономике транспорта [9, с. 87; 36, с. 96–97; 37, с. 367–368] и согласующихся с фундаментальными положениями экономической теории, в соответствии с которыми при увеличении объёмов производства в условиях неизменного количества основного капитала, начиная с некоторого момента, вступает в действие закон убывающей отдачи [38, с. 271–273]. В результате предельные издержки растут, а рост общих издержек становится нелинейным и ускоряется.

Примечательно, что в рассматриваемых условиях ещё до достижения среднегодового уровня загрузки железнодорожной инфраструктуры рост затрат ускоряется (рис. 3).

Это свидетельствует о том, что даже при среднегодовой загрузке отечественные железные дороги оказываются перегруженными, т.е. функционируют в экономически неоптимальном режиме. При существенном превышении среднегодового уровня загрузки рост затрат существенно превышает значения, наблюдаемые при наличии резервов пропускной способности, и становится опережающим по сравнению с ростом загрузки инфраструктуры (рис. 4). Весьма показательным является увеличение разрыва между графиками нелинейного роста эксплуатационных расходов при перезагрузке инфраструктуры и теоретическим графиком при отсутствии таковой.

Одной из основных причин нелинейного, ускоряющегося роста эксплуатаци-



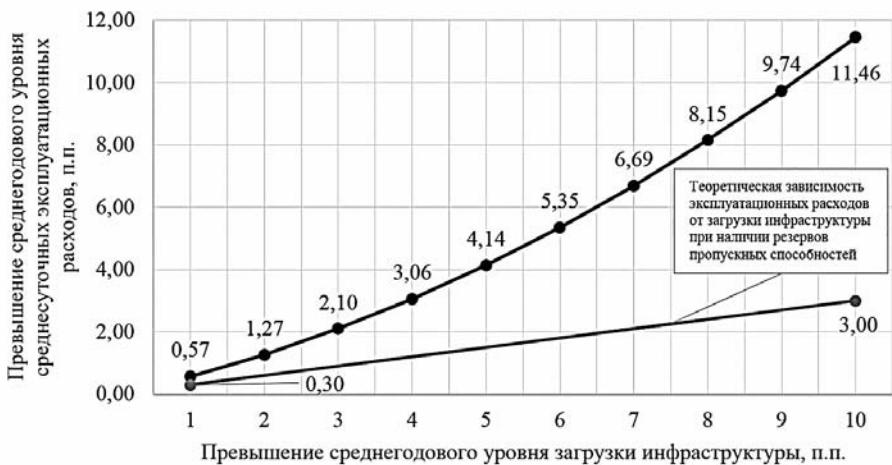


Рис. 4. Рост эксплуатационных расходов при перегрузке инфраструктуры.

онных затрат при повышении уровня загрузки инфраструктуры является ухудшение качества использования подвижного состава по времени, прежде всего – снижение скоростей движения поездов. В ряде исследований, выполнявшихся в разные годы, установлено, что при заполнении пропускной способности железнодорожных линий свыше 70–80 % от расчётной величины участковая скорость движения грузовых поездов на этих линиях снижается [39; 40; 41, с. 1–5], а себестоимость перевозок, соответственно, растёт [42, с. 195–196; 43, с. 67–68].

Эмпирический анализ внутригодовых изменений скоростей движения поездов (табл. 2) в сопоставлении с сезонной неравномерностью загрузки железнодорожной инфраструктуры (табл. 1) свидетельствует о том, что в периоды более высокой загрузки инфраструктуры скорости движения поездов снижаются, а их минимальные значения приходятся на III квартал, когда уровень загрузки инфраструктуры максимален.

Математическая оценка зависимости участковой скорости от неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры также свидетельствует о снижении участковой скорости при перегрузке инфраструктуры (рис. 5).

Научная ценность проведённого моделирования состоит в том, что установлена зависимость участковой скорости от уровня загрузки инфраструктуры не для отдельных линий, а для сети железных дорог в целом. Как известно, себестои-

мость перевозок и участковая скорость связаны обратной зависимостью [37, с. 269–276]. Это значит, что при снижении участковой скорости себестоимость перевозок, а, следовательно, и общая сумма эксплуатационных расходов возрастают.

При этом снижением участковой скорости рост эксплуатационных расходов объясняется лишь частично, так как выполненный анализ показывает (табл. 1, 2), что в периоды «пиковой» загрузки инфраструктуры снижается не только участковая скорость, но и коэффициент участковой скорости, определяемый как отношение участковой скорости к технической [44, с. 246]. Снижение коэффициента участковой скорости означает, что увеличиваются простои поездов на промежуточных станциях, а это дополнительно увеличивает эксплуатационные затраты вследствие увеличения вагоно-часов и локомотиво-часов простоев, а также бригадо-часов локомотивных бригад [45]. Совокупностью указанных факторов и объясняется рост эксплуатационных расходов, показанный на рис. 4. Кроме того, указанные простои приводят к замедлению доставки товаров, что влечёт за собой потери для товаровладельцев и экономики в целом [46, с. 6–7], и может также повлечь взыскание с перевозчика штрафов за просрочку доставки грузов.

Таким образом, сезонная неравномерность загрузки железнодорожной инфраструктуры приводит к снижению качества перевозок и ухудшению рыночного имиджа железнодорожной отрасли, увеличению эксплуатационных расходов и себестоимо-

сти перевозок, что снижает эффективность и конкурентоспособность железных дорог. Соответственно, неравномерность перевозок снижает и эффективность инвестиций в развитие железнодорожного транспорта. Потому возможности роста неравномерности перевозок следует рассматривать как специфический вид риска при реализации как отдельных инвестиционных проектов, так и комплексных программ развития, таких как Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года [15].

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАГРУЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ

Проведённый анализ и выполненные оценки, с учётом понимания экономических взаимосвязей в сфере эксплуатации и развития транспортных систем, позволяют с использованием логико-аналитического метода [47] сформировать теоретическую модель влияния сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на эффективность её использования и развития. Модель основывается на следующий положениях.

1. Среднесуточная величина приведённой работы ($\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{год}}$) железнодорожного транспорта за год при её сложившейся структуре по видам и направлениям перевозок (S_{ij}) и заданном уровне тарифов (T) определяет годовые доходы отрасли от перевозок (D):

$$D = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{год}}, S_{ij}, T). \quad (5)$$

В настоящем исследовании мы абстрагируемся от изменения структуры перевозок и уровня тарифов, чтобы выявить влияние сезонной неравномерности. Тогда выражение (5) можно записать как:

$$D = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{год}}). \quad (6)$$

2. Максимальная среднесуточная приведённая работа внутригодового периода – квартала или месяца – $\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{ макс}}$ определяет как потребные капитальные вложения (K) в создание пропускных и провозных способностей для реализации соответствующего объёма перевозок, так и не только зависящие от объёмов перевозок (перемен-

ные) эксплуатационные расходы соответствующего периода, но и годовые условно-постоянные расходы ($E_{y-\text{пост}}$), связанные, прежде всего, с содержанием инфраструктуры:

$$K = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{ макс}}); \quad (7)$$

$$E_{y-\text{пост}}^{\text{год}} = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{ макс}}). \quad (8)$$

При этом зависящие (переменные) эксплуатационные расходы в периоды «пиковых» объёмов определяются не только самими этими объёмами, но и ухудшением качественных показателей перевозочного процесса, в частности, снижением скоростей движения (ΔV):

$$E_{\text{заб}}^{\text{ макс}} = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{ макс}}, \Delta V). \quad (9)$$

3. Эффективность использования транспортной инфраструктуры ($\mathcal{Э}_{\text{инф}}^u$) зависит от соотношения доходов от перевозок, осуществляемых с использованием этой инфраструктуры, и соответствующих эксплуатационных затрат как зависящих, так и не зависящих от объёмов перевозок (условно-постоянных):

$$\mathcal{Э}_{\text{инф}}^u = f(D, E_{y-\text{пост}}, E_{\text{заб}}). \quad (10).$$

С учётом зависимостей (5–9), при сложившейся структуре перевозок и заданном уровне тарифов:

$$\mathcal{Э}_{\text{инф}}^u = f(\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{год}}, \overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{ макс}}). \quad (11)$$

В свою очередь, среднесуточная величина приведённой работы железнодорожного транспорта за год ($\overline{PL}_{\text{прив}}^{\text{год}}$) зависит как от её уровня в периоды максимальных и минимальных перевозок и соотношения между ними, так и от общего распределения перевозок по периодам года, т.е. от параметров $K_{\text{неп}}^1, K_{\text{неп}}^2, \{K_{\text{неп}i}^3\}$.

Из этого следует существование зависимости:

$$\mathcal{Э}_{\text{инф}}^u = f(K_{\text{неп}}^1, K_{\text{неп}}^2, \{K_{\text{неп}i}^3\}). \quad (12).$$

4. При приближении максимального уровня загрузки железнодорожной инфраструктуры к кривой производственных возможностей (КПВ¹), вступает в силу закон убывающей отдачи и возникает необходимость проведения реконструктивных

¹ КПВ железнодорожной линии показывает, какое число поездов разного вида (пассажирских, грузовых и др.) можно пропустить по этой линии за определённый интервал времени [37, с. 365].



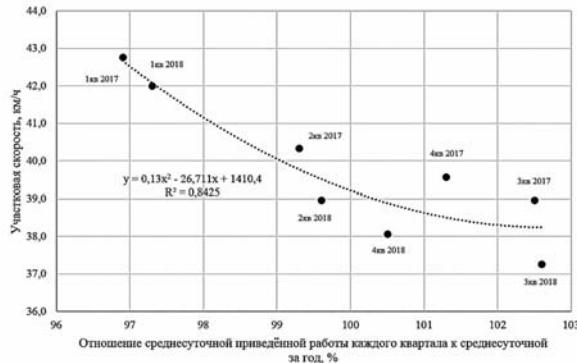


Рис. 5. Зависимость участковой скорости грузовых поездов от неравномерности загрузки инфраструктуры.

Таблица 2

Динамика участковой и технической скоростей движения грузовых поездов и изменение коэффициента участковой скорости по кварталам за 2017–2018 гг.

Показатель	2017 год				2018 год			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Участковая скорость	42,8	40,3	39,0	39,6	42,0	39,0	37,3	38,1
Техническая скорость	48,5	47,0	46,1	46,4	48,4	46,5	45,7	46,2
Коэффициент участковой скорости	0,881	0,858	0,845	0,852	0,868	0,839	0,815	0,824

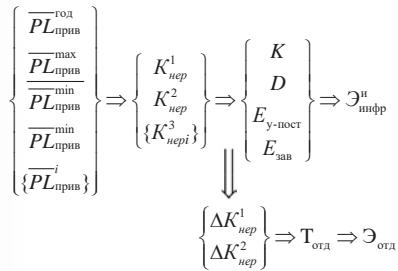


Рис. 6. Схема оценки влияния сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на эффективность её использования и развития.

мероприятий [37, с. 366], требующих соответствующих капитальных затрат ($K_{\text{пек}}$).

Капитальные затраты на реконструкцию железнодорожной инфраструктуры должны окупаться за счёт доходов от перевозок и других эффектов, связанных с увеличением, благодаря реконструкции, объёмов перевозок (приведённой работы).

В ситуации, когда существует сезонная неравномерность загрузки инфраструктуры, т.е. коэффициенты $K_{\text{неп}}^1$, $K_{\text{неп}}^2$, $K_{\text{неп}}^3$ не равны единице, альтернативой реконструкции является снижение неравномерности перевозок, с сокращением величин $K_{\text{неп}}^1$, $K_{\text{неп}}^2$. При этом возникает возможность отдалить капитальные затраты на реконструкцию, осуществив их в последующие годы. Эффект от

отдаления затрат ($\mathcal{E}_{\text{отд}}$) при данной величине отдаляемых в будущее затрат на реконструкцию железнодорожной инфраструктуры зависит от времени отдаления затрат ($T_{\text{отд}}$) – чем оно больше, тем эффект выше:

$$\mathcal{E}_{\text{отд}} = f(T_{\text{отд}}). \quad (13)$$

Сущность эффекта от отдаления капитальных затрат связана с тем, что за период отдаления они дадут эффект при каких-либо альтернативных вариантах использования. Если же источником соответствующих инвестиций служат заемные средства, будут снижены процентные платежи.

В свою очередь, время отдаления затрат зависит от снижения неравномерности загрузки инфраструктуры:

$$T_{\text{отд}} = f(\Delta K_{\text{неп}}^1, \Delta K_{\text{неп}}^2). \quad (14).$$

Из этого следует:

$$\mathcal{E}_{\text{отд}} = f(\Delta K_{\text{неп}}^1, \Delta K_{\text{неп}}^2). \quad (15).$$

Таким образом, на основе логического анализа показано влияние сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на эффективность её использования и развития. В обобщённом виде описанная модель представлена на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в статье методический инструментарий оценки сезонной нерав-

номерности загрузки железнодорожной инфраструктуры целесообразно использовать для её углублённого ретроспективного анализа, с выявлением основных факторов, влияющих на показатели неравномерности, и определением минимального достижимого (предельно допустимого) уровня сезонной неравномерности. Это позволит осуществлять прогнозирование сезонной неравномерности на перспективу и выработку мероприятий по её снижению (недопущению превышения предельного уровня). В основе мероприятий по снижению неравномерности перевозок могут лежать как тарифные меры, основанные на изменении провозной платы в зависимости от уровня загрузки инфраструктуры [10, с. 164–165; 48, с. 191; 49, с. 69–70], так и, в дополнение к ним, меры организационно-технологические, в том числе – основанные на использовании анализа «больших данных» и компьютерного моделирования [50].

Осуществлять текущий мониторинг сезонной неравномерности перевозок, с оценкой действенности разработанных мер по её снижению и их необходимой корректировкой следует также с использованием данного методического инструментария.

Выявленное в ходе проведённого исследования влияние неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на оценку качества транспортных услуг грузоотправителями, качественные показатели эксплуатационной деятельности и эксплуатационные затраты железнодорожного транспорта, разработанная модель влияния сезонной неравномерности загрузки на эффективность использования и развития железнодорожной инфраструктуры позволяют осуществлять экономическую оценку влияния сезонной неравномерности на результаты как текущей, так и на инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта, и, тем самым, являются инструментами повышения эффективности планирования и управления перевозочной деятельностью и развитием железных дорог.

При этом снижение сезонной неравномерности перевозок следует рассма-

тривать как фактор повышения экономической эффективности не только текущей, но и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта, а её рост – как специфический вид риска для эффективности реализации проектов развития железнодорожной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

- Галицинский Ф. А. Пропускная способность железных дорог и замешательства в движении. – СПб., 1899. – 249 с.
- Эксплуатация железных дорог. Общие сведения / Краткое изложение лекций профессора Мясоедова-Иванова // Институт инженеров путей сообщения Александра I. – СПб.: Типография Ю. Н. Эрлих, 1910. – 158 с.
- Сотников Е. А., Шенфельд К. П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и её влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
- Мачерет Д. А. Фундаментальные производственно-экономические проблемы и их особенности на железнодорожном транспорте // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 5. – С. 59–61.
- Угрюмов А. К. Неравномерность движения поездов. – М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
- Хачатуров Т. С. Экономика транспорта. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. – 588 с.
- Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Модель и методика макроэкономической оценки товарной массы, находящейся в процессе перевозки // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – № 2. – С. 3–7.
- Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Повышение скоростной эффективности транспортного сообщения на основе непрерывного перемещения товаров и пассажиров // Фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта. Сборник трудов членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – М.: Интект, 2013. – С. 85–94.
- Мачерет Д. А., Валеев Н. А. Научный инструментарий предиктивного управления эффективностью железнодорожного транспорта // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – Т. 77. – № 2. – С. 84–91.
- Чолтерс А. А. Чрезмерное потребление (перегрузка) // Экономическая теория / Под ред. Дж. Итуэлла, М. Милгейта, П. Ньюмена / Пер. с англ. – М.: Инфра-М, 2004. – С. 157–166.
- Рыжков А. В., Постников С. Б. ОАО «РЖД» – потребности в изменениях в эпоху перемен // Экономика железных дорог. – 2020. – № 1. – С. 11–29.
- Распоряжение Правительства от 30 сентября 2018 г. № 2101-р / Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/MUNhgWFddP3UfF9RJASDW9VxP8zwcB4Y.pdf>. Доступ 11.10.2018.
- Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Перспективы развития транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. – № 5 (78). – 2018. – С. 16–22.
- Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Экономическое значение комплексной модернизации магистральной транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2019. – № 1. – С. 31–45.



15. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 19 марта 2019 г. № 466-Р).
16. Доклад генерального директора – председателя правления ОАО «РЖД» О. В. Белозёрова на расширенном итоговом заседании правления ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 1. – С. 2–10.
17. Мачерет Д. А., Валеев Н. А. Перспективы роста экономической эффективности ОАО «РЖД» // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4 (83). – С. 13–17.
18. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Объёмы перевозок – ключевой фактор эффективности развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2019. – № 4. – С. 28–38.
19. Менгер К. Избранные работы. – М.: Издательский дом «Территория будущего», 2005. – 496 с.
20. Экономика железнодорожного транспорта / Под ред. И. В. Белова. – М.: Транспорт, 1989. – 351 с.
21. Соколов Ю. И., Лавров И. М., Аверьянова О. А., Чередников Н. А. Методы анализа индекса качества транспортного обслуживания грузовладельцев // Экономика железных дорог. – 2019. – № 4. – С. 19–27.
22. Исследование в сфере оценки потребителями качества услуг на рынке грузоперевозок железнодорожным транспортом. III квартал 2019 г. – СПб.: РЖД-Партнёр, 2019. – 37 с.
23. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Влияние сезонной неравномерности перевозок на эффективность транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6 (85). – С. 4–9.
24. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Совершенствование методического инструментария оценки сезонной неравномерности перевозок // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – Т. 78. – № 6. – С. 323–327.
25. Разуваев А. Д. Оценка экономической эффективности строительства и технического перевооружения железнодорожной инфраструктуры с применением инновационных решений // Дис... канд. экон. наук: 08.00.05 / Разуваев Алексей Дмитриевич. – М., 2019. – 148 с.
26. Мачерет Д. А. Производительность – фундаментальная основа экономической эффективности // Экономика железных дорог. – 2010. – № 7. – С. 19–34.
27. Мачерет Д. А. О разработке системы комплексной оценки и повышения производительности использования производственных ресурсов по направлениям (трудовые ресурсы, инфраструктура, подвижной состав, энергоэффективность) // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2010. – № 2. – С. 3–23.
28. Статистика железнодорожного транспорта / Под ред. Т. И. Козлова, А. А. Поликарпова. – М.: Транспорт, 1990–327 с.
29. Мачерет Д. А., Рышков А. В., Валеев Н. А. и др. Управление экономической эффективностью эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта с использованием инновационных подходов. – М.: РИОР, 2018. – 212 с.
30. Мандриков М. Е., Мачерет Д. А. Транспортное обслуживание в условиях рыночной экономики / Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 1. – С. 56–59.
31. Мачерет Д. А., Рышков А. В. Стратегическое значение повышения качества доставки грузов // Экономика железных дорог. – 2016. – № 6. – С. 22–29.
32. Соколов Ю. И. Индекс качества – барометр рынка // РЖД-Партнёр. 2014. – Вып. 4 (272). – С. 58–59.
33. Титова В. И. Пути повышения качества грузовых перевозок // Экономика железных дорог. – 2019. – № 12. – С. 59–68.
34. Соколов Ю. И., Лавров И. М. Оценка эластичности спроса на железнодорожные перевозки // Экономика железных дорог. – 2013. – № 8. – С. 34–42.
35. Соколов Ю. И., Лавров И. М. Методы экономической оценки качества транспортного обслуживания грузовладельцев в условиях множественности участников перевозочного процесса. – М.: Золотое сечение, 2015. – 168 с.
36. Мачерет Д. А. Методология управления эксплуатацией и развитием параллельных ходов железнодорожной сети на основе маржинальных показателей // Фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта. Сборник трудов членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – М.: Интекст, 2013. – С. 95–100.
37. Смехова Н. Г., Мачерет Д. А., Кожевников Ю. Н. и др. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок. – М.: ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2015. – 472 с.
38. Самуэльсон П. Э., Нордхаус В. Д. Экономика / Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2010. – 1360 с.
39. Черномордик Г. И., Козин Б. С., Козлов И. Т. Об экономически целесообразном уровне загрузки однопутных и двухпутных линий // Транспортное строительство. – 1960. – № 12. – С. 46–50.
40. Козлов В. Е. Пропускная способность железнодорожных линий и надёжность технических средств // Вестник ВНИИЖТ. – 1979. – № 4. – С. 16.
41. Концепция организации тяжеловесного и длинносоставного движения грузовых поездов на основных направлениях сети железных дорог / Под рук. Л. А. Мутинштейна. – М.: ВНИИЖТ, 2007. – 179 с.
42. Экономика железнодорожного транспорта / Под ред. Е. Д. Ханукова. – М.: Транспорт, 1969. – 424 с.
43. Шульга А. М., Смехова Н. Г. Себестоимость железнодорожных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. – 279 с.
44. Кочнев Ф. П., Сотников И. Б. Управление эксплуатационной работой железнодорожных дорог. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
45. Мачерет Д. А. Анализ долгосрочной динамики скоростей в грузовом движении // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 5. – С. 66–71.
46. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Модель и методика макроэкономической оценки товарной массы, находящейся в процессе перевозки // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – № 2. – С. 3–7.
47. Мачерет Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. – 2015. – № 3. – С. 12–26.
48. Фрэнк Р. Дарвиновская экономика: свобода, конкуренция и общее благо / Пер. с англ. – М.: Издательство Института Гайдара, 2013. – 352 с.
49. Мачерет Д. А. Экономика «пробки» // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 3 (52). – С. 64–75.
50. Nakagawa, Sh., Shibata, M., Fukasawa, N. Optimization System of Reserved/Non-reserved Seating Plans for Improving Convenience and Revenue on Intercity Trains. Quarterly Report of the RTRI, 2017, Vol. 58, No. 2, pp. 105–112.

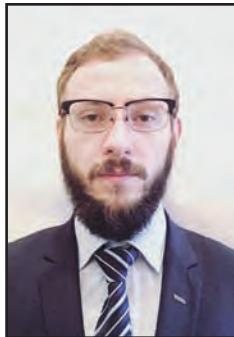


DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-94-115>

Economic Assessment of Seasonal Unevenness in Railway Infrastructure Loading



Dmitry A. MACHERET



Aleksey D. RAZUVAEV



Anastasia Yu. LEDNEY

*Macheret, Dmitry A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Razuvayev, Aleksey D., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Ledney, Anastasia Yu., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article considers the problem of seasonal uneven transportation and its impact on transport infrastructure loading. The objective of the study is to develop scientifically sound recommendations for monitoring seasonal unevenness of transportation and infrastructure loading based on its adequate assessment; conducting economic assessment of the impact of seasonality of transportation on the indicators of current and investment activity of railway transport; making recommendations to further reduce unevenness of transportation, or at least prevent its growth.

The authors solved the following tasks: a reasoned, logically structured sequence of economic assessment of the impact of seasonality of transportation on the indicators of current and investment activities of railway transport was formed, and scientifically based recommendations were proposed to further reduce uneven transportation (to prevent its growth). The following methods were used: logical and analytical tools, methods of statistical analysis, economic-mathematical modelling and technical and economic calculations.

As a result of the study, the authors revealed that seasonal uneven loading of railway infrastructure leads to a decrease in quality of transportation and a deterioration in the market image of

the railway industry, an increase in operating costs and cost of transportation, that is, to a decrease in efficiency and competitiveness of railways. The uneven transportation negatively affects the effectiveness of investments in development of railway transport.

The analysis made it possible to formulate a theoretical model of influence of seasonal unevenness of railway infrastructure loading on efficiency of its use and development. It is advisable to use the methodological toolkit for assessing seasonal unevenness of railway infrastructure loading for its in-depth retrospective analysis, identifying the main factors affecting unevenness indicators and determining the maximum permissible level of seasonal unevenness.

The developed model of influence of seasonal unevenness of loading on use and development of railway infrastructure allows to carry out economic assessment of seasonal unevenness, is a tool to improve planning and management of transportation activities and development of railways. The reduction in seasonal unevenness of transportation should be considered as a factor increasing the economic efficiency of not only the current, but also investment activity of the railway transport, while its growth should be considered as a specific type of risk for effectiveness of implementation of railway infrastructure development projects.

Keywords: transport, seasonal unevenness of infrastructure loading, railway infrastructure, normalized work, operating costs, transportation costs, economic efficiency.

*Information about the authors:

Macheret, Dmitry A. – D.Sc. (Economics), Professor, Head of the Department of Transport Infrastructure Economy and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

Razuvayev, Aleksey D. – Ph.D. (Economics), Associate Professor the Department of Transport Infrastructure Economy and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, razuvayevalex@yandex.ru.

Ledney, Anastasia Yu. – Ph.D. student at the Department of Transport Infrastructure Economy and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, trinitinoks@mail.ru.

Article received 20.12.2019, accepted 03.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 94.

Background. The negative impact of unevenness of transportation on operational and economic indicators of railways has been noted by researchers since 19th century to the present [1–3]. The fundamental nature of this problem was disclosed in [4]. Moreover, seasonal unevenness (seasonality) of transportation is especially significant [5, p. 5], seasonality meaning «unevenness of transportation by quarters of the year and months» [6, p. 240].

Academician T. S. Khachaturov noted the negative impact of unevenness of transportation on both investment and operating costs of railways. The first is due to the fact that «it is necessary to provide... a reserve of technical equipment of transport due to unevenness of transportation, which accordingly increases the required investment» [6, p. 239]. The second is due to the fact that «during periods of maximum transportation difficulties arise with movement of trains, which causes a slowdown in movement of goods. All this results in increase in the cost of transportation» [6, pp. 239–240]. To this fair assessment, it should be added that slowdown in movement of goods entails significant macroeconomic losses associated with «freezing» of working capital embodied in the goods transported during the period of their transportation [7; 8, p. 92].

And the losses associated with slowdown in delivery of goods and increase in the cost of transportation [9] become especially significant in conditions of high and ultra-high filling of railway capacity («overload», in modern economic terminology [10]). Namely, such a situation exists in a number of key areas of the Russian railway network [11, p. 14]. Its overcoming requires development of railway infrastructure. The Comprehensive plan for modernization and expansion of the main infrastructure provides for large-scale tasks covering all types of transport, including railway, and aimed both at solving existing infrastructure problems and opening up opportunities for development of new points of economic growth [12; 13].

The analysis of the Comprehensive plan shows that it requires significant investment from not only the federal budget, but also from the regions (many of which undergo financial problems), as well as from business entities [14, pp. 32–36]. In particular, the Long-Term Development Program (LDP) of JSC Russian

Railways until 2025, linked in terms of railway infrastructure projects with the Comprehensive plan, provides for a significant increase in investment. In accordance with the basic scenario of LDP, in 2019–2025 the average annual investment should amount to about 670 billion rubles, and according to the optimistic scenario, to about 830 billion rubles [15]. It is important that acceleration of investment in development of Russian railways has already begun. If in 2018 the volume of investments of JSC Russian Railways amounted to about 550 billion rubles, then in 2019 it was about 690 billion [16, p. 9]. At the same time, the possibility of such an intensification of the investment activity of the company and the overall success of implementation of LDP will depend on many factors, including environmental factors, and will entail significant risks, some of which have already appeared at the start of the program, in 2019 [17, p. 16].

The Comprehensive plan provides for implementation of the largest infrastructure projects. And for business development, and in the interests of ensuring mobility of the country's population, they «should be supplemented by grassroots activation of development of transport infrastructure that would solve the problems of the «last mile», local transportation, etc.» [18, p. 35]. For such projects, additional investments are needed, including private ones, the attraction of which requires appropriate institutional conditions.

Given that investment resources are always limited (this is common to any economic good [19, pp. 103–108]), an important task is to increase the efficiency of using the existing transport infrastructure. This allows to postpone investment, which gives the corresponding effect [20, p. 57].

Reducing seasonal unevenness of transportation is an important factor in ensuring for the economy and the population such a key economic good as modern transport infrastructure.

In 2016–2018, cargo turnover on railway transport increased by 10,8 %, with a decrease in its seasonal unevenness, estimated as the ratio of the maximum monthly value of the average daily cargo turnover during the year to the average daily cargo turnover for the year, from 105,6 to 103,3 %. It is obvious that in conditions of incomplete satisfaction of

demand for loading resources during periods of «peak» demand, noted by shippers [21, p. 26; 22, p. 36], the problem of leaving trains without traffic («abandoned trains») persisting on the network, without reducing the level of seasonal unevenness of transportation, the actual dynamics of cargo turnover could not have been ensured. Based on the foregoing, it seems necessary:

- firstly, to monitor seasonal variations in transportation and loading of infrastructure based on its adequate assessment;
- secondly, to carry out economic assessment of the impact of seasonality of transportation on the indicators of the current and investment activity of the railway transport;
- thirdly, to develop recommendations to further reduce unevenness of transportation or, at least, prevent its growth.

The objective of this article is to develop scientifically sound recommendations for solving these problems. In this case, the logical and analytical method, methods of statistical analysis, economic and mathematical modelling and technical and economic calculations are used.

Assessing seasonal unevenness of infrastructure loading

In the works [23; 24] an improved methodological toolkit for assessing the seasonal unevenness of cargo and passenger transportation is provided. Two main differences from the traditional approach should be distinguished:

- for each period under consideration (month or quarter), daily average rather than aggregate values of indicators characterizing transportation volumes are used;
- seasonal unevenness of cargo transportation is assessed not by the «transported goods» indicator, but by two indicators: «cargo loading» and «cargo turnover». This allows to significantly clarify the characteristics of unevenness of transportation, as clearly shown in [24, p. 325].

It is advisable to assess the unevenness of transportation for each type of transportation (cargo and passenger), using appropriate indicators for this, as presented in [23, p. 5]. At the same time, in the conditions of combined movement of cargo and passenger trains, characteristic of domestic railways [25, p. 84], to characterize the load on the infrastructure,

it is advisable to use the relevant integral indicator. The total gross cargo turnover covering passenger and cargo traffic [26] or the cited work [27] can serve as such an indicator. Given that the gross cargo turnover is an exclusively expenditure-forming indicator, and the indicator «normalized work» is used to assess the normalized transport production, productivity of the most important resources such as labour and infrastructure [27], it seems appropriate to assess the seasonal uneven loading of the railway infrastructure using this indicator. The reduced work (production) of railway transport is defined as the sum of cargo and passenger turnover [28, p. 121], while passenger turnover is doubled to determine labour productivity [28, p. 199]. It also substantiates the introduction of a special multiplying factor for container cargo turnover based on the higher cost and salary intensity of their transportation. As indicated in [29, pp. 45–46], the most accurately cited work for assessing infrastructure performance could be estimated using specially calculated normalization factors for cargo turnover and passenger turnover carried out by each category of trains having a coefficient of capacity load different from other categories. However, such an assessment is rather complicated, therefore, it is noted that it is possible to determine the given work for assessing the infrastructure productivity by the formula [29, p. 46]:

$$PL_{tar} = PL_{tar} + K_{norm} \cdot HL, \quad (1)$$

where PL_{tar} – tariff cargo turnover;

HL – passenger turnover;

K_{norm} – normalization factor.

The normalization factor can be assessed in various ways, it is important to note that in any case it will be more than one. In this study, the value $K_{norm} = 2$ is taken, as for assessment of labour productivity.

It is proposed to assess the seasonal unevenness of infrastructure loading using the following indicators (unevenness coefficients):

$$K_{unev}^1 = \frac{PL_{norm}^{max}}{PL_{year}}, \quad (2)$$

$$K_{unev}^2 = \frac{PL_{norm}^{max}}{PL_{norm}^{min}}, \quad (3)$$

$$K_{unev}^3 = \frac{PL_{norm}^i}{PL_{year}}, \quad (4)$$

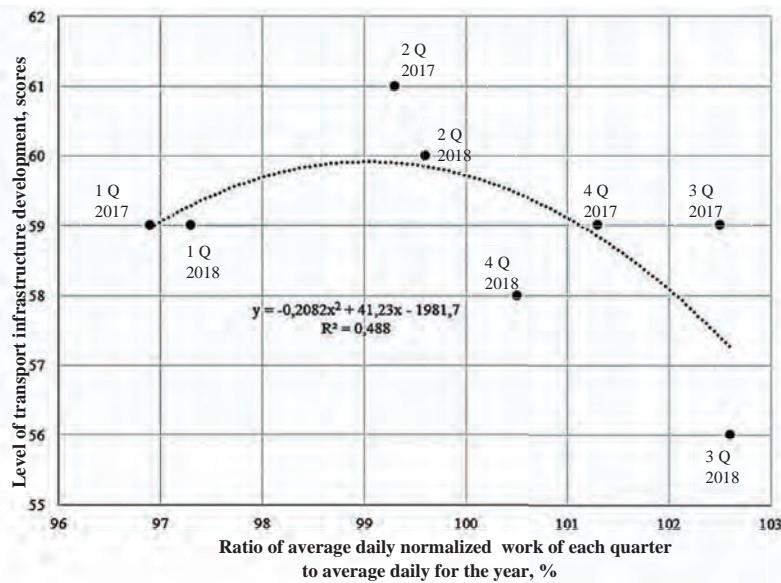
where $\overline{PL}_{norm}^{max}$, $\overline{PL}_{norm}^{min}$ – respectively, the maximum and minimum quarterly (monthly)



Table 1

Seasonal unevenness of loading of the railway infrastructure, %

Year	K_{unev}^1	K_{unev}^2	K_{unev}^3				
				I quarter	II quarter	III quarter	IV quarter
2017	102,5	105,7	96,9	99,3	102,5	101,3	
2018	102,6	105,5	97,3	99,6	102,6	100,5	



Pic. 1. Dependence of the assessment by shippers of the level of railway infrastructure development on the level of its loading.

value of the average daily normalized work during the year;

$\overline{PL}_{nom}^{year}$ – average daily normalized work for the year;

\overline{PL}_{nom}^i – average daily normalized work for the particular quarter (month).

The indicated indicators, which can be expressed as coefficients or as a percentage, are not alternative, but complementary. Together, they make it possible to comprehensively assess the seasonal uneven loading of the railway infrastructure.

The coefficient K_{unev}^1 characterizes the excess of infrastructure loading in the «peak» season over the average annual level. Its importance is determined by the fact that the capacity and carrying capacity of railways should allow to realize not only medium, but also maximum loads without loss of rhythm and stability of work. This is necessary to ensure the economic efficiency of their functioning. However, the ratio of loading of infrastructure in the «peak» season and the low demand season, which is

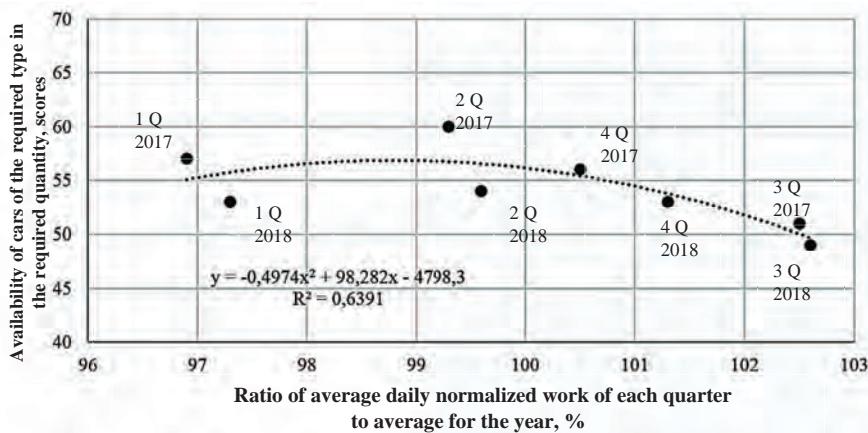
demonstrated by the coefficient K_{unev}^2 , is also important. Together, these coefficients give an annual characteristic of uneven railway infrastructure loading. But such a characteristic is not exhaustive. From an economic point of view, it is important (as will be shown below) to assess the loading level in each season, in comparison with the average annual rate using the coefficient K_{unev}^3 .

The characteristics of the seasonal (quarterly) uneven loading of the infrastructure of the Russian railways are shown in Table 1. As can be seen from the table, they are not subject to sudden changes.

An important theoretical and applied value belongs to identification of influence of seasonal uneven loading of railway infrastructure on economic performance of the industry.

Influence of seasonality of infrastructure loading on economic indicators of railway transport

Efficiency and competitiveness of railway transport, both current and long-term,



Pic. 2. Dependence of assessment by shippers of availability of wagons of the required type in the required quantity on the level of infrastructure loading.

significantly depend on the level of quality of services provided to users [30; 31]. At the same time, not only transportation quality indicators objectively measured by industry statistics are important, but also *subjective* assessments of quality of services provided by the users themselves [32, p. 58; 29, pp. 147–148]. The use of such estimates to characterize quality of transport services not only reflects the principle of customer focus, but also corresponds to the fundamental principles of economic theory [33, p. 63]. After all, it is on the basis of their own subjective assessments that users decide on how to organize transportation (what modes of transport, which logistics scheme to use), and whether to carry out transportation at all. Using generalized assessments of cargo owners in the form of «Quality Index» made it possible to establish that the sensitivity of demand for cargo transportation to the quality level is almost twice as high as to the cargo charge level [34, pp. 40–41; 35, pp. 135–139].

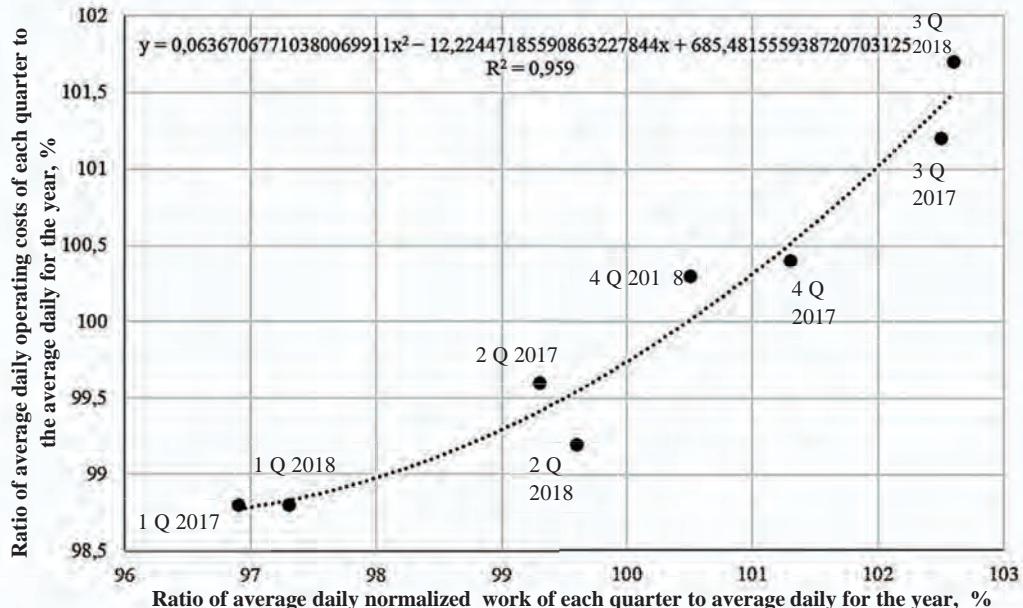
Based on the foregoing, it is of interest to study the dependence of scores of cargo owners on quality indicators of transport services, which are components of a generalized Quality Index, on the level of railway infrastructure loading. When the infrastructure loading is more than 100 % of the average annual level, there is a tendency for shippers to reduce scores while assessing the level of development of transport infrastructure (Pic. 1). In other words, during periods of «peak» loading of infrastructure, its development is perceived by shippers as relatively worse than during periods of loading below the average level.

Interestingly, a much stronger correlation exists between shippers' assessment of availability of wagons of the required type in the required quantity and the level of infrastructure loading (Pic. 2). During periods of «peak» loading, these estimates are reduced, which is associated both with emergence of a shortage of wagons and increasing demand, and with difficulties in sending empty cars to loading sites due to the high and ultra-high filling of transit capacity at many sections of the railway network.

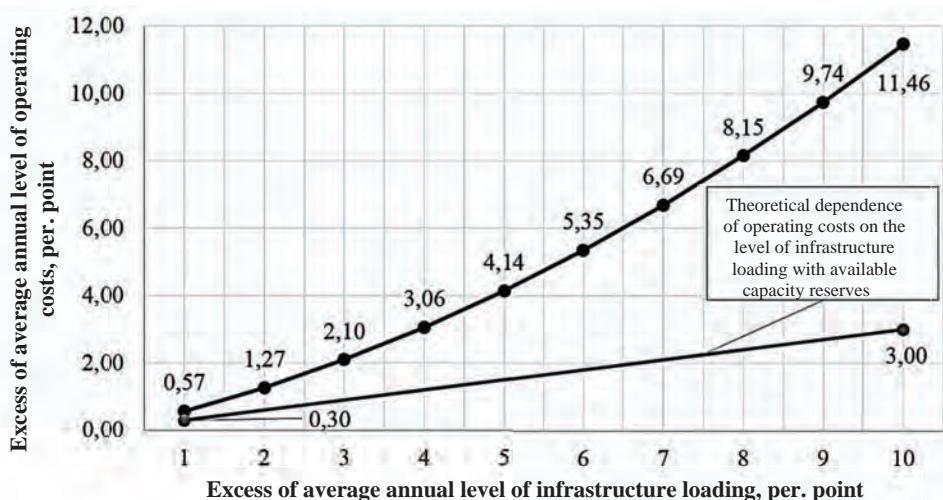
The analysis of dependence of the key economic indicator of railways (transportation costs or operating costs) on unevenness of infrastructure loading is of great importance. To carry out the corresponding assessment, the operating costs of different quarters were normalized to a comparable form by excluding from costs of I and IV («winter») quarters of additional costs associated with performance of operational work in the winter period (for fuel, snowfighting, etc.), and from costs of IV quarter of additional costs associated with the end of the year (payments on accounts, etc.). After these adjustments to the quarterly data, the average daily costs for each year and quarters were calculated, and the ratios of the average daily costs of each quarter to the corresponding average annual values were determined.

The assessment shows the non-linear nature of the dependence of operating costs on the level of railway infrastructure loading (Pic. 3). Such a result is empirical confirmation of the theoretical positions expressed in a number of works on the economics of transport [9, p. 87;





Pic. 3. Dependence of operating costs on unevenness of infrastructure loading.



Pic. 4. The increase in operating costs during infrastructure overloading.

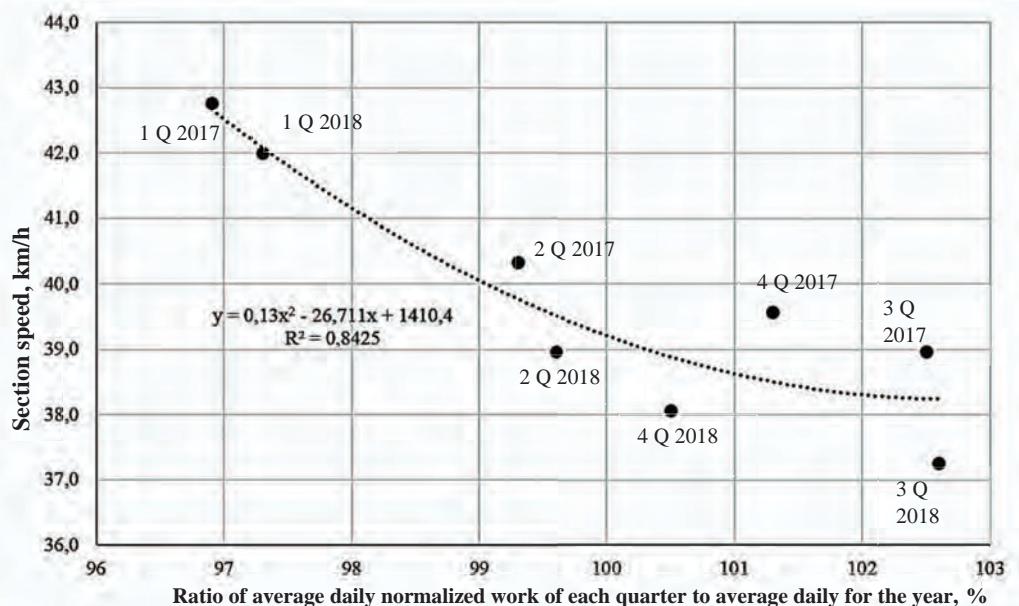
36, pp. 96–97; 37, pp. 367–368] and consistent with the fundamental principles of economic theory, according to which, with an increase in production under the conditions of an unchanged amount of fixed capital, from a certain moment, the law of diminishing returns comes into effect [38, pp. 271–273]. As a result, marginal costs increase, and the growth of total costs becomes non-linear and accelerates.

It is noteworthy that under the conditions under consideration, even before reaching the average annual level of railway infrastructure loading, growth of costs accelerates (Pic. 3).

This indicates that even with an average annual load, domestic railways are overloaded, i.e. operate in an economically suboptimal mode. With a significant excess of the average annual loading level, the growth of costs significantly exceeds the values observed with availability of transit capacity reserves and becomes faster than the growth in infrastructure loading (Pic. 4). The widening of the gap between the graphs of nonlinear growth in operating costs during infrastructure reloading and the theoretical graph in the absence of such is rather indicative.

Table 2
Dynamics of section and technical speeds of cargo trains and change in coefficient of section speed by quarter for 2017–2018

Indicator	2017				2018			
	I Q	II Q	III Q	IV Q	I Q	II Q	III Q	IV Q
Section speed	42,8	40,3	39,0	39,6	42,0	39,0	37,3	38,1
Technical speed	48,5	47,0	46,1	46,4	48,4	46,5	45,7	46,2
Coefficient of section speed	0,881	0,858	0,845	0,852	0,868	0,839	0,815	0,824



Pic. 5. Dependence of section speed of cargo trains on unevenness of infrastructure loading.

One of the main reasons for the nonlinear, accelerating growth in operating costs while increasing infrastructure loading is deterioration in quality of use of rolling stock over time, primarily expressed in decrease in train speeds. In a number of studies carried out in different years, it was found that when the loading of transit capacity of a railway line exceeds 70–80 % of the calculated value, section speed of cargo trains on these lines decreases [39; 40; 41, pp. 1–5], and the cost of transportation, respectively, grows [42, pp. 195–196; 43, pp. 67–68].

The empirical analysis of intra-annual changes in train speeds (Table 2) in comparison with seasonal unevenness of railway infrastructure loading (Table 1) indicates that during periods of higher infrastructure loading, train speeds decrease and their minimum values fall on III quarter, when the level of infrastructure loading is maximum.

The mathematical assessment of dependence of section speed on unevenness of railway infrastructure loading also indicates a decrease in section speed in case of infrastructure overloading (Pic. 5).

The scientific value of the simulation is that the dependence of section speed on the level of infrastructure loading is established not for individual lines, but for the railway network as a whole. As is known, the cost of transportation and section speed are inversely related [37, pp. 269–276]. This means that with a decrease in section speed, the cost of transportation, and, consequently, the total amount of operating costs, increase.

At the same time, the decrease in section speed is only partially explained by the increase in operating costs, since the analysis shows (Tables 1, 2) that during periods of «peak» loading of the infrastructure not only section speed decreases, but also the section speed coefficient, defined as





the ratio of section speed to technical [44, p. 246]. A decrease in the coefficient of section speed means that the downtime of trains at intermediate stations increases, and this additionally increases operating costs due to the increase in car-hours and locomotive-hours of downtime, as well as total crew hours of locomotive crews [45]. The combination of these factors explains the increase in operating costs, shown in Pic. 4. In addition, these downtimes lead to a slowdown in delivery of goods, which entails losses for product owners and the economy as a whole [46, pp. 6–7], and may also entail recovery of penalties from the carrier for late delivery of goods.

Thus, the seasonal unevenness of loading of the railway infrastructure leads to a decrease in quality of transportation and deterioration in the market image of the railway industry, an increase in operating costs and the cost of transportation, which reduces the efficiency and competitiveness of railways. Accordingly, unevenness of transportation reduces the efficiency of investments in railway transport development. Therefore, the possibility of increasing unevenness of transportation should be considered as a specific type of risk in implementation of both individual investment projects and integrated development programs, such as the Long-Term Development Program of JSC Russian Railways until 2025 [15].

The model of influence of seasonal unevenness of railway infrastructure loading on the efficiency of its use and development

The analysis and assessments made, taking into account the understanding of economic interconnections in the field of operation and development of transport systems, allow using the logical-analytical method [47] to form a theoretical model of influence of seasonal unevenness of loading of railway infrastructure on the efficiency of its use and development. The model is based on the following provisions.

1. The average daily value of normalized work ($\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{year}}$) of railway transport for the year with its existing structure by type and direction of transportation (S_{ij}) and a given level of tariffs (T) determines the annual income of the industry from transportation (D):

$$D = f(\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{year}}, S_{ij}, T). \quad (5)$$

In this study, we abstract from changes in traffic patterns and tariff levels in order to identify the effects of seasonal variation. Then expression (5) can be written as:

$$D = f(\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{year}}). \quad (6)$$

2. The maximum average daily normalized work of the intra-annual period (a quarter or a month) $\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{max}}$ determines both the required capital investments (K) in creating the transit and carrying capacity for realization of the corresponding transportation volume, and not only operating costs depending on transportation volume (variables) of the corresponding period, but also the annual conditionally-constant costs ($E_{c\text{-const}}$) associated primarily with infrastructure maintenance:

$$K = f(\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{max}}), \quad (7)$$

$$E_{c\text{-const}}^{\text{year}} = f(\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{max}}). \quad (8)$$

At the same time, the dependent (variable) operating costs during periods of «peak» volumes are determined not only by these volumes themselves, but also by deterioration of quality indicators of the transportation process, in particular, a decrease in motion speeds (ΔV):

$$E_{\text{dep}}^{\text{max}} = f(\overline{PL}_{\text{norm}}, \Delta V). \quad (9)$$

3. The effectiveness of the use of transport infrastructure (E_{infr}^u) depends on the ratio of revenues from transportation carried out using this infrastructure, and the corresponding operating costs, both dependent and independent of the volume of transportation (conditionally constant):

$$E_{\text{infr}}^u = f(D, E_{c\text{-const}}, E_{\text{dep}}). \quad (10).$$

Taking into account the dependencies (5–9), with the prevailing transportation structure and a given tariff level:

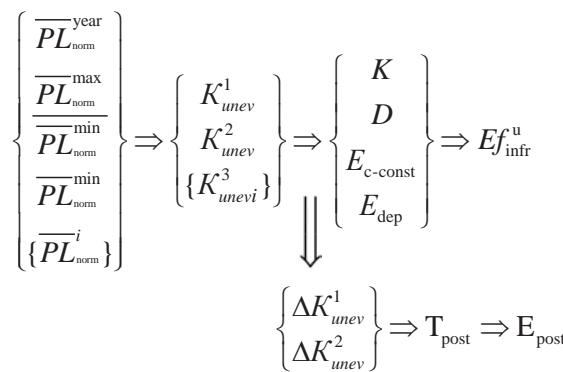
$$E_{\text{infr}}^u = f(\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{year}}, \overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{max}}). \quad (11)$$

In turn, the average daily value of normalized work of railway transport for the year ($\overline{PL}_{\text{norm}}^{\text{year}}$) depends both on its level during the periods of maximum and minimum transportation and the ratio between them, and on the general distribution of transportation by period of the year, i.e. on the parameters $K_{\text{unev}}^1, K_{\text{unev}}^2, \{K_{\text{unev}}^3\}$.

This implies the existence of the dependence: $E_{\text{infr}}^u = f(K_{\text{unev}}^1, K_{\text{unev}}^2, \{K_{\text{unev}}^3\})$. (12).

4. When approaching the maximum level of railway infrastructure loading to the curve of production capabilities (CPC¹), the law of

¹ CPC of the railway line shows what number of trains of different types (passenger, cargo) can be processed on this line per a certain time interval [37, p. 365].



Pic. 6. Scheme of assessment of seasonal unevenness of railway infrastructure loading on the efficiency of its use and development.

diminishing returns comes into force and there is a need for reconstruction activities [37, p. 366], requiring appropriate capital expenses (K_{rec}).

The capital expenses for reconstruction of the railway infrastructure should be paid off due to the income from transportation and other effects associated with the increase, due to reconstruction, in the volume of transportation (normalized work).

In a situation where there is a seasonal unevenness of infrastructure loading, i.e. coefficients K_{unev}^1 , K_{unev}^2 , K_{unev}^3 , are not equal to unity, an alternative to reconstruction is to reduce unevenness of transportation, with a reduction in values of K_{unev}^1 , K_{unev}^2 , K_{unev}^3 . At the same time, it becomes possible to postpone capital expenses for reconstruction by making them in subsequent years. The effect of postponement of expenses (E_{post}) for a given value of future costs for reconstruction of railway infrastructure that are being postponed for the future depends on time of postponement of costs (T_{post}), and the larger is it, the higher is the effect:

$$E_{\text{post}} = f(T_{\text{post}}). \quad (13)$$

The essence of the effect of postponement of capital costs is due to the fact that during the period of postponement they will give effect with any alternative options of use. If the source of the corresponding investments is linked with borrowed funds, interest payments will be reduced.

In turn, time of postponement of expenses depends on reducing unevenness of infrastructure loading:

$$\hat{O}_{\text{post}} = f(\Delta K_{\text{unev}}^1, \Delta K_{\text{unev}}^2). \quad (14)$$

Hence:

$$E_{\text{post}} = f(\Delta K_{\text{unev}}^1, \Delta K_{\text{unev}}^2). \quad (15)$$

Thus, based on the logical analysis, the influence of seasonal unevenness of loading of railway infrastructure on the efficiency of its use and development is shown. In a generalized form, the described model is presented in Pic. 6.

Conclusion. It is advisable to use the methodological toolkit for assessing seasonal unevenness of railway infrastructure loading for its in-depth retrospective analysis, identifying the main factors affecting the unevenness indicators and determining the minimum achievable (maximum permissible) level of seasonal unevenness. This will allow forecasting seasonal unevenness for the future and developing measures to reduce it (to prevent exceeding the limit level). Measures to reduce unevenness of transportation can be based on tariff measures based on changes in cargo charges depending on the level of infrastructure loading [10, pp. 164–165; 48, p. 191; 49, pp. 69–70], and, in addition to them, on organization and technological measures, including those based on the use of big data analysis and computer modelling [50].

Current monitoring of seasonal unevenness of transportation, with assessment of effectiveness of the developed measures to reduce it and their further adjustment, should also be carried out using this methodological toolkit.

The influence of unevenness of loading of the railway infrastructure on assessment of quality of transportation services by shippers, the quality indicators of operational activity and operating costs of the railway transport, the developed model of influence of seasonal unevenness of loading on the efficiency of use and development of railway infrastructure



revealed during the study make it possible to carry out economic assessment of seasonal unevenness on the results of current and investment activities of railway transport, and, thus, are tools to improve planning and management of transportation activities and development of railways.

At the same time, reduction in seasonal unevenness of transportation should be considered as a factor increasing the economic efficiency of not only the current, but also investment activity of railway transport, while its growth could be regarded as a specific type of risk for effectiveness of implementation of projects for railway infrastructure development.

REFERENCES

1. Galitsinsky, F. A. The capacity of railways and confusion in traffic [*Propusknaya sposobnost' zheleznykh dorog i zameshatelstva v dvizhenii*]. St. Petersburg, 1899, 249 p.
2. Operation of railways. General information [*Ekspluatatsiya zheleznykh dorog / Obshchie svedeniya*]. Summary of lectures by Professor Myasoedov-Ivanov. Institute of Railway Engineers of Alexander I. St. Petersburg, Printing House of Yu. N. Erlikh, 1910, 158 p.
3. Sotnikov, E. A., Shenfeld, K. P. Unevenness of cargo transportation in modern conditions and its impact on the required capacity of sections [*Neravnomernost' gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyah i ee vliyanie na potrebnuyu propusknuyu sposobnost' uchastkov*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss. 5, pp. 3–9.
4. Macheret, D. A. Fundamental production and economic problems and their features in railway transport [*Fundamentalnie proizvodstvenno-ekonomicheskie problemy i ikh osobennosti na zhelezodorozhnom transporte*]. *Zhelezodorozhniy transport*, 2002, Iss. 5, pp. 59–61.
5. Ugryumov, A. K. Unevenness of train traffic [*Neravnomernost' dvizheniya poezdov*]. Moscow, Transport publ., 1968, 112 p.
6. Khachaturov, T. S. Economics of transport [*Ekonomika transporta*]. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1959, 588 p.
7. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Model and methodology of macroeconomic assessment of the mass of goods in the process of transportation [*Model' i metodika makroekonomiceskoi otsenki tovarnoi massy, nakhodyashcheisya v protsesse perevozki*]. *Vestnik nauchno-issledovatelskogo instituta zhelezodorozhnoi transporta*, 2011, Iss. 2, pp. 3–7.
8. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Improving speed efficiency of transportation based on the continuous movement of goods and passengers [*Povyshenie skorostnoi effektivnosti transportnogo soobshcheniya na osnove nepreryvnogo peremeshcheniya tovarov i passazhirov*]. *Fundamental research for long-term development of railway transport. Collection of scientific works of members and scientific partners of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. Moscow, Intekst publ., 2013, pp. 85–94.
9. Macheret, D. A., Valeev, N. A. Scientific tools for predictive management of railway transport efficiency [*Nauchniy instrumentariy prediktivnogo upravleniya effektivnos'yu zhelezodorozhnogo transporta*]. *Vestnik nauchno-issledovatelskogo instituta zhelezodorozhnoi transporta*, 2018, Vol. 77, Iss. 2, pp. 84–91.
10. Walters, A. A. Excessive congestion [*Chrezmernoe potreblenie (neregruzka)*]. In: *Economic theory*. Ed. by J. Eatwell, M. Milgate, P. Newman. Transl. from English. Moscow, Infra-M publ., 2004, pp. 157–166.
11. Ryshkov, A. V., Postnikov, S. B. JSC Russian Railways – needs for changes in an era of change [*OAO RZD – potrebnosti v izmeneniyakh v epokhu peremen*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2020, Iss. 1, pp. 11–29.
12. Government order dated September 30, 2018 No. 2101-r. On approval of the Comprehensive Plan for modernization and expansion of the main infrastructure for the period until 2024 [*Rasporyazhenie Pravitelstva ot 30 sentyabrya 2018 No. 2101-r / Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana modernizatsii i rasshireniya magistralnoi infrastruktury na period do 2024 goda*]. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/MUNHgWFddP3Uff9RJASDW9VxP8zwcB4Y.pdf>. Last accessed 11.10.2018.
13. Macheret, D. A., Ledney, A. Yu. Prospects for development of transport infrastructure [*Perspektivy razvitiya transportnoi infrastruktury*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, Iss. 5 (78), 2018, pp. 16–22.
14. Macheret, D. A., Ledney, A. Yu. Economic significance of comprehensive modernization of the main transport infrastructure [*Ekonomicheskoe znachenie kompleksnoi modernizatsii magistralnoi transportnoi infrastruktury*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 1, pp. 31–45.
15. The long-term development program of JSC Russian Railways until 2025 (approved by Decree of the Government of the Russian Federation of March 19, 2019 No. 466-R) [*Dolgosrochnaya programma razvitiya OAO RZD do 2025 goda (utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva RF ot 19 marta 2019 No. 466-R)*.
16. Report of the General Director – Chairman of the Management Board of JSC Russian Railways O. V. Belozerov at the expanded final meeting of the Management Board of JSC Russian Railways [*Doklad generalnogo direktora – predsedatelya pravleniya OAO RZD O. V. Belozerova na rasshirennom itogovom zasedanii pravleniya OAO RZD*]. *Zhelezodorozhniy transport*, 2020, Iss. 1, pp. 2–10.
17. Macheret, D. A., Valeev, N. A. Prospects for the growth of economic efficiency of JSC Russian Railways [*Perspektivy rosta ekonomiceskoi effektivnosti OAO RZD*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2019, Iss. 4 (83), pp. 13–17.
18. Macheret, D. A., Ledney, A. Yu. Volume of transportation – a key factor in the effectiveness of transport infrastructure development [*Ob'emy perevozok – klyuchevoy faktor effektivnosti razvitiya transportnoi infrastruktury*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 4, pp. 28–38.
19. Menger, C. Selected works [*Izbrannye raboty*]. Moscow, Publishing House «Territory of the Future», 2005, 496 p.
20. Economics of railway transport [*Ekonomika zhelezodorozhnoi transporta*]. Ed. by I. V. Belov. Moscow, Transport publ., 1989, 351 p.
21. Sokolov, Yu. I., Lavrov, I. M., Averyanova, O. A., Cherednikov, N. A. Methods of analysis of quality index of transport services for cargo owners [*Metody analiza indeksa kachestva transportnogo obsluzhivaniya gruzovladelstv*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 4, pp. 19–27.
22. The study in the field of consumer evaluation of quality of services in railway cargo transportation market [*Issledovanie v sfere otsenki potrebitelyami kachestva uslug na*

rynke gruzoperevozok zhelezodorozhnym transportom]. 3rd quarter 2019. St. Petersburg, RZD-Partner, 2019, 37 p.

23. Macheret, D. A., Ledney, A. Yu. Impact of seasonal unevenness of transportation on the efficiency of transport infrastructure [*Vliyanie sezonnii neravnomernosti perevozok na effektivnost' transportnoi infrastruktury*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2019, Iss. 6 (85), pp. 4–9.

24. Macheret, D. A., Ledney, A. Yu. Improvement of the methodological tools for assessing seasonal unevenness of transportation [*Sovershenstvovanie metodicheskogo instrumentariya otsenki sezonnii neravnomernosti perevozok*]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zhelezodorozhного transporta*, 2019, Vol. 78, Iss. 6, pp. 323–327.

25. Razuvaev, A. D. Assessment of economic efficiency of construction and technical re-equipment of railway infrastructure using innovative solutions. Ph. D. (Economics) thesis: 08.00.05 [*Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti stroitelstva i tekhnicheskogo perevozcheniya zhelezodorozhnoi infrastruktury s primenem innovatsionnykh reshenii*. Dis... kand. ekon. nauk: 08.00.05]. Razuvaev Aleksey Dmitrievich. Moscow, 2019, 148 p.

26. Macheret, D. A. Productivity – fundamental basis of economic efficiency [*Proizvoditelnost' – fundamental'naya osnova ekonomicheskoi effektivnosti*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2010, Iss. 7, pp. 19–34.

27. Macheret, D. A. On development of a system for integrated assessment and increase in productivity of the use of production resources by areas (labour resources, infrastructure, rolling stock, energy efficiency) [*O razrabotke sistemy kompleksnoi otsenki i povysheniya proizvoditelnosti ispolzovaniya proizvodstvennykh resursov po napravleniyam (trudovye resursy, infrastruktura, podvizhnoy sostav, energoeffektivnost')*]. Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, 2010, Iss. 2, pp. 3–23.

28. Railway transport statistics [*Statistika zhelezodorozhного transporta*]. Ed. by T. I. Kozlov, A. A. Polikarpov. Moscow, Transport publ., 1990, 327 p.

29. Macheret, D. A., Ryshkov, A. V., Valeev, N. A. [et al]. Management of economic efficiency of operation activities of railway transport with the use of innovation approaches [*Upravlenie ekonomicheskoi effektivnostyu ekspluatatsionnoi deyatelnosti zhelezodorozhного transporta s ispolzovaniem innovatsionnykh podkhodov*]. Moscow, RIOR publ., 2018, 212 p.

30. Mandrikov, M. E., Macheret, D. A. Transport service in market economy [*Transportnoe obsluzhivanie v usloviyah rynochnoi ekonomiki*]. *Zhelezodorozhniy transport*, 1992, Iss. 1, pp. 56–59.

31. Macheret, D. A., Ryshkov, A. V. Strategic significance of improvement of quality of cargo delivery [*Strategicheskoe znenie povysheniya kachestva dostavki gruzov*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, Iss. 6, pp. 22–29.

32. Sokolov, Yu. I. Quality index as market barometer [*Indeks kachestva – barometr rynka*]. *RZD-Partner*, 2014, Iss. 4 (272), pp. 58–59.

33. Titova, V. I. Ways to improve quality of cargo transportation [*Puti povysheniya kachestva gruzovykh perevozok*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 12, pp. 59–68.

34. Sokolov, Yu. I., Lavrov, I. M. Assessment of elasticity of demand for railway transportation [*Otsenka elastichnosti sprosa na zhelezodorozhnie perevozki*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2013, Iss. 8, pp. 34–42.

35. Sokolov, Yu. I., Lavrov, I. M. Methods of economic assessment of quality of transport service of shippers under the conditions of multiplicity participants in transportation process [*Metody ekonomicheskoi otsenki kachestva transportnogo obluzhivaniya gruzovladel'stva v usloviyah*

mnozhestvennosti uchastnikov perevozochnogo protessa]. Moscow, Zolotoe sechenie publ., 2015, 168 p.

36. Macheret, D. A. Methodology of management of operation and development of parallel lines of the railway network based on marginal indicators [*Metodologiya upravleniya ekspluatatsiei i razvitiem parallelnykh khodov zhelezodorozhnoi seti na osnove marzhinalnykh pokazatelei*]. *Fundamental research for long-term development of railway transport. Collection of scientific works of members and scientific partners of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. Moscow, Intekst publ., 2013, pp. 95–100.

37. Smekhova, N. G., Macheret, D. A., Kozhevnikov, Yu. N. [et al]. Costs and prime cost of railway transportation [*Izderzhki i sebestoimost' zhelezodorozhnykh perevozok*]. Moscow, FSBEI EMC RT, 2015, 472 p.

38. Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D. Economics. Transl. from English. Moscow, LLC Publishing house Williams, 2010, 1360 p.

39. Chernomordik, G. I., Kozin, B. S., Kozlov, I. T. On economically feasible level of loading of single-track and double-track lines [*Ob ekonomicheski tselesobraznom urovne zagruzki odnoputnykh i dvukhputnykh linii*]. *Transportnoe stroitelstvo*, 1960, Iss. 12, pp. 46–50.

40. Kozlov, V. E. Carrying capacity of railway lines and reliability of technical means [*Propusknaya sposobnost' zhelezodorozhnykh linii i nadezhnost' tekhnicheskikh sredstv*]. *Vestnik VNIZhT*, 1979, Iss. 4, p. 16.

41. Concept of organization of heavy- and long-train movement of cargo trains on the main directions of the railway network [*Konteptsiya organizatsii tyazhelovesnogo i dlinnosostavnogo dvizheniya gruzovykh poezdov na osnovnykh napravleniyakh seti zheleznykh dorog*]. Ed. by L. A. Muginshtein. Moscow, VNIZhT publ., 2007, 179 p.

42. Economics of railway transport [*Ekonomika zhelezodorozhного transporta*]. Ed. by E. D. Khanukov. Moscow, Transport publ., 1969, 424 p.

43. Shulga, A. M., Cost of railway transportation [*Sebestoimost' zhelezodorozhnykh perevozok*]. Moscow, Transport publ., 1985, 279 p.

44. Kochnev, F. P., Sotnikov, I. B. Management of operational work of railways [*Upravlenie ekspluatatsionnoi rabotoi zheleznykh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1990, 424 p.

45. Macheret, D. A. Analysis of long-term dynamics of speeds in cargo movement [*Analiz dolgosrochnoi dinamiki skorosti v gruzovom dvizhenii*]. *Zhelezodorozhniy transport*, 2012, Iss. 5, pp. 66–71.

46. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Model and method of macroeconomic assessment of goods, being transported [*Model' i metodika otsenki tovarnoi massy, nakhodyashcheisya v protsesse perevozki*]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zhelezodorozhного transporta*, 2011, Iss. 2, pp. 3–7.

47. Macheret, D. A. Methodological problems of economic studies on railway transport [*Metodologicheskie problemy ekonomicheskikh issledovanii na zhelezodorozhnom transporte*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 3, pp. 12–26.

48. Frank, R. The Darwin Economy, Liberty, Competition and the Common Good. Transl. from English. Moscow, Publishing House of Gaydar Institute, 2013, 352 p.

49. Macheret, D. A. Economy of bottlenecks. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 3 (52), pp. 64–75.

50. Nakagawa, Sh., Shibata, M., Fukasawa, N. Optimization System of Reserved/Non-reserved Seating Plans for Improving Convenience and Revenue on Inter-city Trains. *Quarterly Report of the RTRI*, 2017, Vol. 58, No. 2, pp. 105–112.





Неполученная провозная плата – нерешённая проблема предприятий общественного транспорта, осуществляющих перевозку льготников



Максим МАЛЫШЕВ



Надежда ФИЛИППОВА



Михаил ПОНОМАРЕВ

Малышев Максим Игоревич – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

Филиппова Надежда Анатольевна – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

Пономарев Михаил Львович – ООО «ИМЭКСПРОФИ», Москва, Россия*.

В мире ведётся активная политика поощрения использования общественного транспорта людьми особых, льготных категорий. Используются дифференцированные тарифы, весь транспорт объединяется в одну систему, вводится индекс доступности услуг пассажирских перевозок. Система льготного проезда широко применяется в России.

Но проблема социального обеспечения льготных категорий граждан не может быть решена без обеспечения оплаты их проезда в общественном транспорте. Бремя по финансированию предоставления льгот не может быть возложено на перевозчиков.

Только разработка и последующее применение метода расчёта неполученной провозной платы с учётом установленных тарифов позволит решить проблему оплаты услуг перевозки льготников. В этом случае предприятия общественного транспорта смогут вести нормальную хозяйственную деятельность и предоставлять

качественные и безопасные услуги перевозки пассажиров.

Цель статьи обосновать необходимость разработки метода расчёта неполученной провозной платы с учётом установленных тарифов.

На примере ряда российских регионов изучены федеральное и региональное законодательство, а также судебная практика касательно проблем исследования. Произведён критический анализ соответствующих региональных нормативных актов. Осуществлён сбор информации о прекративших деятельность предприятиях общественного транспорта.

В результате графической интерпретации информации об установленных государством тарифах и компенсации перевозчикам произведён синтез собранных данных, позволивший наглядно продемонстрировать отсутствие связи компенсации с тарифами на перевозку пассажиров.

Ключевые слова: общественный транспорт, перевозка льготников, неполученная провозная плата, единый социальный проездной билет, льготный проезд, Тверская область, Хабаровский край.

*Информация об авторах:

Малышев Максим Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, dicorums@gmail.com.

Филиппова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, umen@bk.ru.

Пономарев Михаил Львович – Генеральный директор ООО «ИМЭКСПРОФИ», Москва, Россия, mikhail.ponomarev@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.12.2019, актуализирована 30.01.2020, принятая к публикации 25.02.2020.

For the English text of the article please see p. 125.

ВВЕДЕНИЕ

До 2004 года в России граждане, относящиеся к некоторым льготным категориям (например, участники Великой Отечественной войны, граждане, подвергшиеся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, многодетные семьи, ветераны труда и т.д.), имели право бесплатного проезда в общественном транспорте независимо от места жительства (Федеральный закон от 12.01.1995 г. № 5-ФЗ «О ветеранах» в редакции от 06.05.2003, Закон РФ от 15.05.1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» в редакции от 23.10.2003 г., Указ Президента РФ от 5 мая 1992 г. № 431 «О мерах по социальной поддержке многодетных семей» в редакции от 25 февраля 2003 г.), а основными задачами государственных пассажирских автотранспортных предприятий были обеспечение выпуска подвижного состава на линию, выполнение плана перевозок пассажиров и т.д. Работа предприятий оценивалась системой технико-эксплуатационных показателей, характеризующих качество и количество выполненной работы [1].

Льготникам была предоставлена возможность неограниченного количества поездок на городских и пригородных муниципальных маршрутах, а транспортные предприятия, финансируемые из бюджета, обеспечивали перевозку пассажиров в соответствии с планами и регламентами.

С 2005 года вступил в силу Федеральный закон РФ № 122-ФЗ от 22.08.2004 г., известный, как закон о монетизации льгот. Законом № 122-ФЗ были внесены изменения в федеральные нормативные акты, регламентирующие вопросы социальной защиты населения; разграничены полномочия по предоставлению льгот между федеральной и региональной властями, льготников разделили на так называемые федеральные и региональные регистры; натуральные льготы были заменены денежными компенсациями; система предоставления льгот гражданам было изменена [2].

В связи с изменениями в федеральном законодательстве сложилась сложная ситуация. Переход к монетизации основных льгот, в том числе бесплатного проезда,

вызвал острую социальную напряженность среди населения [3].

С целью недопущения уменьшения объема социальной поддержки льготников в части транспортного обслуживания государство передало полномочия по созданию механизма предоставления данных льгот на уровень субъектов, и большинство из них сделали выбор в пользу единых социальных проездных билетов (ЕСПБ) [4; 5].

УСТАНОВЛЕННЫЕ ТАРИФЫ

Оплата перевозки транспортом общего пользования производится только по установленным тарифам.

Транспортные предприятия осуществляют перевозки пассажиров по регулярным маршрутам, которые в соответствии с нормами гражданского права относятся к перевозкам транспортом общего пользования (статья 789 Гражданского кодекса Российской Федерации, статья 19 Федерального закона РФ № 259-ФЗ от 08 ноября 2007 года, «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта») [6; 7].

Целью предприятий является получение прибыли от хозяйственной деятельности.

В соответствии со статьями 426, 784, 786, 789 Гражданского кодекса Российской Федерации, при обращении любого гражданина предприятие общественного транспорта при наличии возможности обязано предоставить гражданину услуги перевозки, отказ осуществить перевозку пассажира недопустим [6].

Из части 5 статьи 790 Гражданского кодекса Российской Федерации следует, что если льготы по оплате проезда пассажиров установлены законом или нормативным актом, то понесенные транспортной организацией расходы должны быть возмещены [6].

Таким образом, транспортные предприятия не могут отказаться от перевозки льготников, при этом все расходы, связанные с их перевозкой, должны быть возмещены перевозчиком.

Из пункта 16 Постановления Пленума Высшего арбитражного суда Российской Федерации от 22.06.2006 г. № 23 следует, что транспортные предприятия, оказавшие услуги перевозки пассажиров бесплатно,



а также по льготным ценам в соответствии с законом, могут получить компенсацию в виде неполученной платы за проезд [8].

В соответствии с судебным актом Верховного Суда Российской Федерации по делу № 4-Г02-8 от 13.05.2002 г., согласно частям 1, 2 статьи 790 Гражданского кодекса Российской Федерации существуют два варианта формирования размера провозной платы на транспорте.

Стоимость перевозки может быть согласована перевозчиком и получателем услуги. Либо тариф на перевозку может быть установлен в соответствии с действующим законодательством.

Выбор варианта формирования размера платы за перевозку осуществляется исходя из вида перевозки.

В случае перевозки пассажиров транспортом общего пользования плата за проезд производится по установленным тарифам. Плата за все другие перевозки производится по тарифам, согласованным сторонами, если нет норм, предусматривающих иной порядок оплаты [9].

Следовательно, рассчитать размер провозной платы, которая не была получена предприятием общественного транспорта при перевозке пассажиров льготных категорий, можно не иначе, как с учётом установленных тарифов.

ПОЛНОМОЧИЯ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ РАЗМЕРА ПЛАТЫ

Размер платы за проезд пассажиров на общественном транспорте устанавливает уполномоченный орган власти или перевозчик. Как указано в пункте «ж» статьи 71 Конституции Российской Федерации, основы ценовой политики находятся в ведении Российской Федерации [10].

В соответствии с пунктом 2 Указа Президента Российской Федерации от 28 февраля 1995 г. № 221 порядок государственного регулирования тарифов на продукцию производственно-технического назначения, товары народного потребления и услуги устанавливает Правительство Российской Федерации [11].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 марта 1995 г. № 239 до 12 октября 2018 г. государственное регулирование тарифов было возло-

жено на органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации [12; 13].

В соответствии с Федеральным Законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ органы власти субъекта Российской Федерации устанавливают регулируемые тарифы на перевозки по муниципальным маршрутам, либо, если это установлено законом субъекта, допускается осуществление регулярных перевозок по нерегулируемым тарифам, установленным перевозчиком [14].

Например, в Тверской области в соответствии с постановлением администрации Тверской области от 30 ноября 2006 г. № 292-па, постановлением Правительства Тверской области от 3 мая 2012 г. № 221-пп, а с 01 января 2019 г. в соответствии с постановлением Правительства Тверской области от 14 декабря 2018 г. № 359-пп «О порядке установления регулируемых тарифов на перевозки пассажиров и багажа транспортом общего пользования», государственное регулирование тарифов осуществляется Главным управлением «Региональная энергетическая комиссия» Тверской области (ГУ РЭК Тверской области) [15].

Приказами ГУ РЭК Тверской области установлены тарифы на проезд пассажиров в общественном транспорте.

ОТСУТСТВИЕ В РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТАХ МЕТОДИК РАСЧЁТА НЕПОЛУЧЕННОЙ ПРОВОЗНОЙ ПЛАТЫ

Нормативные акты региональных органов власти о предоставлении льготного проезда и выплате компенсации транспортным предприятиям не содержат методики расчёта неполученной провозной платы.

Проведя исследование механизмов предоставления льготного проезда на общественном транспорте *методом* критического анализа законодательства Тверской области и Хабаровского края и фактических взаимоотношений пассажиров, перевозчиков и органов власти, можно прийти к выводу, что метода расчёта неполученной провозной платы в соответствии с тарифами нет.

Постановлением администрации Тверской области от 16.02.2005 г. № 32-па введён

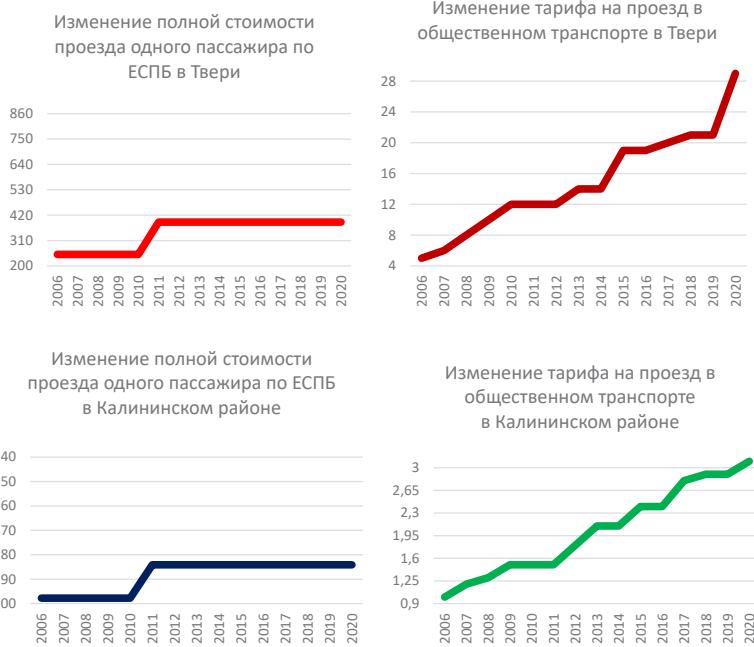


Рис. 1. Сравнение изменений полной стоимости проезда по ЕСПБ и тарифа на проезд в общественном транспорте в городе Твери и Калининском районе [4; 16–19]. Составлено авторами.

ЕСПБ, дающий право гражданам льготных категорий осуществлять неограниченное количество поездок на маршрутах городского и пригородного общественного транспорта без оплаты проезда, и установлена стоимость ЕСПБ для граждан [4].

Постановлением Правительства Тверской области от 1 марта 2017 г. № 45-пп установлена «полная стоимость проезда одного пассажира по ЕСПБ в месяц» (далее стоимость проезда по ЕСПБ) [16].

Согласно Постановлению № 45-пп размер субсидии перевозчику за отчётный месяц (P) определяется исходя из объёмов недополученных доходов перевозчика, связанных с предоставлением льготного проезда по ЕСПБ на территории Тверской области.

Фактически размер субсидии определяется путём умножения стоимости проезда

по ЕСПБ (C) на количество использованных (полученных льготниками) ЕСПБ (N):

$$P = C \cdot N.$$

Если в муниципальном образовании Тверской области перевозку льготников осуществляют два и более перевозчика, распределение субсидий между перевозчиками производится согласно выполненной транспортной работе (K), а в период дачных маршрутов учитывается коэффициент 1,2:

$$P = C \cdot N \cdot K \cdot (1,2).$$

При этом Постановлениями № 32-па и № 45-пп не предусмотрено каких-либо правил документирования или расчёта реальных расходов транспортных предприятий на перевозку граждан по ЕСПБ.

Через установленные Постановлениями № 292-па, № 221-пп и № 359-пп процедуры утверждения тарифа показатель «полная



стоимость проезда одного пассажира по ЕСПБ» не проходил. Предварительного согласования с предприятиями, выяснения фактических расходов предприятий, опубликования методики определения «полной стоимости проезда одного пассажира по ЕСПБ» не имело места. Размер выплаты, предусмотренный постановлениями № 32-па и № 45-пп, не учитывает стоимость проезда в транспорте общего пользования, в этих Постановлениях нет слов «тарифы», «проводная плата».

Если синтезировать данные о стоимости проезда по ЕСПБ и тарифах на проезд за всё время с момента введения ЕСПБ и сравнить, как менялась так называемая полная стоимость проезда по ЕСПБ, установленная Постановлениями № 32-па и № 45-пп в городе Твери и Калининском районе, и тарифы на перевозку, установленные региональной энергетической комиссией, то видно, что стоимость проезда по ЕСПБ это фиксированная сумма, изменившаяся лишь один раз за 14 лет, а тарифы за тот же период времени менялись много-кратно (рис. 1).

На графиках рис. 1 по оси Y отражена стоимость проезда по ЕСПБ и величина тарифа за проезд. На оси X отражён период с 2006 по 2020 годы.

Стоимость проезда по ЕСПБ в Твери увеличилась в 2011 году на 56 % по сравнению с периодом с 2006 по 2011 год.

В течение девяти лет, с 2011 по 2020 год стоимость проезда по ЕСПБ остаётся неизменной.

Городской тариф в Твери менялся десять раз и с 2006 года вырос в пять раз, увеличившись на 400 %.

Аналогичная ситуация в Калининском районе Тверской области – пригороде Твери. Стоимость проезда по ЕСПБ не меняется с 2011 года, а тарифы на проезд в городском и пригородном транспорте, установленные уполномоченным органом власти, систематически увеличиваются.

Графическая интерпретация синтезированных данных позволяет наглядно увидеть, что стоимость проезда по ЕСПБ не имеет отношения к установленным тарифам.

В соответствии с письмом Территориального отдела социальной защиты населения Тверской области от 06.03.2015 г.

№ 278 стоимость проезда по ЕСПБ в месяц не является тарифом на проезд.

Ни постановление № 32-па, ни постановление № 45-пп не дают никакого представления о том, на основании чего была определена стоимость проезда по ЕСПБ.

В постановлениях № 32-па и № 45-пп указана максимально возможная сумма компенсации за один ЕСПБ, определённая как «полная стоимость проезда одного пассажира по ЕСПБ в месяц».

Сама фраза «полная стоимость проезда одного пассажира по ЕСПБ» является условным наименованием оценочной величины, используемой администрацией для расчёта суммы, подлежащей выделению из бюджета.

После проведения критического анализа постановлений № 32-па и № 45-пп определено, что данные нормативные акты не содержат методики расчёта неполученной провозной платы.

Предприятия, осуществляющие перевозку пассажиров по ЕСПБ, не получают плату в соответствии с установленными тарифами.

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Предприятия общественного транспорта не могут продолжать нормальную хозяйственную деятельность, не получая платы за перевозку пассажиров.

До 2015 года предприятиям удавалось взыскивать неполученную провозную плату через суды [20].

С 2015 года подобная практика была прекращена Судебной коллегией по экономическим спорам Верховного Суда Российской Федерации [21].

В результате отказа транспортным предприятиям в защите их гражданских прав, многие перевозчики Тверской области прекратили деятельность или находятся в стадии ликвидации. Некоторые из них представлены на рис. 2.

Предположить, что предприятия не смогли продолжать деятельность, так как перевозка льготников не оплачивалась, можно в связи с тем, что все предприятия, указанные на рис. 2, кроме МУП «АТП» г. Бологое, обращались в суд с исками о взыскании неполученной провозной платы. Как следует из исковых заявлений



и заявлений об изменении исковых требований, поданных перевозчиками Тверской области в процессе рассмотрения указанных выше гражданских дел, общая сумма неполученной провозной платы составила более полумиллиарда рублей.

Подобная ситуация складывалась во многих регионах, например, в Хабаровском крае.

В соответствии с постановлением губернатора Хабаровского края от 17 мая 2005 г. № 122 «Об организации льготного проезда отдельных категорий граждан на территории Хабаровского края», предприятия общественного транспорта осуществляли перевозку льготников бесплатно.

Как предусмотренная постановлением № 122 компенсация транспортным предприятиям за перевозку льготников связана с тарифами, установленными уполномоченным органом власти, — комитетом по ценам и тарифам правительства Хабаровского края, неизвестно.

На рис. 3 представлены крупнейшие пассажирские предприятия Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре, которые с 2016 года находятся в стадии ликвидации.

Все эти предприятия заявляли, что им не была оплачена перевозка льготников в соответствии с установленными государством тарифами, и обращались в суд за защитой гражданских прав [27].

После рассмотрения Судебной коллегией по экономическим спорам Верховного Суда Российской Федерации дела МУП г. Хабаровска «Трамвайно-троллейбусное управление» № А73-1127/2014 (303-ЭС14-7904) суды стали отказывать перевозчикам Хабаровского края во взыскании неполученной провозной платы [28].

Как следует из материалов гражданских дел, общая сумма исков предприятий Хабаровского края, осуществлявших перевозку льготников, составляет около миллиарда рублей [28].

Предприятия общественного транспорта не могут функционировать, не получая плату за услуги перевозки пассажиров, в том числе льготников.

В 2015 году постановление № 122 признало утратившим силу [29].

С 1 ноября 2015 г. в Хабаровском крае льготный проезд на городском и пригородном автомобильном, железнодорожном и водном транспорте, в том числе по ЕСПБ, для региональных льготников заменён на ежемесячную денежную выплату [30].

Однако через три года принято постановление от 28 декабря 2018 г. № 495-пр «О порядке и условиях предоставления отдельным категориям граждан бесплатного проезда на транспорте общего пользования (кроме такси) городского и пригородного сообщения на территории Хабаровского края» [31].

В соответствии с постановлением № 495 бесплатный проезд осуществляется по территории Хабаровского края с применением микропроцессорной пластиковой карты (социальная транспортная карта).

Гражданам, имеющим право на ежемесячную выплату в соответствии с краевым законодательством, предоставляется по их выбору ежемесячная денежная выплата либо проезд на транспорте общего пользования с применением социальной транспортной карты на сумму 1020 рублей в месяц.

Гражданам, имеющим право на ежемесячную выплату в соответствии с законодательством Российской Федерации, проезд на



Рис. 3. Крупнейшие пассажирские предприятия Хабаровского края, находящиеся в стадии ликвидации [25; 26]. Составлено автором.



транспорте общего пользования с применением социальной транспортной карты предоставляется на сумму 300 рублей в месяц.

Как были рассчитаны ежемесячная денежная выплата и, соответственно, количество поездок, необходимое федеральным и региональным льготникам, неизвестно.

При этом можно надеяться, что с введением социальной транспортной карты предприятия общественного транспорта будет оплачиваться перевозка льготников в соответствии с установленными тарифами.

Однако на данный момент повсеместное применение электронных карт невозможно, так как устройства для считывания электронных карт (валидаторы) не установлены в общественном транспорте многих муниципальных образований России.

Например, в памятке по предоставлению льготного проезда с использованием электронной карты, опубликованной 21 января 2020 года на официальном сайте Министерства социальной защиты населения Тверской области minsoczaщиты.тверскаяобласть.рф указано, что с 01 марта 2020 г. льготный проезд будет предоставляться с использованием электронной карты или бесконтактной банковской карты.

В памятке отмечено, что это нововведение касается исключительно города Твери и Калининского района. В других муниципальных образованиях Тверской области электронные карты для оплаты проезда в общественном транспорте не используются. Если льготник не является жителем Твери или Калининского района и у него нет электронной карты, то льготный проезд в Твери и Калининском районе ему будет по-прежнему предоставляться на основании ЕСПБ.

НЕОБХОДИМОСТЬ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НЕПОЛУЧЕННОЙ ПРОВОЗНОЙ ПЛАТЫ ПРИ УСТАНОВЛЕННЫХ ТАРИФАХ

Согласно преамбуле к Федеральному закону РФ № 122-ФЗ и региональные, и муниципальные власти, меняя систему социальной защиты граждан, в том числе заменяя натуральные льготы на денежные выплаты, должны обеспечить ранее существовавший уровень социальной защиты.

Позиция руководства страны однозначна – отмена бесплатного проезда в ближайшие годы не ожидается [32].

При этом Федеральным законом РФ № 122-ФЗ предписано не допускать при осуществлении гражданами социальных прав и свобод нарушения прав и свобод других лиц.

На предприятия общественного транспорта не может быть возложено бремя осуществления государственных социальных расходов, связанных с предоставлением льгот гражданам.

Перевозка льготных категорий граждан может составлять существенную часть всех пассажирских перевозок на регулярных городских и пригородных маршрутах.

Оплата этой части перевозок в соответствии с установленными тарифами жизненно необходима для общественно-го транспорта.

Мировой опыт показывает, что поддержка общественного транспорта – это глобальная тенденция.

Так в городе Букараманга, административном центре департамента Сантандер в Колумбии, предлагают ввести

дифференцированные тарифы на общественном транспорте [33].

Исследователи из Китайской Народной Республики считают, что политика поощрения использования общественно-го транспорта людьми, находящимися в так называемом невыгодном положении (обездоленные, инвалиды, пожилые люди и т.д.), является важнейшим компонентом усилий по улучшению качества жизни населения [34].

Европейские специалисты рассматривают все виды пассажирского транспорта, в том числе метро, городские автобусы и железные дороги и т.д., как единую систему, которая должна быть доступна гражданам, которых можно отнести к льготникам [35; 36].

В Австралии считается, что улучшению доступности общественного транспорта, в том числе и для определённых категорий людей, например, пожилого возраста, или людей, проживающих вне городских регионов, где охват общественного транспорта недостаточен, способствует введение индекса доступности [37].

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований можно сделать вывод, что необходим механизм, обеспечивающий компенсацию перевозчикам предоставления бесплатного проезда в соответствии с нормами гражданского права.

В статье обосновано, что с целью обеспечения оплаты перевозчикам оказанных услуг необходимо разработать и применять метод расчёта неполученной провозной платы с учётом установленных тарифов.

Этот метод должен позволять рассчитывать размер неполученной провозной платы и в случае применения электронных социальных транспортных карт, и без их применения, даже при праве льготника на неограниченное количество поездок.

В целях исключения завышения размера неполученной провозной платы данный метод должен позволять осуществлять расчёт исключительно с использованием данных, предоставленных органами государственной власти или перевозчиком по установленной государством форме отчётности.

С помощью метода расчёта неполученной провозной платы должно быть реализовано право предприятий общественного транспорта, лежащее в основе их хозяйственной деятельности, – право получить оплату оказанных услуг перевозки пассажиров по тарифам, установленным государством или перевозчиком.

Только предприятия, имеющие возможность вести нормальную хозяйственную деятельность, могут предоставлять качественные и безопасные услуги перевозки пассажиров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Гудкова, Л. Б. Миротина и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 448 с.

2. О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых законодательных актов Российской Федерации в связи с принятием федеральных законов «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» и «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Федер. закон от 22.08.2004 г. № 122-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. № 35 от 30 августа 2004 года, ст. 3607. [Электронный ресурс]: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002004035000&docid=45>. Доступ 01.07.2019.

3. Закон Тверской области «Об областной целевой программе «Социальная поддержка населения Тверской области на 2007–2009 годы».

4. Постановление администрации Тверской области № 32-па от 16 февраля 2005 года «О введении на территории Тверской области единого социального проездного билета».

5. Постановления Губернатора Хабаровского края от 17 мая 2005 года № 122 «Об организации льготного проезда отдельных категорий граждан на территории Хабаровского края».

6. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 г. № 51-ФЗ (ред. от 03.01.2006 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1994. – № 32. – Ст. 3301.

7. Федеральный закон «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» от 08.11.2007 г.

8. Постановление Пленума Высшего Арбитражного Суда Российской Федерации от 22 июня 2006 г. № 23.

9. Определение Верховного Суда Российской Федерации от 13.05.2002 г. № 4-Г02-8.

10. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 г.) (с учётом поправок, внесённых Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 г. № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 г. № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 г. № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 г. № 11-ФКЗ) / Собрание законодательства РФ, 04.08.2014 г., № 31, ст. 4398.

11. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 1995 года № 221 «О мерах по упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)».

12. Постановление Правительства Российской Федерации от 07 марта 1995 года № 239 «О мерах по



упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)», в редакции № 31 от 27.12.2017 г.

13. Постановление Правительства Российской Федерации от 02 октября 2018 г. № 1172 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 7 марта 1995 г. № 239».

14. Федеральный закон от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

15. Постановление Правительства Тверской области от 14 декабря 2018 года № 359-пп «О порядке установления регулируемых тарифов на перевозки пассажиров и багажа транспортом общего пользования».

16. Постановление Правительства Тверской области от 01 марта 2017 года № 45-пп «О порядке предоставления субсидий из областного бюджета Тверской области юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям в целях возмещения недополученных доходов, связанных с предоставлением льготного проезда по единому социальному проездному билету на территории Тверской области».

17. Приказы Региональной энергетической комиссии Тверской области, от 20.02.2007 г. № 09-нп, от 20.05.2008 г. № 34-нп, от 15.07.2008 г. № 99-нп, от 19.12.2008 г. № 209-нп, от 14.07.2009 г. № 85-нп, от 14.07.2009 г. № 86-нп, от 18.11.2010 г. № 280-нп, от 22.12.2011 г. № 719-нп.

18. Приказы Главного управления «Региональная энергетическая комиссия» Тверской области, от 22.03.2013 г. № 100-нп, от 09.04.2013 г. № 112-нп, от 06.02.2015 г. № 17-нп, от 19.06.2015 г. № 88-нп, от 23.11.2016 г. № 138-нп, от 13.01.2017 г. № 1-нп, от 16.03.2018 г. № 26-нп, от 29.06.2018 г. № 65-нп.

19. Интернет-издание vedtver.ru ГАУ «РИА «Верхневолжье». «Установлен предельный тариф на пассажирские перевозки в общественном транспорте Твери». [Электронный ресурс]: <https://vedtver.ru/news/society/ustanovlen-predelnyy-tarif-na-passazhirskie-perevozki-v-obshchestvennom-transporte-tveri/>. Доступ 20.12.19.

20. Гражданские дела № А40-27156/09, А40-27157/09, А40-27159/09, А40-53991/09, А40-60873/09, А40-62532/09, А40-66587/09, А40-73783/09, А40-73786/09, А40-73788/09, А40-112215/09, А40-112216/09, А40-126206/09, А40-126213/09, А40-126212/09, А40-126215/09, А40-151324/09, А40-149858/09, А40-162461/09, А40-162460/09, А40-162462/09, А40-27156/09, А40-1662/10, А40-85614/10, А40-102963/10, А40-101145/10, А40-124738/10, А40-128303/10, А40-134214/11, А40-134213/11, А40-11502/12, А40-49773/12, А40-80668/12, А40-99565/12, А40-161541/12, А40-158395/12, А40-169924/12, А40-169932/12, А40-169826/12, А40-169929/12, А40-153477/12, А40-1869/13, А40-2498/13, А40-169832/12, А40-6934/13, А40-79115/13, А40-82336/13, А40-85089/13, А40-127504/13, А40-139633/13, А40-137367/13, А40-173449/13, А40-173393/13.

21. Гражданские дела № А40-2006/14, А40-187706/13, А40-173399/13, А40-1468/14, А40-173453/13, А40-173457/13, А40-173404/13, А40-143309/13, А40-127496/13, А40-143306/13, А40-144916/13, А40-146672/13, А40-146692/13, А40-139631/13, А40-149721/13, А40-146685/13, А40-187699/13, А40-185792/13, А40-185803/13, А40-394/14, А40-185795/13, А40-186666/13, А40-177841/13, А40-187715/13, А40-185799/13, А40-187683/13, А40-186645/13, А40-187730/13, А40-187748/13, А40-281/14, А40-187691/13, А40-187740/13, А66-13596/2013, А40-60075/14, А40-60072/14, А40-91780/14, А40-102215/14, А40-111041/13,

А40-111907/14, А40-111843/14, А66-9855/2013, А40-107384/14, А40-114268/14, А40-111901/14, А40-111893/14, А66-11193/2014, А40-129749/14, А40-147432/14, А40-155397/14, А40-154318/14, А40-147434/14, А40-147431/14, А40-163351/14, А40-173416/14, А40-173424/14, А40-163354/14, А40-166215/14, А40-173415/14, А40-176814/14, А40-176808/14, А40-173419/14, А40-184376/14, А40-184948/14, А40-162949/14, А40-163357/14, А40-217397/14, А40-217386/14, А40-217391/14, А40-217403/14, А40-217338/14, А40-217352/14, А40-217317/14, А66-1003/2015, А40-3318/15.

22. Выписки из Единого государственного реестра юридических лиц № ЮЭ9965-20-13291460 от 18 февраля 2020 года, № ЮЭ9965-20-13299738 от 18 февраля 2020 года, № ЮЭ9965-20-13301421 от 18 февраля 2020 года, № ЮЭ9965-20-13303493 от 18 февраля 2020 года.

23. Выписка из Единого государственного реестра индивидуальных предпринимателей № ИЭ9965-20-2852171 от 18 февраля 2020 года.

24. Банкротные дела № А66-12011/2014, А66-13641/2015, А66-9247/2017, А66-14514/2015, А66-218/2017, А66-9029/2017, А66-5427/2017.

25. Выписка из Единого государственного реестра юридических лиц № ЮЭ9965-20-13342321 от 18 февраля 2020 года.

26. Банкротные дела № А73-17144/2015, А73-17180/2015, А73-12834/2016.

27. Гражданские дела № А40-148104/09, А40-148107/09, А40-148109/09, А40-163497/09, А40-163500/09, А40-2541/10, А40-10367/12, А40-156312/12, А40-6932/13, А40-79363/13.

28. Гражданские дела № А40-79123/2013, А40-123691/13, А40-127475/13, А40-1998/14, А40-187757/13, А40-1047/14, А40-29102/14, А73-10773/2014, А40-1433/15, А73-1025/2015, А40-1434/15, А40-4300/15.

29. Постановление Губернатора Хабаровского края «О признании утратившими силу отдельных постановлений Губернатора Хабаровского края» от 03 ноября 2015 года № 105.

30. Сайт КГКУ «Центр социальной поддержки населения по Нанайскому району». [Электронный ресурс]: <https://mszn27.ru/node/17300>. Доступ 20.12.2019.

31. Постановление Правительства Хабаровского края от 28 декабря 2018 г. № 495-пр «О порядке и условиях предоставления отдельным категориям граждан бесплатного проезда на транспорте общего пользования (кроме такси) городского и пригородного сообщения на территории Хабаровского края».

32. Сайт Администрации Президента России. [Электронный ресурс]: <http://kremlin.ru/events/president/news/58405>. Доступ 20.12.2019.

33. Jiménez, Serpa J. C., Rojas, Sánchez A. E., Salas Rondón M. H. Tariff Integration for Public Transportation in the Metropolitan Area of Bucaramanga, INGE CUC, 2015, Vol. 11, No. 1, pp. 25–33.

34. Wei Wu, Yi Zhang, Qian He, Chaoyang Li. Public transport use among the urban and rural elderly in China: Effects of personal, attitudinal, household, social-environment and built-environment factors, The Journal of Transport and Land Use, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 701–719.

35. Lacki, A. Analysis and Characterization of the Public Transport Mobility of Senior Citizens, Universidad Politécnica de Madrid, 2019, 81 p.

36. Bocker, L., Amné, van P., Helbich, M. Elderly travel frequencies and transport mode choices in Greater Rotterdam, the Netherlands. Springerlink.com, 2016, 22 p.

37. Lange, J., Norman, P. Quantifying Service Accessibility. Transport Disadvantage for Older People in Non-Metropolitan South Australia. Applied Spatial Analysis and Policy, 2018, Vol. 11 (1), pp. 1–19.



Uncollected Fare as Unresolved Problem of Public Transport Enterprises Engaged in Transportation of Benefit Holders



Maxim I. MALYSHEV



Nadezhda A. FILIPPOVA



Mikhail L. PONOMAREV

Malyshev, Maxim I., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Filippova, Nadezhda A., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Ponomarev, Mikhail L., CEO IMEXPROFI LTD, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The international practices show that there are active policies of encouraging the use of public transport by people of special, privileged categories. Differentiated tariffs are used, all transport modes are combined into a single system, an index of accessibility of passenger transportation services is introduced. The system of free and discounted travel is widely implemented in Russia.

But the problem of social support for privileged categories of citizens cannot be solved without ensuring payment of their travel with public transport. The burden of financing the provision of benefits cannot be assigned to carriers.

Only development and subsequent application of the method of calculating uncollected fare will solve the problem of paying for transportation of social benefit holders. In this case, public transport

enterprises will be able to conduct normal business activities and provide high-quality and safe passenger transportation services.

The objective of the article is to justify the need to develop a method for calculating uncollected fare taking into account established tariffs.

Nation-wide and regional legislation, as well as judicial practice regarding research problems, were studied at the example of some Russian regions. A critical analysis of the relevant regional regulations has been made. Information was collected on public transport enterprises that had ceased operations.

As a result of a graphical interpretation of information on tariffs established by the state and compensation to carriers, the collected data were synthesized, which made it possible to clearly demonstrate the absence of a relationship between compensation and passenger transportation tariffs.

Keywords: public transport, transportation of benefit holders, uncollected fare, single social travel ticket, discounted travel, Tver region, Khabarovsk region.

*Information about the authors:

Malyshev, Maxim I. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Management of Moscow

Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, dicorusm@gmail.com.

Filippova, Nadezhda A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transportation of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, umen@bk.ru.

Ponomarev, Mikhail L. – Director General, IMEXPROFI LTD, Moscow, Russia. mikhail.ponomarev@mail.ru.

Article received 27.12.2019, revised 30.01.2020, accepted 25.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 116.

Background. Until 2004, in Russia, citizens belonging to certain privileged categories (for example, veterans of the Great Patriotic War, citizens exposed to radiation as a result of the Chernobyl disaster, multi-child families, labour veterans, etc.) had the right to travel freely using public transport regardless of place of residence (Federal Law dated 12.01.1995 No. 5-FZ «On Veterans» as amended on 06.05.2003, Law of the Russian Federation dated 15.05.1991 No. 1244-1 «On Social Protection of Citizens Exposed to Radiation Due to the disaster at Chernobyl APS» as amended on October 23, 2003, Decree of the President of the Russian Federation dated May 5, 1992 No. 431 «On Measures for Social Support of Multi-Child Families» as amended on February 25, 2003), and the main tasks of state passenger road transport enterprises were ensuring the release of rolling stock on line, implementation of the passenger transportation plan, etc. The work of enterprises was evaluated by a system of technical and operational indicators characterizing quality and quantity of work performed [1].

Benefit holders were given the opportunity of an unlimited number of trips on urban and suburban municipal routes, and transport enterprises subsidized from the budget provided for transportation of passengers in accordance with plans and regulations.

Since 2005, Federal Law of the Russian Federation No. 122-FZ dated August 22, 2004, known as the law on monetization of benefits, entered into force. Law No. 122-FZ amended federal regulations governing social protection of the population; the powers of providing benefits between federal and regional authorities were differentiated; benefit holders were divided between so-called federal and regional registers; in-kind benefits were replaced by monetary compensation; so the system of providing benefits to citizens has been changed [2].

Due to changes in federal legislation, a difficult situation has developed. The transition to monetization of basic benefits, including free travel, caused acute social tension among the population [3].

In order to prevent a decrease in the volume of social support for benefit holders in terms of transport services, the state delegated the authority to create a mechanism for providing

these benefits to the level of constituent entities, and most of them opted for single social travel tickets (SSTT) [4; 5].

Established tariffs

Payment for transportation by public transport is made only on the basis of the established tariffs.

Transport enterprises carry passengers along regular routes, which, in accordance with civil law, relate to transportation by public transport (Article 789 of the Civil Code of the Russian Federation, Article 19 of the Federal Law of the Russian Federation No. 259-FZ dated November 08, 2007, «Charter of road transport and urban land electric transport») [6; 7].

The purpose of enterprises is to profit from economic activities. In accordance with Articles 426, 784, 786, 789 of the Civil Code of the Russian Federation, in case of application of any citizen, a public transport company, if possible, is obliged to provide transportation services to a citizen, refusal to perform passenger transportation is unacceptable [6].

From part 5 of Article 790 of the Civil Code of the Russian Federation, it follows that if benefits for passenger travel are established by law or regulation, the expenses incurred by the transport organization must be reimbursed [6].

Thus, transport enterprises cannot refuse to transport benefit holders, while all costs associated with their transportation must be reimbursed to carriers.

From paragraph 16 of the Resolution of the Plenum of the Supreme Arbitration Court of the Russian Federation dated June 22, 2006 No. 23, it follows that transport companies that have provided passenger transportation services free of charge, as well as at reduced prices in accordance with the law, can receive compensation in the form of uncollected fare [8].

In accordance with the judicial act of the Supreme Court of the Russian Federation in case No. 4-G02-8 of May 13, 2002, according to parts 1, 2 of Article 790 of the Civil Code of the Russian Federation, there are two options to establish the fare size on transport.

The cost of transportation can be agreed upon by the carrier and the service recipient. Or the tariff for transportation can be set in accordance with applicable law.

The choice of the option to establish the size of transportation fare is based on the type of transportation.

In case of transportation of passengers by public transport, the fare is paid at the established tariffs. Payment for all other transportation is made at tariffs agreed by the parties, if there are no rules providing for a different payment procedure [9].

Therefore, it is possible to calculate the fare size that was not received by the public transport enterprise when transporting passengers of privileged categories, taking into account the established tariffs.

Bodies authorized to approve tariffs

The fares paid by passengers using public transport are established by the authorized authority or by a carrier.

As indicated in paragraph «g» of Article 71 of the Constitution of the Russian Federation, the basics of pricing policy are responsibility of the Russian Federation [10].

In accordance with paragraph 2 of the Decree of the President of the Russian Federation dated February 28, 1995 No. 221, the Government of the Russian Federation establishes the procedure for state regulation of tariffs for industrial products, consumer goods and services [11].

By the Decree of the Government of the Russian Federation dated March 7, 1995 No. 239 until October 12, 2018, state regulation of tariffs was entrusted to executive bodies of the constituent entities of the Russian Federation [12; 13].

In accordance with Federal Law dated July 13, 2015 No. 220-FZ, the authorities of a constituent entity of the Russian Federation establish regulated tariffs for transportation along municipal routes, or, if it is established by the law of the constituent entity, regular transportation is allowed at unregulated tariffs established by the carrier [14].

For example, in Tver region in accordance with the decree of the administration of Tver region dated November 30, 2006 No. 292-pa, the decree of the Government of Tver region dated May 3, 2012 No. 221-pp, and since January 1, 2019 in accordance with the decree of the Government of Tver region dated December 14, 2018 No. 359-pp «On the procedure for establishing regulated tariffs for transportation of passengers and baggage by public transport», the state regulation of tariffs is carried out by the Main Directorate «Regional Energy Commission» of Tver Region (MD REC of Tver region) [15].

Orders of MD REC of Tver region set fares for passengers on public transport.

Regional regulations miss methodology to consider uncollected fare

Regulatory acts of regional authorities on provision of travel privilege and compensation to transport enterprises do not contain a methodology for calculating uncollected fare.

Having studied with critical analysis method the mechanisms for providing travel privileges at public transport stipulated in legislation of Tver region and Khabarovsk region and the actual relationships between passengers, carriers and authorities, it is possible to conclude that there is no method for calculating uncollected fare in accordance with the tariffs.

The Decree of the Administration of Tver region dated February 16, 2005 No. 32-pa introduced SSTT, which gives citizens of privileged categories the right to make an unlimited number of trips on the routes of public and suburban public transport without paying for travel and established the cost of SSTT for citizens [4].

By the Decree of the Government of Tver region dated March 1, 2017 No. 45-pp, the «full fare for a passenger using SSTT per month» was established (hereinafter the SSTT fare) [16].

According to the Decree No. 45-pp, the amount of the subsidy to the carrier for reporting month (P) is determined on the basis of the volume of the carrier's lost revenues associated with provision of travel privilege for SSTT users in the territory of Tver region.

In fact, the amount of the subsidy is determined by multiplying the SSTT fare (C) by the number of used (received by benefit holders) SSTT (N):

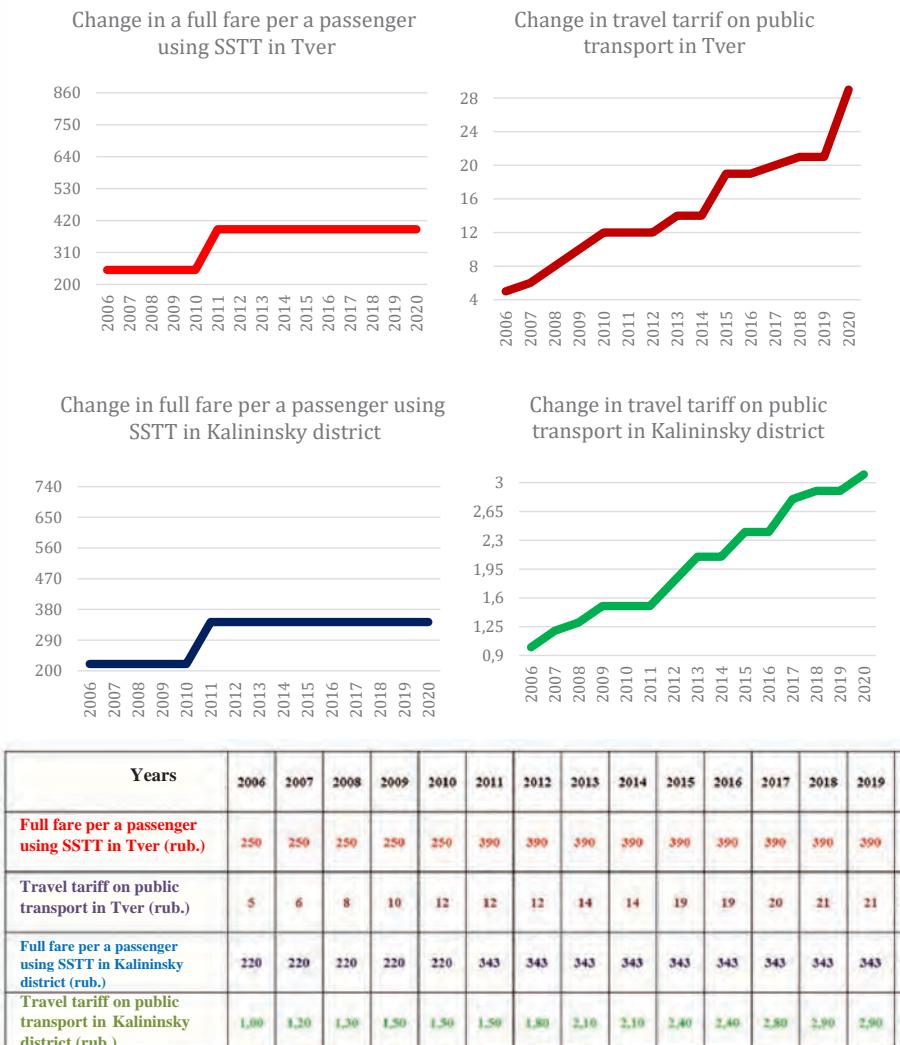
$$P = C \cdot N.$$

If in the municipality of Tver region, transportation of benefit holders is carried out by two or more carriers, distribution of subsidies between carriers is carried out according to the performed transport work (K), and in the period of summer season route the coefficient 1,2 is taken into account:

$$P = C \cdot N \cdot K \cdot (1,2).$$

At the same time, the Decrees No. 32-pa and No. 45-pp do not provide for any rules for documenting or calculating the real costs of transport enterprises for transportation of citizens using SSTT.





Pic. 1. Comparison of changes in full SSTT fare and travel tariff on public transport in Tver and Kalininsky district [4; 16-19]. Compiled by the authors.

The tariff approval procedures established by the Decrees No. 292-pa, No. 221-pp and No. 359-pp, did not comprise approval of «the total fare per a passenger using SSTT». There was no preliminary agreement with enterprises, clarification of actual expenses of enterprises, and publication of the methodology for determining «total fare per a passenger using SSTT». The amount of payment provided for by the Decree No. 32-pa and No. 45-pp does not take into account fare on public transport, those Decrees do not mention words «tariffs», «fare».

If we synthesize data on SSTT fare and fares for the entire time since introduction of SSTT, and compare how the so-called total SSTT fare, established by the Decrees No. 32-pas and No. 45-pp in the city of Tver and Kalininsky

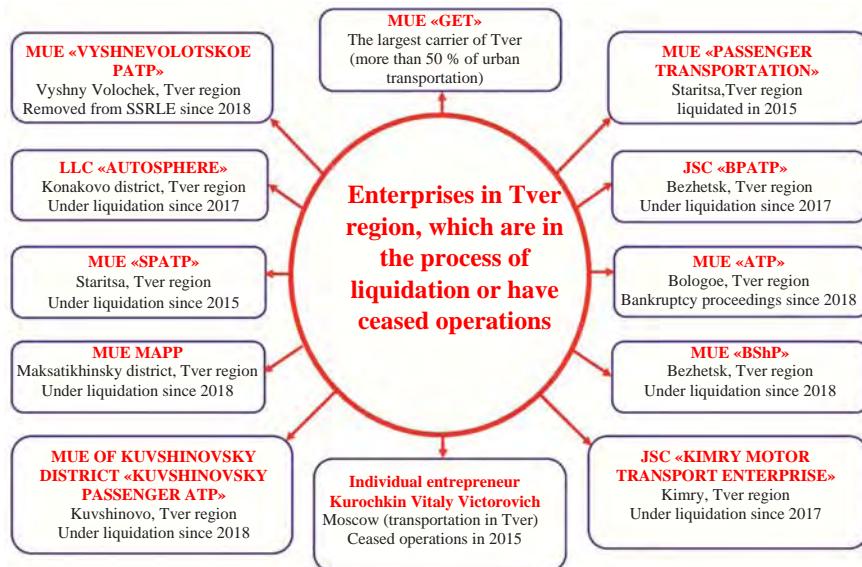
district and the tariffs for transportation established by the regional energy commission, were changing, it is clear that the SSTT fare is a fixed amount that changed only once in 14 years, and tariffs for the same time period changed many times (Pic. 1).

In the graphs of Pic. 1 along Y axis there is SSTT fare and the fare size. The X-axis reflects the period from 2006 to 2020.

The SSTT fare in Tver increased in 2011 by 56 % compared with the period from 2006 to 2011.

For 9 years, from 2011 to 2020, the SSTT fare remains unchanged.

The city tariff in Tver changed 10 times and since 2006 it has grown 5 times, having increased by 400 %.



Pic. 2. Public transport enterprises of Tver region, which have ceased operations or are under liquidation [22–24]. Compiled by the authors.

A similar situation is in Kalininsky district of Tver region, a suburb of Tver. The SSTM fare has not changed since 2011, and the tariffs for travel in urban and suburban transport established by the authorized body increase systematically.

A graphical interpretation of the synthesized data allows to clearly see that the SSTM fare is not related to the established tariffs.

In accordance with the letter No. 278 of the Territorial Department of Social Protection of the Population of Tver region dated March 6, 2015, the SSTM fare per month is not a fare for travel.

Neither Decree No. 32-pa, nor Decree No. 45-pp give any idea on the basis on which the SSTM fare was determined.

Decrees No. 32-pa and No. 45-pp indicate the maximum possible amount of compensation for a SSTM, called «full fare of a SSTM using passenger travel per month».

The phrase «full fare of a SSTM using passenger travel» is the conditional name of the estimated value used by the administration to calculate the amount to be allocated from the budget.

After conducting a critical analysis of the Decrees No. 32-pa and No. 45-pp, it was determined that these regulations did not contain a methodology for calculating the uncollected fare.

Enterprises transporting SSTM using passengers do not receive payment in accordance with the established tariffs.

Problems of public transportation enterprises

Public transport enterprises cannot continue normal business activities without receiving payment for passenger transportation.

Until 2015, enterprises were able to recover uncollected fare through the courts [20].

Since 2015, such practice has been suppressed by the Judicial Collegium for Economic Disputes of the Supreme Court of the Russian Federation [21].

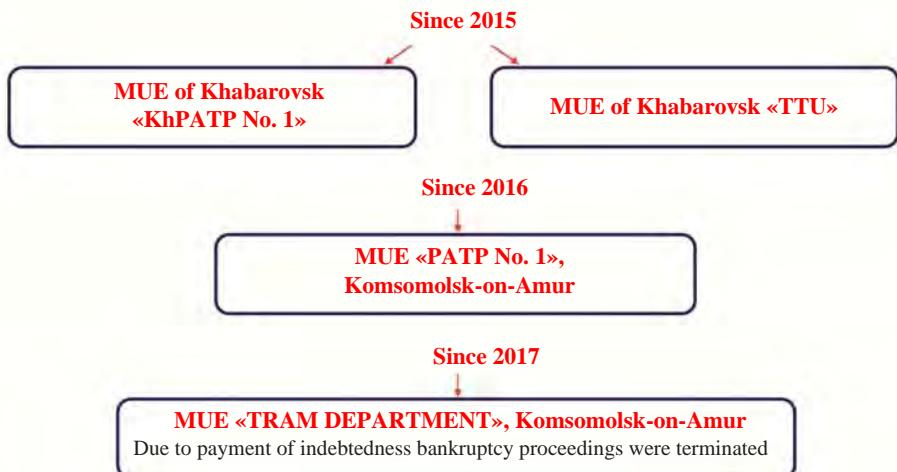
As transport companies were denied a possibility to protect their civil rights, many carriers of Tver region have ceased operations or are in the process of liquidation. Some of them are shown in Pic. 2.

It can be assumed that the enterprises were not able to continue operations, since transportation of benefit holders was not paid, due to the fact that all the enterprises indicated in Pic. 2, except for MUE «ATP» in Bologoe, filed statements of claim with the court to recover uncollected fare. As follows from the statements of claim and statements on changes in the claims filed by carriers of Tver region in the process of considering the above civil cases, the total amount of uncollected fare amounted to more than half a billion rubles.

A similar situation has developed in many regions, for example, in Khabarovsk region.

In accordance with the Resolution of the Governor of Khabarovsk region dated May 17, 2005 No. 122 «On organization of travel privilege for certain categories of citizens in the





Pic. 3. The largest passenger enterprises of Khabarovsk region, which are in the process of liquidation [25; 26]. Compiled by the authors.

territory of Khabarovsk region», public transport enterprises carried out transportation of benefit holders free of charge.

It is not known how the compensation to transport enterprises for transportation of benefit holders provided for by the Resolution No. 122 is related to the tariffs established by the authorized body which is the Committee on Prices and Tariffs of the Government of Khabarovsk region.

Pic. 3 presents the largest passenger enterprises of Khabarovsk and Komsomolsk-on-Amur, which have been under the process of liquidation since 2016.

All these enterprises stated that they did not receive payment for transportation of benefit holders in accordance with state tariffs and applied to the court for protection of civil rights [27].

After the Judicial Collegium for Economic Disputes of the Supreme Court of the Russian Federation considered the case of MUE of Khabarovsk «Tram-trolleybus department» No. A73-1127/2014 (303-ES14-7904), the courts began to dismiss claims of the carriers of Khabarovsk region to recover uncollected fare [28].

As follows from the materials of civil cases, the total amount of claims of enterprises of Khabarovsk region that transported benefit holders is about a billion rubles [28].

Public transport enterprises cannot function without receiving payment for passenger, and particularly, benefit holders transportation.

In 2015, Decree No. 122 was repealed [29]. Starting November 1, 2015, in Khabarovsk region, travel privilege on urban and suburban

road, railway and water transport, including SSTM use, was replaced with a monthly cash payment for regional benefit holders [30].

However, three years later, Decree dated December 28, 2018 No. 495-pr «On the procedure and conditions for providing certain categories of citizens with travel privilege on public transport (except taxi) for urban and suburban traffic in Khabarovsk region» was adopted [31].

In accordance with Decree No. 495, free travel is provided across Khabarovsk region using a microprocessor plastic card (social transport card).

Citizens entitled to a monthly payment in accordance with regional legislation are provided based on their choice a monthly cash payment or travel on public transport using a social transport card for the amount of 1020 rubles per month.

Citizens entitled to a monthly payment in accordance with the legislation of the Russian Federation, are provided with traveling with public transport using a social transport card for the amount of 300 rubles per month.

It is not known how the amount of monthly cash payment and the number of trips required for federal and regional social benefit holders were calculated.

At the same time, it is hoped that with introduction of the social transport card, public transport companies will be paid for transportation of benefit holders in accordance with the established tariffs.

However, at the moment, the widespread use of electronic cards is impossible, since

electronic card readers (validators) are not installed in public transport in many municipalities of Russia.

For example, in the memo on provision of travel privilege using an electronic card published on January 21, 2020 on the official website of the Ministry of Social Protection of the Population of Tver region [minsoczashchity.tverskayaoblast.ru](#) it is indicated that from March 01, 2020, travel privilege will be provided using an electronic card or contactless bank card.

The memo noted that this innovation applies exclusively to the city of Tver and Kalininsky district. In other municipalities of Tver region, electronic cards are not used to pay for travel in public transport. If a benefit holder is not a resident of Tver or Kalininsky district and does not have an electronic card, then travel privilege in Tver and Kalininsky district will continue to be provided to him on the basis of SSTT.

A methodology for calculating uncollected fare is required, taking into account established tariffs.

According to the preamble to the Federal Law of the Russian Federation No. 122-FZ, both regional and municipal authorities, changing the system of social protection of citizens, including replacing in-kind benefits with cash payments, must provide not less than a previously existing level of social protection.

The position of the country's leadership is unequivocal: abolition of free travel in the coming years is not expected [32].

Moreover, the Federal Law of the Russian Federation No. 122-FZ prescribed not to allow violations of rights and freedoms of other persons when citizens exercise their social rights and freedoms.

Public transport enterprises cannot be burdened with implementation of state social expenses related to provision of benefits to citizens.

Transportation of privileged categories of citizens can make up a significant part of all passenger transportation on regular urban and suburban routes.

Reception of payment for this part of transportation in accordance with the established tariffs is vital for public transport.

World experience shows that supporting public transport is a global trend.

So in the city of Bucaramanga, the administrative center of the department of

Santander in Colombia, there are proposals to introduce differentiated tariffs on public transport [33].

Researchers from the People's Republic of China believe that the policy of encouraging the use of public transport by people of so-called disadvantaged categories (disabled, elderly people, etc.) is an essential component of efforts to improve quality of life of the population [34].

European experts consider all types of passenger transport, including metro, city buses and railways, etc., as a single system that should be accessible to citizens, which can be attributed to benefit holders [35; 36].

In Australia, it is believed that introduction of an accessibility index contributes to improving availability of public transport, including for certain categories of people, for example, elderly, or people living outside urban areas where public transport coverage is insufficient [37].

Conclusions. As a result of the research, it can be concluded that a mechanism is needed that provides compensation to carriers for provision of free travel in accordance with civil law.

The article substantiates that in order to ensure payment for carriers for the services rendered, it is necessary to develop and apply a method for calculating uncollected fare taking into account established tariffs.

This method should make it possible to calculate the size of uncollected fare both in case of the use of electronic social transport cards and without their use, even considering the right of a benefit holder to an unlimited number of trips.

In order to avoid overstatement of uncollected fare, this method should allow the calculation to be carried out exclusively using data provided by public authorities or the carrier according to the reporting form established by the state.

Using the method of calculating uncollected fare, the right of public transport enterprises, which is the basis of their economic activity, should be implemented that is the right to receive payment for the services provided for transportation of passengers at tariffs established by the state or the carrier.

Only enterprises that have the ability to conduct normal business activities can provide high-quality and safe passenger transportation services.



REFERENCES

1. Passenger road transportation: Textbook for universities [*Passazhirskie avtomobilnie perevozki: Uchebnik dlya vuzov*]. Ed. by V. A. Gudkov, L. B. Mirotin etc. Moscow, Goryachaya liniya – Telecom publ., 2006, 448 p.
2. On amendments of legal acts of the Russian Federation and annulment of certain legal acts of the Russian Federation due to adoption of federal laws «On amendments and additions to the Federal Law «On general principles of organization of legislative (representative) and executive bodies of the constituent entities of the Russian Federation» and «On general principles of organization of local government in the Russian Federation». Federal Law dated 22.08.2004 No. 122-FZ [*O vnesenii izmenenii v zakonodatelnie akty Rossiiskoi Federatsii i priznanii utratiyshimi silu nekotorykh zakonodatelnykh aktov Rossiiskoi Federatsii v svyazi s prinyatiem federalnykh zakonov «O vnesenii izmenenii i dopolenii v Federalnyi zakon «Ob obshchikh printsipakh organizatsii zakonodatelnykh (predstavitelevnykh) i ispolnitelnykh organov gosudarstvennoi vlasti sub'ektov Rossiiskoi Federatsii» i «Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiiskoi Federatsii»*. *Feder. zakon ot 22.08.2004 No. 122-FZ*]. Collection of legislation of the Russian Federation No. 35 dated August 30, 2004, Article 3607. [Electronic resource]: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002004035000&docid=45>. Last accessed 01.07.2019.
3. Law of Tver region «On regional target program «Social support of the population of Tver region for 2007–2009» [*Zakon Tverskoi oblasti «Ob oblastnoi tselevoi programme «Sotsialnaya podderzhka naseleniya Tverskoi oblasti na 2007–2009 gody»*].
4. Decree of the administration of Tver region No. 32-pa dated February 16, 2005 «On introduction of unified social travel ticket in the territory of Tver region» [*Postanovlenie administratsii Tverskoi oblasti No. 32-pa ot 16 fevralya 2005 goda «O vvedenii na territorii Tverskoi oblasti edinogo sotsialnogo proezdnogo biletta»*].
5. Decree of the Governor of Khabarovsk region dated May 17, 2005 No. 122 «On organization of travel privilege for certain categories of citizens in the territory of Khabarovsk region» [*Postanovlenie Gubernatora Khabarovskogo kraja ot 17 maya 2005 goda No. 122 «Ob organizatsii lgotnogo proezda otdelnykh kategorii grazhdan na territorii Khabarovskogo kraja»*].
6. Civil Code of the Russian Federation (first part) dated 30.11.1994 No. 51-FZ (amend. on 03.01.2006) [*Grazhdanskiy kodeks Rossiiskoi Federatsii (chast' pervaya)* ot 30.11.1994 No. 51-FZ (red. ot 03.01.2006)]. Collection of legislation of the Russian Federation, 1994, No. 32, Article 3301.
7. Federal Law «Charter of road transport and urban land electric transport» dated 08.11.2007 [*Federalnyi zakon «Ustav avtomobilnogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta»* ot 08.11.2007].
8. Resolution of the Plenum of the Supreme Arbitration Court of the Russian Federation dated June 22, 2006 No. 23 [*Postanovlenie Plenuma Vysshego Arbitrazhnogo Suda Rossiiskoi Federatsii ot 22 iyunya 2006 No. 23*].
9. Ruling of the Supreme Court of the Russian Federation dated 13.05.2002 No. 4-G02-8 [*Opryedenie Verkhovnogo Suda Rossiiskoi Federatsii* ot 13.05.2002 г. No. 4-G02-8].
10. Constitution of the Russian Federation (adopted by nation-wide vote on 12.12.1993) (taking into account amendments, introduced by Laws of the Russian Federation to the Constitution of the Russian Federation dated 30.12.2008 No. 6-FKZ, dated 30.12.2008 No. 7-FKZ, dated 05.02.2014 No. 2-FKZ, dated 21.07.2014 No. 11-FKZ) [*Konstitutsiya Rossiiskoi Federatsii (pinyata vsenarodnym golosovaniem 12.12.1993) (s uchetom popravok, vnesennykh Zakonami RF o popravkakh k Konstitutsii RF ot 30.12.2008 No. 6-FKZ, dated 30.12.2008 No. 7-FKZ, dated 05.02.2014 No. 2-FKZ, dated 21.07.2014 No. 11-FKZ)*]. Collection of legislation of the Russian Federation, 04.08.2014, No. 31, Article 4398.
11. Order of the President of the Russian Federation dated February 28, 1995 No. 221 «On measures to improve state regulation of prices (tariffs)» [*Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 28 fevralya 1995 goda No. 221 «O merakh po uporyadocheniyu gosudarstvennogo regulirovaniya tsen (tarifov)»*].
12. Decree of the Government of the Russian Federation dated March 07, 1995 No. 239 «On measures to improve state regulation of prices (tariffs), as amend. No. 31 dated 27.12.2017 [*Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 07 marta 1995 goda No. 239 «O merakh po uporyadocheniyu gosudarstvennogo regulirovaniya tsen (tarifov)», v redaktsii No. 31 ot 27.12.2017*].
13. Decree of the Government of the Russian Federation dated October 02, 2018 No. 1172 «On amendments to the decrees of the Government of the Russian Federation dated March 7, 1995 No. 239» [*Postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 02 oktyabrya 2018 No. 1172 «O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 7 marta 1995 No. 239»*].
14. Federal Law dated 13.07.2015 No. 220-FZ «On organization of regular transportation of passengers and baggage by road transport and urban land electric transport in the Russian Federation and on amendments of certain legal acts of the Russian Federation» [*Federalnyi zakon ot 13.07.2015 No. 220-FZ «Ob organizatsii reguljarnykh perevozok passazhirov i bagazha avtomobilnym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom v Rossiiskoi Federatsii i o vnesenni izmenenii v otdelnie zakonodatelnie akty Rossiiskoi Federatsii»*].
15. Decree of the Government of Tver region dated December 14, 2018 No. 359-pp «On the procedure of establishing regulated tariffs for transportation of passengers and baggage by public transport» [*Postanovlenie Pravitelstva Tverskoi oblasti ot 14 dekabrya 2018 goda No. 359-pp «O poryadke ustanovleniya reguliruemiykh tarifov na perevozki passazhirov i bagazha transportom obshchego polzovaniya»*].
16. Decree of the Government of Tver region dated March 01, 2017 No. 45-pp «On the procedure of granting subsidies from the regional budget of Tver region for legal entities, individual entrepreneurs for compensation of lost income, associated with provision of travel privilege on unified social travel ticket in the territory of Tver region» [*Postanovlenie Pravitelstva Tverskoi oblasti ot 01 marta 2017 goda No. 45-pp «O poryadke predostavleniya subsidii iz oblastnogo byudzhetu Tverskoi oblasti yuridicheskim litsam, individualnym predprinimateljam v tselyakh vozmeshcheniya nedopoluchennykh dokhodov, svyazannykh s predostavleniem lgotnogo perioda po edinomu sotsialnomu biletu na territorii Tverskoi oblasti»*].
17. Orders of Regional energy commission of Tver region dated 20.02.2007 No. 09-pp, dated 20.05.2008 No. 34-pp, dated 15.07.2008 No. 99-pp, dated 19.12.2008 No. 209-pp, dated 14.07.2009 No. 85-pp, dated 14.07.2009 No. 86-pp, dated 18.11.2010 No. 280-pp, dated 22.12.2011 No. 719-pp [*Prikazy Regionalnoi energeticheskoi komissii Tverskoi oblasti* ot 20.02.2007 No. 09-pp, ot 20.05.2008 No. 34-pp, ot 15.07.2008 No. 99-pp,

ot 19.12.2008 No. 209-np, ot 14.07.2009 No. 85-np, ot 14.07.2009 No. 86-np, ot 18.11.2010 No. 280-np, ot 22.12.2011 No. 719-np].

18. Orders of the Main Department «Regional energy commission» of Tver region dated 22.03.2013 No. 100-np, dated 09.04.2013 No. 112-np, dated 06.02.2015 No. 17-np, dated 19.06.2015 No. 88-np, dated 23.11.2016 No. 138-np, 13.01.2017 No. 1-np, dated 16.03.2018 No. 26-np, dated 29.06.2018 No. 65-np [Prikazy Glavnogo upravleniya «Regionalnaya energeticheskaya komissiya» Tverskoi oblasti, ot 22.03.2013 No. 100-np, ot 09.04.2013 No. 112-np, ot 06.02.2015 No. 17-np, ot 19.06.2015 No. 88-np, ot 23.11.2016 No. 138-np, ot 13.01.2017 No. 1-np, ot 16.03.2018 No. 26-np, ot 29.06.2018 No. 65-np].

19. Internet edition vedtver.ru GAU «RIA «Verkhnevolzhie»: «Maximal tariff for passenger transportation on public transport in Tver is established» [Internet izdanie vedtver.ru GAU «RIA «Verkhnevolzhie»: «Ustanoven predelnyi tariff na passazhirskie perevozki v obshchestvennom transporte Tveri»]. [Electronic resource]: <https://vedtver.ru/news/society/ustanoven-predelnyi-tarif-na-passazhirskie-perevozki-v-obshchestvennom-transporte-tveri/>. Last accessed 20.12.19.

20. Civil cases No. A40-27156/09, A40-27157/09, A40-27159/09, A40-53991/09, A40-60873/09, A40-62532/09, A40-66587/09, A40-73783/09, A40-73786/09, A40-73788/09, A40-112215/09, A40-112216/09, A40-126206/09, A40-126213/09, A40-126212/09, A40-126215/09, A40-151324/09, A40-149858/09, A40-162461/09, A40-162460/09, A40-162462/09, A40-27156/09, A40-1662/10, A40-85614/10, A40-102963/10, A40-101145/10, A40-124738/10, A40-128303/10, A40-134214/11, A40-134213/11, A40-11502/12, A40-49773/12, A40-80668/12, A40-99565/12, A40-161541/12, A40-158395/12, A40-169924/12, A40-169932/12, A40-169826/12, A40-169929/12, A40-153477/12, A40-1869/13, A40-2498/13, A40-169832/12, A40-6934/13, A40-79115/13, A40-82336/13, A40-85089/13, A40-127504/13, A40-139633/13, A40-137367/13, A40-173449/13, A40-173393/13.

21. Civil cases No. A40-2006/14, A40-187706/13, A40-173399/13, A40-1468/14, A40-173453/13, A40-173457/13, A40-173404/13, A40-143309/13, A40-127496/13, A40-143306/13, A40-144916/13, A40-146672/13, A40-146692/13, A40-139631/13, A40-149721/13, A40-146685/13, A40-187699/13, A40-185792/13, A40-185803/13, A40-394/14, A40-185795/13, A40-186666/13, A40-177841/13, A40-187715/13, A40-185799/13, A40-187683/13, A40-186645/13, A40-187730/13, A40-187748/13, A40-281/14, A40-187691/13, A40-187740/13, A40-13596/2013, A40-60075/14, A40-60072/14, A40-91780/14, A40-102215/14, A40-111041/13, A40-111907/14, A40-111843/14, A40-9855/2013, A40-107384/14, A40-114268/14, A40-111901/14, A40-111893/14, A40-11193/2014, A40-129749/14, A40-147432/14, A40-155397/14, A40-154318/14, A40-147434/14, A40-147431/14, A40-163351/14, A40-173416/14, A40-173424/14, A40-163354/14, A40-166215/14, A40-173415/14, A40-176814/14.

22. Extract from the Single State Register of Legal Entities No. YuE9965-20-13291460 dated February 18, 2020, No. YuE9965-20-13301421 dated February 18, 2020, No. YuE9965-20-13301421 dated February 18, 2020, No. YuE9965-20-13303493 dated February 18, 2020 [Vypiski iz Edinogo gosudarstvennogo reestra yuridicheskikh lits No. YuE9965-20-13291460 ot 18 fevralya 2020 goda, No. YuE9965-20-13299738 ot 18 fevralya 2020 goda, No. YuE9965-20-13301421 ot 18 fevralya 2020 goda, No. YuE9965-20-13303493 ot 18 fevralya 2020 goda].

23. Extract from the Single State Register of Individual Entrepreneurs No. IE9965-20-2852171 dated February 18, 2020 [Vypiska iz Edinogo gosudarstvennogo reestra individualnykh predprinimatelei No. IE9965-20-2852171 ot 18 fevralya 2020 goda].

24. Bankruptcy cases No. A66-12011/2014, A66-13641/2015, A66-9247/2017, A66-14514/2015, A66-218/2017, A66-9029/2017, A66-5427/2017.

25. Extract from the Single State Register of Legal Entities No. YuE9965-20-1334231 dated February 18, 2020 [Vypiska iz Edinogo gosudarstvennogo reestra yuridicheskikh lits No. YuE9965-20-1334231 ot 18 fevralya 2020 goda].

26. Bankruptcy cases No. A73-17144/2015, A73-17180/2015, A73-12834/2016.

27. Civil cases No. A40-148104/09, A40-148107/09, A40-148109/09, A40-163497/09, A40-163500/09, A40-2541/10, A40-10367/12, A40-156312/12, A40-6932/13, A40-79363/13.

28. Civil cases No. A40-79123/2013, A40-123691/13, A40-127475/13, A40-1998/14, A40-187757/13, A40-1047/14, A40-29102/14, A73-10773/2014, A40-1433/15, A73-1025/2015, A40-1434/15, A40-4300/15.

29. Resolution of the Governor of Khabarovsk region «On annulment of certain resolutions of the Governor of Khabarovsk region» dated November 03, 2015 No. 105 [Postanovlenie Gubernatora Khabarovskogo kraya «O priznaniit utrativshimi silu otdelnykh postanovlenii Gubernatora Khabarovskogo kraya» ot 03 noyabrya 2015 goda No. 105].

30. Website of KGKU «Center of social support of the population in Nanaisky district» [Sait KGKU «Tsentr sotsialnoi podderzhki naseleniya po Nanaiskomu raionu»]. [Electronic resource]: <https://mszn27.ru/node/17300>. Last accessed 20.12.2019.

31. Decree of the Government of Khabarovsk region dated December 28, 2018 No. 495-pr «On the procedure and terms of granting free travel for certain categories of citizens on public transport (except taxi) of urban and suburban traffic in the territory of Khabarovsk region» [Postanovlenie Pravitelstva Khabarovskogo kraya ot 28 dekabrya 2018 No. 495-pr «O poryadke i usloviyakh predostavleniya otdelnym kategoriyam grazhdan besplatnogo proezda na transporte obshchego polzovaniya (krome taksi) gorodskogo i prigorodnogo soobshcheniya na territorii Khabarovskogo kraya»].

32. Website of the Administration of the President of Russia. [Electronic resource]: <http://kremlin.ru/events/president/news/58405>. Last accessed 20.12.2019.

33. Jiménez, Serpa J. C., Rojas, Sánchez A. E., Salas, Rondón M. H. Tariff Integration for Public Transportation in the Metropolitan Area of Bucaramanga, INGE CUC, 2015, Vol. 11, No. 1, pp. 25–33.

34. Wei, Wu; Yi, Zhang; Qian, He; Chaoyang, Li. Public transport use among the urban and rural elderly in China: Effects of personal, attitudinal, household, social-environment and built-environment factors. The Journal of Transport and Land Use, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 701–719.

35. Lacki, A. Analysis and Characterization of the Public Transport Mobility of Senior Citizens, Universidad Politécnica de Madrid, 2019, 81 p.

36. Bocker, L., Amen, van P., Helbich, M. Elderly travel frequencies and transport mode choices in Greater Rotterdam, the Netherlands. Springerlink.com, 2016, 22 p.

37. Lange, J., Norman, P. Quantifying Service Accessibility. Transport Disadvantage for Older People in Non-Metropolitan South Australia. Applied Spatial Analysis and Policy, 2018, Vol. 11 (1), pp. 1–19. ●





Модели анализа спроса на пассажирские авиаперевозки



Жуков Василий Егорович – Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия*.

Василий ЖУКОВ

Анализ спроса на авиаперевозки – это ключевой бизнес-процесс, вокруг которого разрабатываются стратегические и операционные планы каждой авиакомпании. На основе прогноза спроса разрабатываются стратегические планы развития маршрутной сети авиакомпании, а также планы по бюджетированию, финансовому планированию, планы продаж и маркетинга, планирование парка воздушных судов, оценка рисков и планы преодоления их последствий. Анализ спроса также облегчает важную управленческую деятельность, такую как принятие решений, оценка эффективности, разумное распределение ресурсов в определённых и неопределённых условиях развития системы воздушного транспорта.

На основе конкретных требований авиакомпании или применительно к конкретной воздушной линии может быть разработана индивидуальная модель прогнозирования спроса. Такая модель представляет собой расширение или сочетание различных качественных и количественных методов прогнозирования спроса. Задача разработки настраиваемой модели часто является итерационной, высоко детализированной и управляемой экспертными знаниями и может быть выполнена путём внедрения подходящего программного обеспечения для управления спросом.

Задача, поставленная в статье, не является постановочным заданием для построения модели, а только предлагает исследовать имеющийся теоретический материал по анализу спроса на авиаперевозки на основе наиболее известных моделей прогнозирования спроса на перевозки.

Методом научного исследования задачи, поставленной в статье, является метод научного анализа существующих моделей. Предложение и спрос на авиатранспортные услуги имеют взаимное, но асимметричное отношение. Хотя реализованный спрос на перевозку не может иметь место без соответствующего уровня предложения, авиатранспортная услуга может существовать и без соответствующего спроса. Это часто встречается в проектах, которые разрабатываются с запасом, удовлетворяющим ожидаемый уровень спроса, который может или не может быть реализован, или может его реализация займет несколько лет. Регулярные авиатранспортные услуги формируют предложение, которое существует, даже если спрос недостаточен.

Приведенные в статье модели подчёркивают условия, в которых есть насыщение предложения, а с другой стороны, рассматриваются модели, в которых спрос формируется за счёт взаимной притягательности субъектов, формирующих спрос.

Ключевые слова: транспорт, спрос на авиаперевозки, прогнозирование, макроскопическая модель.

*Информация об авторе:

Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 19.12.2019, принята к публикации 18.02.2020.

For the English text of the article please see p. 140.

Для анализа спроса на авиаперевозки можно исходить из того, что спрос на авиаперевозки между двумя городами или двумя регионами зависит от:

- социально-экономической характеристики регионов;
- характеристики транспортной системы.

Эти два фактора связаны между собой. В целом характеристика транспортной системы нашей страны показывает, что в 2018 году, по данным Росстата: грузооборот транспорта в России вырос на 2,8 % относительно 2017 года и составил 5640 млрд т · км. Рост произошёл на всех видах транспорта, кроме морского (-10,3 %), воздушного (-0,7 %) и внутреннего водного (-6,8 %). Гружёный грузооборот железнодорожного транспорта увеличился на 4,2 %. Доля железнодорожного транспорта в общей структуре грузооборота составила 46,1 % (на 0,7 п.п. выше уровня 2017 года). Доля железнодорожного транспорта без учёта трубопроводного составила 87,4 % (на 0,6 п.п. выше уровня 2017 года). В 2018 году пассажирооборот транспорта в России увеличился на 6,6 % по сравнению с 2017 годом, до 531,9 млрд пасс.-км [1].

Пассажирооборот отдельных видов транспорта составил: железнодорожного – 129,5 млрд пасс.-км; автомобильного – 114,8 млрд пасс.-км; воздушного – 286,9 млрд пасс.-км. Увеличение пассажирооборота транспорта общего пользования произошло за счёт роста пассажирооборота на воздушном транспорте (на 10,6 %). В структуре пассажирооборота транспорта общего пользования воздушный транспорт занимал 53,9 % (+1,9 п.п. к уровню 2017 года). Пассажирооборот железнодорожного транспорта вырос на 5,2 % к 2017 году, но его доля в структуре пассажирооборота уменьшилась до 24,4 % (на 0,3 п.п.). Доля автомобильного (автобусного) транспорта в пассажирских перевозках транспортом общего пользования составила 21,6 % (-1,6 п.п. к уровню 2017 года), а пассажирооборот уменьшился на 1 % [1].

Модели для оценки спроса на авиаперевозки чаще всего оценивают:

- количество потенциальных пассажиров;

- количество пассажирокилометров, которые могут быть достигнуты;
- ожидаемое количество взлётно-посадочных операций;
- коэффициент занятости кресел.

Процесс прогнозирования спроса на перевозку чаще всего состоит из следующих этапов:

- генерация поездки;
- распределение поездки;
- модальное разделение;
- назначение поездки [2].

При построении модели спроса следует учитывать, включает ли модель в себя конкурентоспособные виды транспорта. Поэтому можно рассматривать модели, которые не зависят от характеристик альтернативных видов транспорта, и мультимодальные модели [3].

Самолёт является преобладающим видом транспорта на многих маршрутах дальнего следования. Поэтому спрос на авиаперевозки по дальнемагистральным маршрутам следует оценивать независимо от других видов транспорта.

Мультимодальные модели в основном используются для оценки спроса на авиаперевозки по ближнемагистральным маршрутам.

Спрос на авиаперевозки по более коротким маршрутам обычно оценивается одновременно с оценкой спроса на другие виды перевозки.

Классификация моделей спроса на авиаперевозки:

- макроскопическая модель;
- микроскопическая модель [4].

Макроскопические модели используются для оценки уровня развития авиаперевозок в определённой стране или регионе, оцениваются:

- количество пассажиров;
- количество самолётовылетов;
- количество пассажирокилометров.

Оценка микроскопических моделей:

- спрос на перевозку между двумя городами;
- пассажиропоток в аэропорту;
- количество пассажиров по определённому маршруту;
- количество пассажиров в каждом классе [5].

В макроскопической модели: спрос – это функция времени, факторы, влияющие



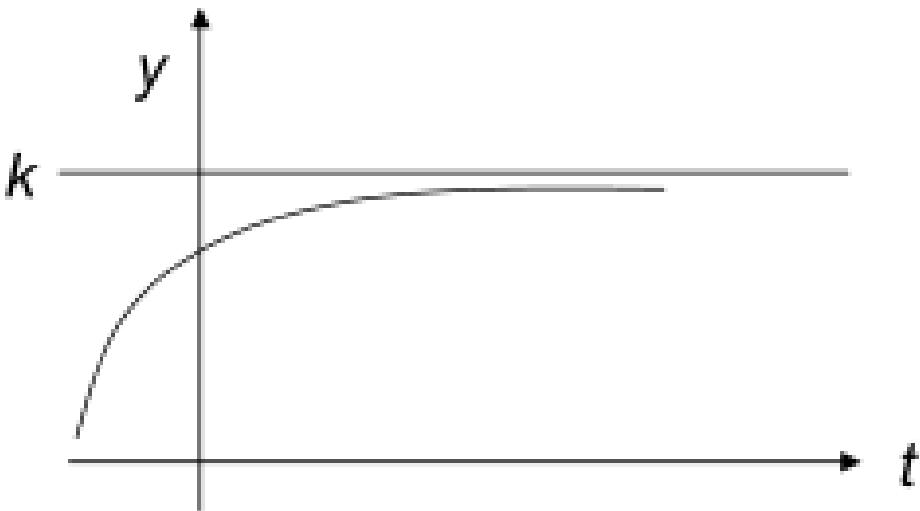


Рис. 1. Графический вид модели [9].

на количество пассажиров, не принимают-
ся во внимание.

Модель описывается так:

$$y = kt + m, \quad (1)$$

где t – время;

y – количество авиапассажиров, кото-
рое изменяется с течением времени;

k, m – параметры.

Калибровка модели может быть осущес-
твлена методом наименьших квадратов.

На практике при моделировании раз-
личных процессов – в частности, эконо-
мических, физических, технических, соци-
альных – широко используются те или
иные способы вычисления приближенных
значений функций по известным их значе-
ниям в некоторых фиксированных точках
[6].

Такого рода задачи приближения функций часто возникают:

- при построении приближенных фор-
мул для вычисления значений характерных
величин исследуемого процесса по таблич-
ным данным, полученным в результате
эксперимента;
- при численном интегрировании, диф-
ференцировании, решении дифференци-
альных уравнений и т.д.;
- при необходимости вычисления зна-
чений функций в промежуточных точках
рассматриваемого интервала;
- при определении значений характер-
ных величин процесса за пределами рас-
сматриваемого интервала, в частности при
прогнозировании [7; 8].

Если для моделирования некоторого
процесса, заданного таблицей, построить
функцию, приближенно описывающую
данний процесс на основе метода наимень-
ших квадратов, она будет называться апп-
роксимирующей функцией (регрессией),
а сама задача построения аппроксимирую-
щих функций – задачей аппроксимации [9;
10].

Модель в виде показательной функции:
 $y = a \cdot b^t$. (2)

Логарифмическая форма:

$$\log y = \log a + t \cdot \log b. \quad (3)$$

При использовании полиномов различ-
ных степеней оценка параметров управле-
ния тренда производится методом наимень-
ших квадратов (НМК) [11], точно так же,
как оценки параметров уравнения регрес-
сии на основе пространственных данных.
В качестве зависимой переменной рассмат-
риваются уровни динамического ряда,
а в качестве независимой переменной –
фактор времени t , который обычно выра-
жается рядом натуральных чисел 1, 2, ..., n .

Модель в виде модифицированной
экспоненциальной кривой (см. рис. 1):

$$y = k + a \cdot b^t, \quad (4)$$

где $a < 0, b < 1, k$ – фиксированный уровень
насыщенности.

Прогнозирование социально-эконо-
мических явлений на основе кривых рос-
та (кривых насыщения) стало применять-
ся сравнительно недавно. Впервые эти
методы были использованы в начале
XX века для прогнозирования роста био-

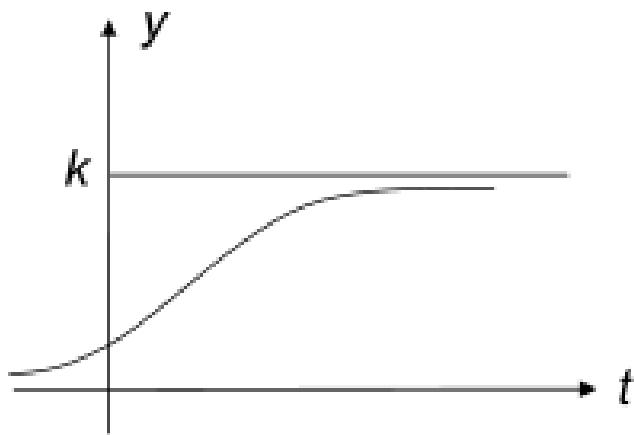


Рис. 2. Кривая Гомперца [14].

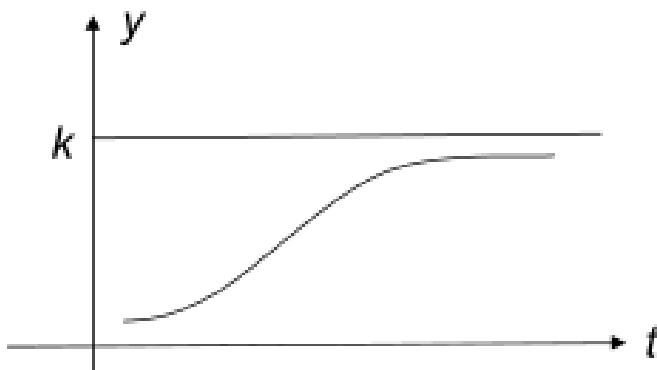


Рис. 3. Кривая Перла-Рида [14].

логических популяций. Однако кривые роста хорошо себя зарекомендовали и при прогнозировании социально-экономических явлений. Их применение в этом случае требует соблюдения определённых условий:

1. Исходный временной ряд должен быть достаточно длинным (30–40 лет).
2. Исходный временной ряд не должен иметь скачков, и тенденция такого ряда должна описываться достаточно плавной кривой.

3. Использование кривых роста в прогнозировании социально-экономических явлений может давать достаточно хорошие результаты, если предел насыщения будет определён сравнительно точно [12].

Следует отметить, что кривые роста отражают кумулятивные возрастания к определённому заранее максимальному пределу.

Особенностью кривых роста является то, что абсолютные приращения уменьшаются по мере приближения к пределу. Однако процесс роста идёт до конца.

Значение кривых роста как методов статистического прогнозирования социально-экономических явлений состоит в том, что они способствуют эмпирически правильному воспроизведению тенденции развития исследуемого явления.

Наиболее распространёнными кривыми роста, используемыми в статистической практике прогнозирования, являются кривая роста Гомперца и кривая роста Перла-Рида.

Обе кривые, в общем, похожи одна на другую и графически изображаются S-образной кривой.

Особенностью уравнений этих кривых является то, что их параметры могут быть определены методом наименьших квадратов



лишь приближенно. Для расчёта параметров этих кривых используется ряд искусственных методов, основанных на разбиении исходного ряда динамики на отдельные группы [13].

Кривая Гомперца (см. рис. 2) [14]:
 $y = k \cdot a^t$. (5)

Логарифмическая форма:
 $\log y = \log k + b^t \cdot \log a$. (6)

Когда $\log a < 0$, $b < 1$, k – уровень насыщенности.

Логистическая кривая, или кривая Перла-Рида (см. рис. 3):

$$y = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}. (7)$$

Метод наименьших квадратов не может быть применён для оценки параметров:

- модифицированных экспоненциальных кривых;
- кривой Перла-Рида;
- кривой Гомперца.

В макроскопической модели спрос является функцией от социально-экономических характеристик.

Зависимая переменная:

- количество пассажиров;
- количество выполненных рейсов;
- количество пассажирокилометров.

Независимая переменная выбирается из социально-экономических характеристик и характеристики транспортной системы, чаще всего это социально-экономические характеристики:

- население;
- национальный доход;
- личное потребление;
- объём торговли;
- число туристов;
- характеристики транспортной системы;
- стоимость перевозки;
- скорость и время в пути.

В общем виде модель принимает следующий вид:

$$y_t = a \prod_{i=1}^m S_i^{b_i} \prod_{j=1}^n T_j^{c_j}, (8)$$

где m – общее количество социально-экономических характеристик;

n – общее количество характеристик транспортной системы;

y_t – количество авиапассажиров во времени t ;

S_{it} – значение i -й социально-экономической характеристики во время t ;

T_{jt} – значение j -й характеристики транспортной системы во время t ;

a ; b_i ; c_j – параметр.

Логарифмическая форма:

$$\log y_t = \log a + \sum_{i=1}^m b_i \cdot \log S_i + \sum_{j=1}^n c_j \cdot \log T_j, (9)$$

где a ; b_i ; c_j – оценка параметров.

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЕЗДОК

Когда общее число поездок, которые может генерировать регион, установлено, поездки затем распределяются.

Распределение поездок: устанавливает количество поездок между отдельными зонами.

Обычно используемые модели:

- энтропийная модель;
- гравитационная модель (аналогия с законом тяготения Ньютона):

$$f_{ij} = k \frac{A_i \cdot B_j}{d_{ij}^2}, (10)$$

где f_{ij} – количество поездок между городами i и j ;

k – постоянная;

A_i – «размер» города i ;

B_j – «размер» города j ;

d_{ij} – расстояние между городами i и j ;

A_i , B_j – чаще всего принимается количество выездов или прибытий.

Проблемы в исходной гравитационной модели не удовлетворяются следующим уравнением сохранения потока:

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} = a_i, \sum_{i=1}^m f_{ij} = b_j. (11)$$

Модифицированная гравитационная модель:

$$f_{ij} = k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}), (12)$$

где k_i , k_j – коэффициенты, связанные с количеством выездов и прибытий;

$f(d_{ij})$ – функция расстояния, может быть расстояние, время в пути и т.д., или сочетание различных переменных.

Так как:

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} = a_i, (13)$$

$$\sum_{j=1}^n k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}) = a_i, (14)$$

$$k_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij})}. (15)$$

Таким образом:

$$\sum_{i=1}^m f_{ij} = b_j, (16)$$

$$k_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot a_i \cdot f(d_{ij})}. \quad (17)$$

ЭНТРОПИЙНАЯ МОДЕЛЬ

«Как и в случае гравитационного подхода, идею построения энтропийной модели подсказала физика, а именно второй закон термодинамики, утверждающий, что любая замкнутая физическая система стремится достичь устойчивого равновесного состояния, которое характеризуется максимумом энтропии этой системы» [15; 16, с. 12]. Использование энтропийной модели, как и гравитационной, обусловлено схожестью с процессами в физике, т.е. простотой понимания их сущностного характера. Реальному распределению потока ставится в соответствие полученное в результате максимизации энтропийной функции распределение потоков. Энтропийная функция параметрически зависит от желательного для всех элементов состояния системы. Максимизация взвешенной энтропии позволяет находить не просто равновесное состояние, а определить состояние, наиболее приближенное к реальной ситуации, которое могло бы сложиться при учёте предпочтений индивидуумов. Измерение энтропии системы важно для определения динамики системы. Важной задачей системы воздушного транспорта является возможность оценки изменения энтропии системы. Показателем того, что энтропия системы растёт, является постоянный рост цен на авиаперевозку пассажиров, и как итог этого процесса происходит постепенное снижение темпов спроса.

Данные модели хорошо себя зарекомендовали сходимостью результатов моделирования с результатами натурных обследований.

ВЫВОДЫ

Модели прогнозирования спроса могут быть применимы как для изучения индивидуальных особенностей формирования спроса на перевозку, так и при изучении формирования транспортных потоков, особенно в преддверии резкого увеличения перевозок, что, например, происходит при проведении крупных спортивных мероприятий, таких как

олимпийские игры или чемпионат мира по футболу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспорт в России. 2018: Стат. сб. Росстат. – Т. 65. – М., 2018. – 101 с.
2. Rodriguez, J.-P. Geography of transport systems. 5th edition. New York: Routledge, 2020, 456 p.
3. Актуальные вопросы экономических наук: Материалы III междунар. науч. конф. – Уфа: Лето, 2014. – 172 с.
4. Sivakumar, A. Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies. Imperial College, London, 2017, 32 p. [Электронный ресурс]: https://pdfs.semanticscholar.org/b5ec/260c7b2e885a2f228bd9cd5f68ed6fc101cf.pdf?_ga=2.259271945.2025433840.1588192665-2114981230.1588192665. Доступ 19.12.2019.
5. EURO Journal on Transportation and Logistics, 2012, Vol. 1, pp. 135–155. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13676-012-0006-9>. Доступ 19.12.2019.
6. Hendry, D. F. Economic Forecasting. Nuffield College, University of Oxford. July 18, 2000, 70 p. [Электронный ресурс]: <https://folk.uio.no/gnumoen/DFHForc.pdf>. Доступ 19.12.2019.
7. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013. – 428 с.
8. Метод наименьших квадратов: Метод. указания / Сост. Л. В. Коломиец, Н. Ю. Поникарова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.
9. Саженкова Т. В., Пономарёв И. В., Пронь С. П. Методы анализа временных рядов: Учебно-методическое пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2020. – 60 с.
10. Casella, G., Berger, R., Santana, D. Statistical Inference. 2nd edition, Duxbury Advanced Series, Pacific Grove, CA, 2002, 210 p. [Электронный ресурс]: <https://www.coursehero.com/file/27287478/Statistical-Inference-2nd-Edition-by-G-Casella-and-R-Berger-Solutionspdf/>. Доступ 19.12.2019.
11. Miller, S. J. The Method of Least Squares. Mathematics Department Brown University Providence, RI 02912, 2019, pp. 1–7. [Электронный ресурс]: <https://www.coursehero.com/file/36451365/MethodLeastSquarespdf/>. Доступ 19.12.2019.
12. Прогнозирование социально-экономических процессов: Учебно-методическое пособие / Автор-составитель О. В. Капитанова. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 74 с.
13. Антохонова И. В. Методы прогнозирования социально-экономических процессов: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 213 с. [Электронный ресурс]: <https://biblio-online.ru/bcode/444126>. Доступ 19.12.2019.
14. Crescenzo, Di A., Spina, S. Analysis of a growth model inspired by Gompertz and Korf laws, and an analogous birth-death process. Mathematical Biosciences, 2016, Vol. 282, pp. 121–134. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/1610.09297.pdf>. Доступ 19.12.2019.
15. Советов Б. Я., Сикерин А. В. Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы // Информатика и компьютерные технологии. – Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 8. – С. 21–24.
16. Власов А. А. Теория транспортных потоков: Монография. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 124 с.





Demand Analysis Models for Passenger Air Transportation



Zhukov, Vasily E., St. Petersburg State University of Civil Aviation (SPbGUGA), St. Petersburg, Russia*.

Vasily E. ZHUKOV

ABSTRACT

Analysis of demand for air transportation is a key business process around which each airline develops strategic and operational plans. Based on the demand forecast, strategic plans for development of the airline's route network are developed, as well as budgeting, financial planning, sales and marketing plans, aircraft fleet planning, risk assessment and plans to overcome their consequences. Demand analysis also facilitates important management activities, such as decision-making, performance evaluation, and reasonable allocation of resources in specific and uncertain conditions for development of the air transport system.

Based on the specific requirements of the airline or in relation to a specific airline, an individual demand forecasting model can be developed. Such a model is an extension or a combination of various qualitative and quantitative methods for forecasting demand. The task of developing a custom model is often iterative, highly detailed, and driven by expert knowledge and can be accomplished by introducing suitable demand management software.

The task stated in the article is not a staging task for building a model, but only offers to study the available theoretical material for the analysis of demand for air transportation based on the most famous models for forecasting demand for transportation.

The method of scientific research of the problem posed in the article is the method of scientific analysis of existing models. Offer and demand for air transport services are reciprocal but asymmetric. Although the realized demand for transportation cannot take place without an appropriate level of supply, an air transport service can exist without appropriate demand. This is often found in projects that are developed with a margin that meets the expected level of demand, which may or may not be realized, or it may take several years to be realized. Regular air transport services form a supply that exists even if demand is insufficient. Several models presented in the article emphasize the conditions in which there is supply saturation, and on the other hand, the models in which demand is formed due to the mutual attractiveness of the entities that form demand are considered.

Keywords: transport, demand for air transportation, forecasting, macroscopic model.

*Information about the author:

Zhukov, Vasily E. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation (SPbGUGA), St. Petersburg, Russia, vasizhukov@yandex.ru.

Article received 19.12.2019, accepted 18.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 134.

To analyze the demand for air transportation, we can proceed from the fact that the demand for air transportation between two cities or two regions depends on:

- socio-economic characteristics of the regions;
- characteristics of the transport system.

These two factors are interconnected. In general, the characteristics of the transport system of Russia show that in 2018, according to the Federal State Statistics Service: transport turnover in Russia grew by 2,8 % compared to 2017 and amounted to 5640 bln t·km. The growth was recorded for all modes of transport, except sea (-10,3 %), air (-0,7 %) and inland water (-6,8 %) transportation. The freight turnover of the railway transport increased by 4,2 %. The share of railway transport in the total structure of freight turnover amounted to 46,1 % (by 0,7 percentage points higher than in 2017). The share of railway transport in total transport freight turnover (excluding pipelines) amounted to 87,4% (0,6 percentage points above the level of 2017). In 2018, passenger turnover in Russia increased by 6,6 % compared to 2017, to 531,9 bln passenger-km [1].

Passenger turnover of certain modes of transport amounted to: railway – 129,5 bln passenger-km; road – 114,8 bln passenger-km; air – 286,9 bln pass.-km. The increase in the passenger turnover of public transport occurred due to the increase in passenger turnover in air transport (by 10,6 %). Within the structure of passenger turnover of public transport, air transport accounted for 53,9 % (+1,9 percentage points to the level of 2017). Passenger turnover of railway transport increased by 5,2 % compared to 2017, but its share in the structure of passenger turnover decreased to 24,4 % (by 0,3 percentage points). The share of road (bus) transport in passenger transportation by public transport was 21,6 % (-1,6 percentage points to the level of 2017), and passenger turnover decreased by 1 % [1].

Models for assessing demand for air transportation most often evaluate:

- number of potential passengers;
- number of passenger kilometers that can be achieved;
- expected number of take-off and landing operations;
- seat occupancy rate.

The process of forecasting the demand for transportation most often consists of the following steps:

- trip generation;
- travel distribution;
- modal differentiation;
- destination of the trip [2].

When building a demand model, one should consider whether the model includes competitive modes of transport. Therefore, we can consider models that are independent of the characteristics of alternative modes of transport and multimodal models [3].

Aviation is the predominant mode of transport on many long-distance routes. Therefore, demand for air transportation on long-haul routes should be evaluated independently of other modes of transport.

Multimodal models are mainly used to estimate demand for air transportation along short-haul routes.

Demand for air transportation on shorter routes is usually assessed simultaneously with assessment of demand for other modes of transport.

Classification of models of demand for air transportation:

- macroscopic model;
- microscopic model [4].

Macroscopic models are used to assess the level of development of air transportation in a particular country or region:

- number of passengers;
- number of flights;
- number of passenger kilometers.

Assessment of microscopic models:

- demand for transportation between two cities;
- passenger flow at the airport;
- number of passengers on a particular route;
- number of passengers in each class [5].

In the macroscopic model: demand is a function of time, factors affecting the number of passengers are not taken into account

The model is described as follows:

$$y = kt + m, \quad (1)$$

where t – time;

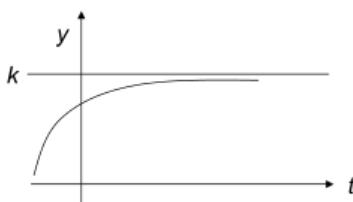
y – number of air passengers that changes over time;

k, m – parameters.

Calibration of the model can be carried out by the least squares method.

In practice, when modeling various processes – in particular, economic, physical,





Pic. 1. Graphical view of a model [5].

technical, and social ones – various methods of calculating approximate values of functions from their known values at some fixed points are widely used [6].

Such problems of approximation of functions often arise:

- when constructing approximate formulas for calculating the values of the characteristic values of the process under study from tabular data obtained as a result of the experiment;
- in numerical integration, differentiation, solving differential equations, etc.;
- when it is necessary to calculate the values of the functions at the intermediate points of the considered interval;
- when determining the values of the characteristic values of the process outside the considered interval, in particular when forecasting [7; 8].

If, to simulate a certain process specified by the table, we construct a function that approximately describes this process on the basis of the least squares method, it will be called an approximating function (regression), and the task of constructing approximating functions will be called the approximation problem [9; 10].

Model as an exponential function:

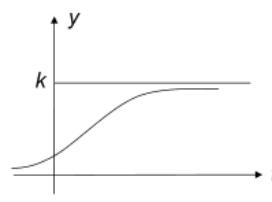
$$y = a \cdot b^t \quad (2)$$

Logarithmic form:

$$\log y = \log a + t \cdot \log b \quad (3)$$

When using polynomials of various degrees, the trend control parameters are estimated using the least squares method (LSM) [11] in the same way as the parameters of the regression equation are estimated based on spatial data. The levels of the dynamic series are considered as a dependent variable, and the time factor t , which is usually expressed by a series of natural numbers 1, 2, ..., n , is considered as an independent variable.

Model in the form of a modified exponential curve (see Pic. 1):



Pic. 2. Gompertz curve [14].

$$y = k + a \cdot b^t, \quad (4)$$

where $a < 0, b < 1, k$ – fixed level of saturation.

Forecasting of socio-economic phenomena based on growth curves (saturation curves) has been used relatively recently. These methods were first used at the beginning of 20th century to forecast the growth of biological populations. However, growth curves have worked well in forecasting socio-economic phenomena. Their use in this case requires compliance with certain conditions:

1. The initial time series should be quite long (30–40 years).
2. The initial time series should not have jumps, and the trend of such a series should be described by a fairly smooth curve.
3. The use of growth curves in forecasting socio-economic phenomena can give fairly good results if the saturation limit is determined relatively accurately [12].

It should be noted that the growth curves reflect cumulative increase up to a predetermined maximum limit.

A feature of the growth curves is that absolute increments decrease as they approach the limit. However, the growth process goes to the end.

The significance of growth curves as methods of statistical forecasting of socio-economic phenomena lies in the fact that they contribute to the empirically correct reproduction of the development trend of the studied phenomenon.

The most common growth curves used in statistical forecasting practice are Gompertz growth curve and Pearl-Reed growth curve.

Both curves are, in general, similar to each other and graphically depicted as an *S*-shaped curve.

A feature of the equations of these curves is that their parameters can be determined by the least squares method only approximately. To calculate the parameters of these curves, a number of artificial methods are used, based

on dividing the initial series of dynamics into separate groups [13].

Gompertz curve (see Pic. 2) [14]:

$$y = k \cdot a^b. \quad (5)$$

Logarithmic form:

$$\log y = \log k + b^t \cdot \log a. \quad (6)$$

When $\log a < 0, b < 1, k$ – saturation level.

Logistic curve or Pearl-Reed curve (see Pic. 3):

$$y = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}. \quad (7)$$

The least squares method cannot be used to estimate parameters of:

- modified exponential curves;
- Pearl-Reed curve;
- Gompertz curve.

In the macroscopic model, demand is a function of socio-economic characteristics.

Dependent variable:

- number of passengers;
- number of flights performed;
- number of passenger kilometers.

The independent variable is selected from the socio-economic characteristics and the characteristics of the transport system, most often these are socio-economic characteristics:

- population;
- national income;
- personal consumption;
- trade volume;
- number of tourists;
- characteristics of the transport system;
- transportation cost;
- speed and travel time.

In general, the model takes the following form:

$$y_i = a \prod_{i=1}^m S_{it}^{bi} \prod_{j=1}^n T_{jt}^{cj}, \quad (8)$$

where m – total number of socio-economic characteristics;

n – total number of characteristics of the transport system;

y_t – number of air passengers during time t ;

S_{it} – value of the i -th socio-economic characteristic at time t ;

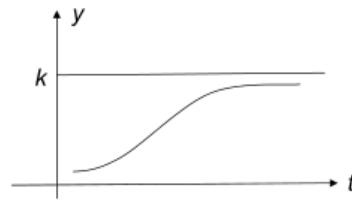
T_{jt} – value of the j -th characteristic of the transport system at time t ;

$a; b_i; c_j$ – parameter.

Logarithmic form:

$$\log y_t = \log a + \sum_{i=1}^m b_i \cdot \log S_{it} + \sum_{j=1}^n c_j \cdot \log T_{jt}, \quad (9)$$

where $a; b_i; c_j$ – estimates of parameters.



Pic. 3. Pearl-Reed curve [14].

Models of trip distribution

When the total number of trips that a region can generate is established, trips are then distributed.

Trip distribution sets the number of trips between individual zones.

Commonly used models:

- entropy model;
- gravity model (analogy with Newton's law of gravity):

$$f_{ij} = k \frac{A_i \cdot B_j}{d_{ij}^2}, \quad (10)$$

where f_{ij} – number of trips between the cities i and j ;

k – constant;

A_i – «size» of the city i ;

B_j – «size» of the city j ;

d_{ij} – distance between the cities i and j ;

A_i, B_j most often taken as the number of departures or arrivals.

Problems in the initial gravitational model: are not satisfied with the following flow conservation equation:

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} = a_i, \sum_{i=1}^m f_{ij} = b_j, \quad (11)$$

Modified gravitational model:

$$f_{ij} = k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}), \quad (12)$$

where k_i, k_j – coefficients related to the number of departures and arrivals;

$f(d_{ij})$ – function of distance, it may be distance, travel time, etc., or a combination of various variables.

In this way:

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} = a_i, \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n k_i \cdot a_i \cdot k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij}) = a_i, \quad (14)$$

$$k_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n k_j \cdot b_j \cdot f(d_{ij})}. \quad (15)$$

Thus:

$$\sum_{i=1}^m f_{ij} = b_j, \quad (16)$$



$$k_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_i \cdot a_i \cdot f(d_i)}. \quad (17)$$

Entropy model

«As in the case of the gravitational approach, the idea of constructing an entropy model was suggested by physics, namely, the second law of thermodynamics, which states that any closed physical system seeks to achieve a stable equilibrium state, which is characterized by a maximum of entropy of this system» [15; 16, p. 12]. The use of the entropy model, as well as the gravitational one, is due to similarity with processes in physics, i.e., simplicity of understanding their essential nature. The actual distribution of the flow is associated with distribution of flows obtained by maximizing the entropy function. The entropy function parametrically depends on the desired state of the system for all elements. Maximizing the weighted entropy allows to find not just an equilibrium state, but to determine the state that is closest to the real situation, which could have developed taking into account the preferences of individuals. Measuring the entropy of a system is important for determining the dynamics of a system. An important task of the air transport system is the ability to assess changes in the entropy of the system. An indicator that the entropy of the system is growing, can be revealed through a constant increase in the price of air transportation of passengers and (as a result of this process) a gradual decrease in demand.

These models have proven themselves in convergence of simulation results with the results of field surveys.

Conclusion.

Demand forecasting models can be applicable both for studying individual characteristics of formation of demand for transportation, and for studying development of traffic flows, especially in anticipation of a sharp increase in transportation, which, for example, occurs during large sporting events, such as the Olympic Games or the World Cup.

REFERENCES

- Transport in Russia. 2018: Stat. col. Rosstat [*Transport v Rossii*]. 2018: Stat. Sb. Rosstat]. Vol. 65. Moscow, 2018, 101 p.
- Rodriguez, J.-P. Geography of transport systems. 5th edition. New York: Routledge, 2020, 456 p.
- Actual issues of economic sciences [*Aktualnie voprosy ekonomicheskikh nauk*]: Proceedings of 3rd international scientific conference. Ufa, Leto publ., 2014, 172 p.
- Sivakumar, A. Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies. Imperial College, London, 2017, 32 p. [Electronic resource]: https://pdfs.semanticscholar.org/b5ec/260c7b2e885a2f228bd9cd5f68ed6fc10cf.pdf?_ga=2.259271945.2025433840.1588192665-2114981230.1588192665. Last accessed 19.12.2019.
- EURO Journal on Transportation and Logistics, 2012, Vol. 1, pp. 135–155. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13676-012-0006-9>. Last accessed 19.12.2019.
- Hendry, D. F. Economic Forecasting. Nuffield College, University of Oxford. July 18, 2000, 70 p. [Electronic resource]: <https://folk.uio.no/rnymoen/DFHForc.pdf>. Last accessed 19.12.2019.
- Introduction to the mathematical modelling of transport flows: Study guide [*Vvedenie v matematicheskoe modelirovaniye transportnykh potokov*]. Ed. 2nd, rev. and enl. Ed. by A. V. Gasnikov. Moscow, MCNMO publ., 2013, 428 p.
- Least Squares Method: Methodological instructions [*Metod naimenishikh kvadratov: Metod ukazaniya*]. Comp.: L. V. Kolomiyets, N. Yu. Ponikarova. Samara, Publishing house of Samara University, 2017, 32 p.
- Sazhenkova, T. V., Ponomarev, I. V., Pron, S. P. Methods of analysis of time series: Educational-methodical manual [*Metody analiza vremennykh ryadov: Uchebno-metodicheskoe posobie*]. Barnaul, Publishing house of Altai University, 2020, 60 p.
- Casella, G., Berger, R., Santana, D. Statistical Inference. 2nd edition, Duxbury Advanced Series, Pacific Grove, CA, 2002, 210 p. [Electronic resource]: <https://www.coursehero.com/file/27287478/Statistical-Inference-2nd-Edition-by-G-Casella-and-R-Berger-Solutionspdf/>. Last accessed 19.12.2019.
- Miller, S. J. The Method of Least Squares. Mathematics Department, Brown University, Providence, RI 02912, 2019, pp. 1–7. [Electronic resource]: <https://www.coursehero.com/file/36451365/MethodLeastSquarespdf/>. Last accessed 19.12.2019.
- Forecasting of socio-economic processes: Study guide [*Prognozirovaniye sotsialno-ekonomiceskikh protsessov: Uchebno-metodicheskoe posobie*]. Compiled by O. V. Kapitanova. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University, 2016, 74 p.
- Antokhonova, I. V. Methods of forecasting socio-economic processes: a textbook for universities [*Metody prognozirovaniya sotsialno-ekonomiceskikh protsessov: Uchebnoe posobie dlya vuзов*]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Yurayt Publishing House, 2019, 213 p. [Electronic resource]: <https://biblio-online.ru/bcode/444126>. Last accessed 19.12.2019.
- Crescenzo, Di A., Spina, S. Analysis of a growth model inspired by Gompertz and Korf laws, and an analogous birth-death process. Mathematical Biosciences, 2016, Vol. 282, pp. 121–134. [Electronic resource]: <https://arxiv.org/pdf/1610.09297.pdf>. Last accessed 19.12.2019.
- Sovetov, B. Ya., Sikerin, A. V. Gravity and entropy models of flows in territorial planning of development of the transport system [*Gravitationsnaya i entropiynaya modeli potokov pri territorialnom planirovaniyu razyitiya transportnoi sistemy*]. *Informatika i kompyuternie tekhnologii*. Proceedings of St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2016, Iss. 8, pp. 21–24.
- Vlasov, A. A. Theory of transport flows: Monograph [*Teoriya transportnykh potokov: Monografiya*]. Penza, PGUAS publ., 2014, 124 p.



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОАО «РЖД» С ОТРАСЛЕВЫМИ ВУЗАМИ

22 января 2020 года состоялась церемония подписания программы развития взаимодействия ОАО «РЖД» с университетскими комплексами железнодорожного транспорта до 2025 года.

В мероприятии приняли участие министр транспорта Евгений Дитрих, генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» Олег Белозёров, ректор Российского университета транспорта Александр Климов.

Олег Белозёров отметил, что рынок труда сегодня динамично меняется,

постоянно появляются новые профессии, усложняются требования к существующим, и высшая школа должна гибко и быстро реагировать на эти запросы.

«В прошлом году мы приступили к реализации долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года, увязанной с национальными проектами. Сформулированные Президентом страны национальные цели поставили перед отраслью амбициозные задачи по модернизации инфраструктуры, созданию интеллектуальных транс-





портных систем и повышению эффективности работы. Для исполнения задуманного РЖД нужны первоклассные профессионалы на каждом уровне: руководители и инженеры, программисты, финансисты, специалисты рабочего звена всех железнодорожных профессий», — отметил глава РЖД.

«Мы с вами чётко понимаем, что решения, которые принимались по национальным проектам, задачи по их развитию, по их развороту в сторону человека, несомненно, требуют того, чтобы исполняли эти нацпроекты люди нового склада, нового поколения, продвинутые, которые постоянно готовы двигаться вперёд и искать новые решения. И в том, чтобы отрасль подпитывалась такими людьми, состоит ключевая задача транспортного образования», — сказал в свою очередь Евгений Дитрих. По его словам, вопросы образования постоянно находятся

в фокусе внимания Минтранса. Для подготовки и внедрения новых кадров и компетенций в рамках нацпроектов планируется создать на базе Российского университета транспорта многофункциональный технологический кластер «Образцово». «Рассчитываю, что совместно с ОАО «РЖД» и другими крупнейшими транспортными компаниями, мы сформируем интеллектуальный узел транспортной отрасли, центр научных исследований в области интеллектуальных транспортных систем», — подчеркнул Евгений Дитрих.

На основе материалов пресс-центра Министерства транспорта Российской Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9404>, фото пресс-центра Минтранса и ОАО «РЖД»: https://old-press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=95127●



RUSSIAN RAILWAYS' INTERACTION WITH RAILWAY INDUSTRY UNIVERSITIES

On January 22, 2020, the Russian Railways' program for the development of cooperation with the railway university until 2025 was solemnly signed.

The event was attended by Evgeny Ditrich, Minister of Transport of Russian Federation, Oleg Belozerov, CEO – Chairman of the Board of Russian Railways, Oleg Belozerov, Alexander Klimov, rector of the Russian University of Transport.

Oleg Belozerov noted that the labor market is changing dynamically, new professions are constantly emerging, the requirements for existing ones are becoming more sophisticated, and the higher school should respond flexibly and quickly to these challenges.

«Last year we started implementing a long-term development program for Russian Railways until 2025, linked to national projects. The National goals formulated by the President of the country





have set ambitious goals for the industry to modernize infrastructure, build intelligent transport systems and improve efficiency. Russian Railways need first-class professionals at every level to fulfill the plans: managers and engineers, programmers, financiers, employees of all railway professions», the head of the Russian Railways said.

«We clearly understand that the decisions regarding the national projects, the tasks of their implementation, their focus on individual persons, undoubtedly require that these national projects are implemented by people with new personality patterns, of a new generation, advanced people, who are constantly ready to move forward and look for new solutions. And the key task of transport education is to ensure that the industry is provided with such people», said Evgeny Dietrich. According to him, education issues are constantly in the focus of the Ministry of

Transport. To train new personnel and implement new skills and competencies within the framework of national projects, it is planned to create Obraztsovo multifunctional technology cluster center on the basis of the Russian University of Transport. «I hope that together with Russian Railways and other leading transport companies, we will form an intelligent hub of the transport industry, a center of scientific research in the field of intelligent transport systems», said Eugene Dietrich.

Compiled from the news and photos of the press center of the Ministry of Transport of Russian Federation:
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9404>, photos of JSC Russian Railways: https://old-press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=95127●





ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ 146

Интеграция функций мониторинга и управления.



ТЯГА 158

Энергоснабжение и искусственный интеллект: нейронные и электрические сети.

СОРТИРОВОЧНАЯ СТАНЦИЯ 170

Рациональное управление главным ресурсом – маневровым тепловозом.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 184

Металлургическое предприятие определяет средневзвешенный оборот полувагонов.

ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ 196

Нормативы для электробуса.

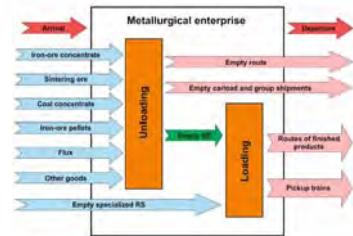
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

ENGINEERING SYSTEMS 152

Towards integration of monitoring and controlling.

TRACTION 164

Power supply and AI: neural and electric networks.



MARSHALLING YARD 177

Lean operation of diesel locomotive as of main resource of the sorting station.

INDUSTRIAL TRANSPORT 190

Iron and steel plant calculates mean turnover of gondola cars.

URBAN TRANSPORTATION 204

Regulation and standards for electric bus.

Интеграция систем управления и мониторинга



Ефанов Дмитрий Викторович – ООО «ЛокоТех-Сигнал», Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Дмитрий ЕФАНОВ

Стационарные системы мониторинга устройств обеспечения движения поездов в настоящее время реализуются как внешние средства технического диагностирования и располагаются преимущественно централизованно. Набор диагностических параметров является скучным, а большинство измерений – косвенными. Это, в конечном счёте, приводит к низкой эффективности функционирования систем мониторинга, а доля полезной информации от общего объёма данных, по сообщениям специалистов, не превышает 5 %. Развитие технологий мониторинга должно идти по пути интеграции измерительных и управляющих функций. Целью работы является обращение внимания научного сообщества на принципы реализации систем мониторинга и управления и переход от их разделения к интеграции. Используя методы технической диагностики и мониторинга, предлагается перейти к более прогрессивным системам управления со встраиваемыми средствами технического диагностирования и мониторинга. Автором предложена концепция интегрированных средств технического диагностирования с объектными контроллерами управления в виде съёмных модулей мониторинга, передающих данные по выделенным

диагностическим трактам передачи. В зависимости от географического положения контроллера (централизованное, на посту управления или децентрализованное возле объекта управления) определяется набор диагностических параметров и осуществляется выбор способов обработки диагностической информации. В диагностические модули при децентрализованном расположении контроллеров возможна передача диагностической информации от внешних и распределённых датчиков на объектах железнодорожной инфраструктуры. Реализация представленной концепции позволит получать гораздо большее количество исходных данных для работы систем мониторинга, в том числе, перейти к получению цифровых копий объектов железнодорожной инфраструктуры. В более широком смысле, при организации систем мониторинга необходимо фокусироваться не только на средствах железнодорожной автоматики, но и уделять внимание иным объектам инфраструктуры, обслуживаемым персоналом смежных хозяйств. Так как все объекты функционируют совместно, такой подход в организации мониторинга повысит качество диагноза и прогноза, а также даст возможность оценки остаточного ресурса технических объектов.

Ключевые слова: транспорт, техническая диагностика, мониторинг, интеграция измерительных и управляющих функций, диагностические данные, объекты железнодорожной инфраструктуры, цифровые копии.

*Информация об авторе:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, руководитель направления систем мониторинга и диагностики ООО «ЛокоТех-Сигнал», профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российской университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.07.2019, принята к публикации 02.11.2019.

For the English text of the article please see p. 152.

ВВЕДЕНИЕ

Методы технической диагностики [1–6] повсеместно используются на всех этапах жизненного цикла устройств и систем автоматического управления. На этапе разработки устройства или системы, например, это выражается в тестировании и верификации аппаратных и программных компонентов, в выборе и обосновании способа реализации подсистем внутреннего контроля и диагностирования и пр. [7]; на этапе эксплуатации – это периодическое тестирование и функциональное диагностирование блоков и компонентов, мониторинг технического состояния подключаемыми извне устройствами, техническое обслуживание с привлечением сервисного персонала [8]. Без использования средств встраиваемого и внешнего технического диагностирования и мониторинга невозможна реализация концепции цифровой железной дороги [9].

Широкое распространение в последние годы во всех отраслях промышленности и транспорта получили надстраиваемые технические средства диагностирования и мониторинга состояния инженерных сооружений и конструкций. К объектам диагностирования, с целью повышения их отказоустойчивости, предотвращения аварий и катастроф, подключаются специализированные измерительные устройства, передающие получаемые диагностические данные посредством проводного (и, гораздо реже, беспроводного) тракта передачи в устройства концентрации и обработки информации. Это позволяет опрашивать датчики измерительных устройств с некоторым предустановленным периодом и формировать в программном обеспечении систем мониторинга массивы диагностических данных, а также проводить анализ получаемых данных. На основе анализа формируются сообщения, выявляются тенденции ухудшения рабочих параметров и производится оповещение персонала.

На первоначальном этапе разработки системы технического диагностирования и мониторинга проводится обследование объекта диагностирования, в ряде случаев создаётся математическая модель данного объекта, и выбираются точки подключения датчиков для обеспечения требуемой полноты и глубины диагностирования. Объём диагностических параметров непосредствен-

но влияет и на качество процедуры мониторинга, точность и своевременность постановки диагноза и последующее решение задачи прогнозирования.

Целью настоящей работы является обращение внимания научного сообщества на принципы реализации систем мониторинга и управления и переход от их разделения к интеграции. Используя *методы* технической диагностики и мониторинга, предлагаются перейти к более прогрессивным системам управления со встраиваемыми средствами технического диагностирования и мониторинга. Непосредственно в данной статье предложено концептуальное техническое решение по совершенствованию технологий диагностирования и мониторинга устройств и систем управления движением поездов с учётом их специфики [10; 11].

МОНИТОРИНГ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Комплекс устройств и систем управления движением поездов включает в себя разнообразные приспособления железнодорожной автоматики и предназначен для автоматизации процедур управления техническими средствами регулирования движения поездов и передачи данных на бортовые средства автоматики тяговых подвижных единиц. Основными объектами управления и контроля для систем железнодорожной автоматики являются напольные технологические объекты – то оборудование автоматики, которое расположено в непосредственной близости к железнодорожному полотну и для некоторых устройств – даже интегрировано с рельсами (речь о рельсовых цепях). К основным напольным объектам железнодорожной автоматики относятся устройства автоматического перевода стрелок (стрелочные электроприводы), устройства передачи сигналов машинисту (светофоры), устройства позиционирования подвижных единиц (рельсовые цепи). Именно на данные устройства по статистике приходится до 80 % отказов всех устройств железнодорожной автоматики [12, с. 4]. Кроме того, напольное оборудование железнодорожной автоматики, как правило, лишено встроенных средств технического диагностирования, а подавляющее число его составляющих являются не резервируемыми [11]. Отказы напольного технологического оборудования крайне не-



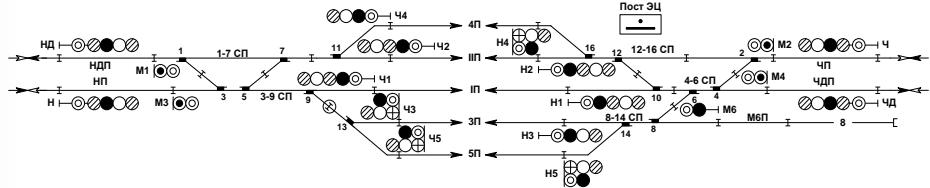


Рис. 1. Схематический план промежуточной станции [13, с. 279].

гативно влияют на перевозочный процесс и могут непосредственно влиять на сбои в движении поездов и возникновении нарушений в графике движения поездов. Поэтому основная задача технических средств диагностирования и мониторинга – это анализ состояния именно напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики с фиксацией докритических (предотказных) состояний.

Число напольных технологических объектов и их особенности определяются непосредственно исходя из путевого развития станции и допустимых технологических операций на ней. К примеру, на рис. 1 изображён схематический план произвольной промежуточной станции в однониточном исполнении (такие станции широко распространены на железных дорогах) [13, с. 279].

На рассматриваемой станции для позиционирования подвижных единиц используются 18 рельсовых цепей (8 разветвленных и 10 неразветвленных). Для перемещения поездов с одного пути на другой на станции уложено 15 стрелочных переводов, оборудованных стрелочными электроприводами. Движение регулируется с помощью 14 поездных и 5 маневровых светофоров. Это и есть основные объекты мониторинга.

Напольное технологическое оборудование железнодорожной автоматики в современных системах мониторинга диагностируется по косвенным признакам по состоянию управляющих устройств, располагаемых на посту централизации [8, с. 43]. Зачастую, ввиду особенностей кабельного хозяйства железнодорожной автоматики, набор диагностических параметров весьма ограничен и позволяет судить о состоянии только целой группы устройств, а состояние конкретного объекта или принадлежность к объекту полученного измеренного значения идентифицировать крайне трудно без экспертной оценки. Например, устройства контроля двигателей стрелочных электроприводов чаще всего монтируются на питающих уста-

новках и производят измерения в цепях стрелок при их последовательном переводе в каждой из горловин. Если часть стрелок может переводиться параллельно, то производимые измерения нельзя однозначно соотствовать только с конкретной железнодорожной стрелкой. При этом в цепях измеряются фазные токи и межфазные напряжения. Кроме данной информации, о состоянии железнодорожной стрелки судят по дискретным данным её положения и состояния управляющих объектов. Следует отметить, что на железных дорогах ЕС развитие технических средств идёт по пути децентрализации диагностических средств и расположения их в непосредственной близости к объекту диагностирования и расширению их функциональных возможностей [14; 15]. Для светофоров измеряются ток в цепи включения разрешающего показания и дискретные состояния (зачастую, только разрешённого показания, а не конкретного линзового комплекта). Для рельсовых цепей – дискретные состояния (занятость/свободность, замкнутость/не замкнутость в маршруте, включение режима отмены или искусственного размыкания), а также ряд напряжений: напряжения на источниках питания и путевых элементах (реле) при фазочувствительных рельсовых цепях; напряжения на выходах генераторов, путевых приёмников и путевых элементах (реле) при тональных рельсовых цепях. Кроме того, в качестве диагностических параметров используют длительности кодовых посылок системы кодирования автоматической локомотивной сигнализации. Ко всем этим данным добавляются данные о состоянии системы электропитания на станции, а также о состоянии сопротивления изоляции кабельного хозяйства.

Как показывает практика, представленного множества данных недостаточно для точного диагноза и последующего прогноза. Рассмотрим подход, расширяющий полноту и глубину технического диагностирования,

применимый при разработке новых систем централизации и управления.

ИНТЕГРАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ОБЪЕКТНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Системы управления могут быть реализованы по различным идеологиям [16]. В настоящее время используют единый вычислительный комплекс, располагаемый на посту централизации или в транспортабельном модуле. Данный вычислительный комплекс реализуется как с использованием традиционной релейной техники, так и с применением микроэлектронных и микропроцессорных компонентов. Для управления периферийными объектами в стационарных системах автоматики применяются интерфейсные реле или объектные контроллеры (более современный вариант). По географическому расположению относительно вычислительного комплекса объектные контроллеры могут иметь централизованное размещение или децентрализованное. При централизованном размещении объектные контроллеры находятся в непосредственной близости к вычислительному комплексу и при помощи кабеля сообщаются с периферийными объектами управления и контроля. При децентрализованном расположении объектные контроллеры могут быть размещены в непосредственной близости от периферийных объектов — в путевых коробках и ящиках, в светофорных ящиках или даже в светофорных головках. В этом случае приказы на управление и контрольная информация также передаются посредством кабельной сети на объектные контроллеры. Энергоснабжение может быть организовано как местным, так и центральным. Способ реализации зависит от выбранной идеологии и специфики самой станции. Следует отметить, что перспективным, но пока не реализованным, является бескабельный способ управления, когда все объектные контроллеры располагаются в непосредственной близости к объектам, снабжаются энергией от местных источников (как традиционных, так и альтернативных), а данные передают на единый управляющий комплекс посредством беспроводной связи [17, с. 23].

Предлагается каждый объектный контроллер оснащать легкосъёмным измерительным модулем, обеспечивающим полу-

чение диагностических данных, позволяющих максимально полно анализировать техническое состояние объектов управления. Данные передавать по выделенным диагностическим каналам передачи — либо по кабельным (при наличии кабельной сети), либо по беспроводным.

Для максимально эффективного процесса мониторинга объектов управления требуется получение следующих параметров. Для объектных контроллеров управления стрелочными двигателями требуется измерение межфазных напряжений, фазных токов, сопротивления изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства). Для объектных контроллеров светофоров — напряжений питания ламп огней светофоров (питания светодиодных ламп) и токов в цепях питания, сопротивлений изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства). Если светофорный контроллер устанавливается в светофорном ящике или в головке светофора, то для мониторинга геометрического положения мачты (при её наличии) диагностический прибор снабжается датчиком контроля угла отклонения — инклинометром [18, с. 177]. Состав данных от оборудования датчиков контроля положения подвижных единиц определяется типом этих датчиков. Например, при использовании современных рельсовых цепей тональной частоты управление и контроль осуществляются с использованием генератора, фильтра, приёмника и реле (оно в перспективе может быть заменено на микроэлектронное устройство или, вообще, исключено из работы). Стоит отметить, что функция рельсовой цепи — именно контроль положения подвижного состава, а не управление, однако управление осуществляется с генератора путём подачи тока определённой частоты и приёма его путевым приёмником с приёмной стороны. Таким образом, потребуются токи и напряжения на выходах генераторов, путевых приёмников, фильтров и реле, а также сопротивление изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства).

Дополнительно для каждого объекта диагностирования требуется анализ таких параметров, как вибрационные воздействия на объект диагностирования и климатические условия эксплуатации. С этой целью может быть использовано выносное устрой-



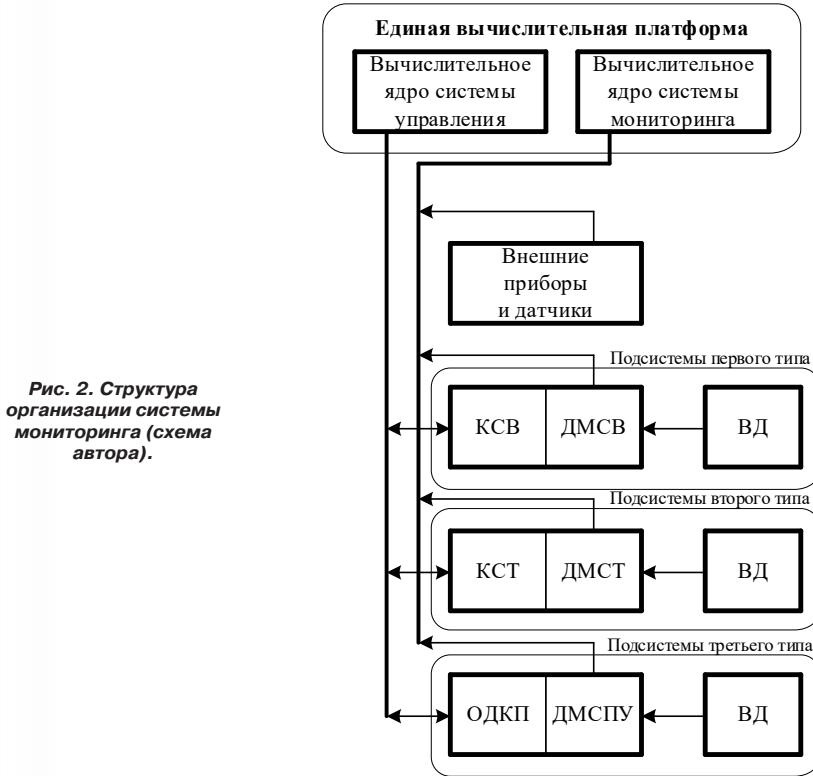


Рис. 2. Структура организации системы мониторинга (схема автора).

Обозначения

КСВ – контроллер светофорный;
 КСТ – контроллер стрелочный;
 ОДКП – оборудование датчиков контроля положения подвижных единиц;
 ДМСВ – диагностический модуль светофорный;
 ДМСТ – диагностический модуль стрелочный;
 ДМСПУ – диагностический модуль стрелочно-путевого участка;
 ВД – выносные датчики.

Примечание. Все связи могут быть как проводными, так и беспроводными.

ство на основе акселерометров или же встроенный датчик в модуль диагностирования, а также каждый измерительный модуль может быть снабжён датчиком температуры. Либо на объекте мониторинга устанавливается метеостанция. Каждый объектный контроллер также должен передавать в систему мониторинга данные о своём состоянии и состоянии системы электропитания.

Встраиваемые диагностические модули могут служить также и устройством первичной обработки данных о состоянии объектов смежных хозяйств [19, с. 65]. Например, важнейшей задачей является контроль механических и геометрических параметров рельсового пути и непосредственно железнодорожных стрелок. Для их мониторинга могут быть использованы выносные датчики, располагаемые как на внутренних элементах устройств, так и на внешних объектах с про-

водным или беспроводным интерфейсом (примером является известное решение по мониторингу геометрии стрелочного перевода [20]).

Следует добавить, что сам измерительный модуль должен являться средством получения множества диагностических параметров от одной группы взаимосвязанных объектов, часть из которых следует обрабатывать непосредственно «на месте», а часть – транслировать на сервер мониторинга.

Архитектура системы технического диагностирования и мониторинга имеет вид, представленный на рис. 2.

Следует отметить, что речь идёт именно о мониторинге средств железнодорожной автоматики. Однако для получения цифровой картины о состоянии объектов на станции требуется мониторинг геометрических и физических параметров таких объектов,

как верхнее строение пути, железнодорожная контактная подвеска, искусственные сооружения. Кроме того, могут учитываться и параметры движущихся единиц и использоваться взвешивание состава на ходу по нагрузке на каждую ось каждой вагонной тележки. Таким образом, глобальный путь развития систем технического диагностирования и мониторинга заключается в интеграции множества функций измерения рабочих параметров не только объектов железнодорожной автоматики, но и средств инфраструктуры железных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование интегрированных средств технического диагностирования и мониторинга позволяет существенно расширить возможности в аналитики диагностических данных, получаемых от объектов железнодорожной автоматики, и осуществить переход к автоматизации прогнозирования и выявления предотказных состояний. Следует отметить, что при этом сами диагностические приборы для процедур поверки могут легко демонтироваться и заменяться благодаря стандартизации и модульности исполнения, а диагностические цепи являться выделенными. Это позволяет организовывать отдельные (независимые от систем управления) системы технического диагностирования и мониторинга, в том числе, использовать универсальные платформы по анализу больших потоков данных. Множество диагностических параметров может быть расширено и дополнено для получения цифровой картины о состоянии объектов станционной инфраструктуры и учёта этих данных при эксплуатации. Сами данные от единой платформы могут быть переданы на автоматизированные рабочие места (стационарные или мобильные) технического персонала согласно их компетенциям.

Реализация описанного в статье подхода позволяет перейти к новой ступени в техническом диагностировании и мониторинге и осуществить качественный переход к достижению трёх основных целей: получению точного диагноза, прогнозу и оценке остаточного ресурса объектов мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мозгалевский А. В., Гаскаров Д. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). – М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.
2. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
3. Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства). – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
4. Мозгалевский А. В., Койда А. Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.
5. Надёжность и эффективность в технике: Справочник в десяти томах. Т. 9: Техническая диагностика / Под. ред. В. В. Клюева и П. П. Пархоменко. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
6. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York: Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
7. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
8. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. – СПб.: ПГУПС, 2016. – 171 с.
9. Балабанов И. В. Роль технической диагностики в цифровой трансформации // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 5. – С. 24–26.
10. Hall, C. Modern Signalling: 5th edition. – UK, Shepperton: Ian Allan Ltd, 2016, 144 p.
11. Theeg, G., Vlasenko, S. Railway Signalling & Interlocking: 2nd edition. – Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018, 458 p.
12. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 180 с.
13. Efanov, D. V. New Architecture of Monitoring Systems of Train Traffic Control Devices at Wayside Stations. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 276–280. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524788.
14. Heidmann, L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance. Signal+Draht, 2018, Iss. 9, pp. 70–75.
15. Fritz, C. Intelligent Point Machines. Signal+Draht, 2018, Vol. 110, Iss. 2, pp. 12–16.
16. Власенко С. В., Лунёв С. А., Соколов М. М. Централизованная и децентрализованная архитектура постов управления станциями // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 3. – С. 22–25.
17. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция современных систем управления на основе информационных технологий // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 5. – С. 20–23.
18. Belyi, A., Osadchy, G., Dolinskiy, K. Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 2018, pp. 176–183. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524743.
19. Ефанов Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 4. – С. 62–65.
20. Kassa, E., Skavhaug, A., Kaynia, A. M. Monitoring of Switches & Crossing (Torrnouts) and Tracks. Decision Support Tool for Rail Infrastructure, EU Project No. 636285, 41 p.





Integration of Control and Monitoring Systems



Efanov, Dmitry V., LLC LocoTech-Signal, Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Dmitry V. EFANOV

ABSTRACT

Stationary systems for monitoring devices of train traffic control are currently being implemented as external means of technical diagnostics and are located mainly centrally. The set of diagnostic parameters is scarce, and most measurements are indirect. This, ultimately, leads to low efficiency of monitoring systems, and the share of useful information from the total amount of data according to experts does not exceed 5 %. The development of monitoring technologies should follow the path of integration of measurement and control functions. The objective of the work is to draw the attention of the scientific community to the principles of monitoring and control systems implementation and the transition from their disunity to integration. Using methods of technical diagnostics and monitoring, it is proposed to switch to more advanced control systems with built-in means of troubleshooting and monitoring. The author has proposed the concept of integrated technical diagnostic tools with object controllers in the form of removable monitoring modules that transmit data

along dedicated diagnostic transmission paths. Depending on the geographical location of the controller (centralized at the control station or decentralized near the controlled object), a set of diagnostic parameters is determined and a choice of diagnostic information processing methods is carried out. With decentralized location of controllers, the diagnostic modules can transmit diagnostic information from external and distributed sensors at railway infrastructure facilities. Implementation of the presented concept will allow receiving a much larger amount of initial data for operation of monitoring systems, including transition to obtaining digital twins of railway infrastructure facilities. In a broader sense, when organizing monitoring systems, it is necessary to focus not only on railway automation, but also pay attention to other infrastructure facilities serviced by personnel of adjacent sectors. Since all objects function together, such an approach to organization of monitoring will improve quality of diagnosis and prognosis, as well as provide an opportunity to assess the residual resource of technical objects.

Keywords: transport, technical diagnostics, troubleshooting, monitoring, integration of measuring and control functions, diagnostic data, railway infrastructure facilities, digital twins.

*Information about the author:

Efanov, Dmitry V. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Direction of Systems of Monitoring and Diagnostics of LLC LocoTech-Signal, Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communication of Russian University of Transport, Moscow, Russia, TrES-4b@yandex.ru.

Article received 09.07.2019, accepted 02.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 146.

Background. Methods of technical diagnostics [1–6] are widely used at all stages of the life cycle of devices and automatic control systems. At the stage of development of a device or a system, for example, this is expressed in testing and verification of hardware and software components, in choosing and justifying a method for implementing subsystems of internal control and diagnostics, etc. [7]; at the operation stage, this is associated with periodic testing and functional diagnostics of blocks and components, monitoring the technical condition of external-connected devices, maintenance with the assistance of service personnel [8]. Without the use of embedded and external technical diagnostics and monitoring, it is impossible to implement the concept of a digital railway [9].

In recent years, built-in technical means of diagnosing and monitoring the state of engineering structures and units have become widespread in all industries and transport. In order to increase their fault tolerance, prevent accidents and disasters, specialized measuring devices are connected to the objects of diagnosis, transmitting the received diagnostic data via a wired (and, much less commonly, wireless) transmission path to concentration and processing devices. This makes it possible to interrogate the sensors of measuring devices with a certain predefined period and form diagnostic data arrays in the monitoring system software, as well as analyze the received data. Based on the analysis, informational messages are generated, trends of deterioration of operating parameters are identified, and service employees are alerted.

At the initial stage of developing a system of technical diagnostics and monitoring, a controlled object is examined, in some cases a mathematical model of this object is created, and connection points for sensors are selected to ensure the required completeness and depth of diagnosis. The volume of diagnostic parameters directly affects quality of the monitoring procedure, accuracy and timeliness of diagnosis and subsequent solution of the forecasting problem.

The *objective* of this work is to draw the attention of the scientific community to the principles of monitoring and control systems implementation and transition from their autonomy to integration. Using methods of

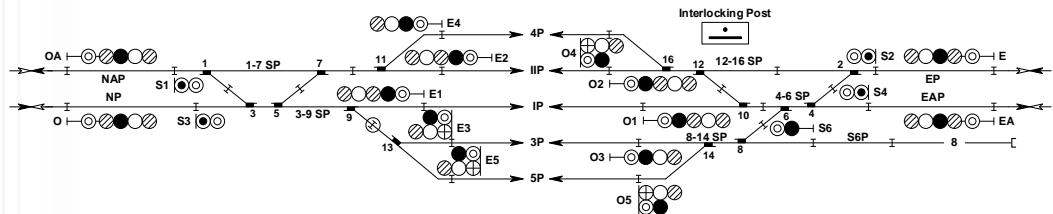
technical diagnostics and monitoring, it is proposed to switch to more advanced control systems with built-in means of technical diagnostics and monitoring. Directly in this article, a conceptual technical solution was proposed for improving technologies for diagnosing and monitoring devices and systems for controlling movement of trains taking into account their features [10; 11].

Monitoring of control devices

The set of devices and systems for controlling movement of trains includes various devices of railway automation and is intended to automate control procedures for technical means regulating movement of trains and, in particular, transferring data to on-board automation equipment of traction moving units. The main objects of control and monitoring for railway automation systems are floor technological facilities, the automation equipment, which is located in close proximity to the railway track and for some devices are even integrated with rails (we are talking about rail circuits). The main outdoor objects of railway automation include devices for automatic switch of arrows (turnout electric drives), devices for transmitting signals to the driver (traffic lights), devices for positioning moving units (rail circuits). According to statistics, these devices account for up to 80 % of failures of all railway automation devices [12, p. 4]. In addition, outdoor equipment of railway automation, as a rule, is devoid of built-in technical diagnostics, and the vast majority of its components are not redundant [11]. Failures of floor processing equipment have a very negative effect on the transportation process and can directly affect train traffic failures and irregularities in train schedules. Therefore, the main task of technical means of diagnosis and monitoring is to analyze the state of precisely the floor technological equipment of railway automation with fixing subcritical (pre-failure) conditions.

The number of outdoor technological facilities and their features are determined directly based on track development of the station and permissible technological operations at it. For example, Pic. 1 shows a schematic plan of an arbitrary intermediate station in a single-line version (such stations are widespread on railways) [13, p. 279].





Pic. 1. Schematic plan of an intermediate station [13, p. 279].

At the station in question, 18 track circuits (8 branched and 10 unbranched) are used to position the moving units. To move trains from one track to another, 15 turnouts equipped with turnout electric drives were stacked at the station. Movement is regulated by 14 train and 5 shunting traffic lights. These are the main objects of monitoring.

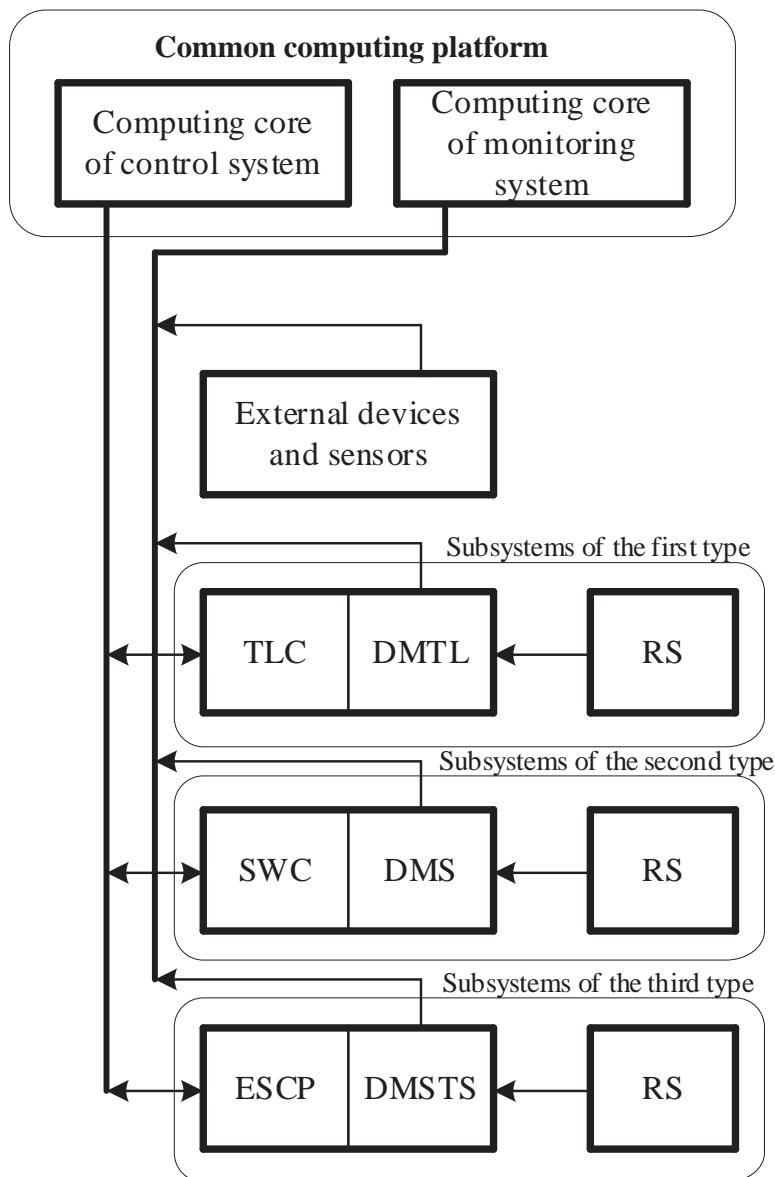
Outdoor technological equipment of railway automation in modern monitoring systems is diagnosed by indirect signs by the state of control devices located at the centralization station [8, p. 43]. Often, due to the peculiarities of cable system of railway automation, the set of diagnostic parameters is very limited and allows to evaluate only the general state of a group of devices, while it is extremely difficult to identify without expert judgment the state of a particular object or to attribute the obtained measured value to an object. For example, the control devices of the motors of switch electric drives are most often mounted on feeding devices and measurements are taken in the circuits of switches when they are subsequently moved at each of the necks. If part of switches can be moved in parallel, then the measurements could not be unambiguously associated only with a specific railway switch. In this case, phase currents and interphase voltages are measured in the circuits. In addition to this information the condition of the railway switch is judged by discrete data of its position and the state of control facilities. It should be noted that on the EU railways development of technical means follows the path of decentralization of diagnostic tools and their location in close proximity to the object of diagnosis and through expanding their functionality [14; 15]. For traffic lights, the current in the enable circuit of the permitting indication and discrete states are measured (often, only the permitted indication, and not a specific lens

kit). For track circuits discrete states (occupied/free, closed/not closed in the route, activation of cancellation or artificial disconnection mode), as well as a number of voltages: voltages on power supplies and track elements (relays) with phase-sensitive rail circuits; voltage at the outputs of generators, track receivers and track elements (relays) with tonal rail circuits. In addition, duration of code messages of the automatic locomotive signalling coding system is used as diagnostic parameters. The information on the state of the power supply system at the station, as well as on the state of insulation resistance of the cable system is added to the data obtained.

As practice shows, the presented set of data is not enough for an accurate diagnosis and subsequent prognosis. Let's consider an approach that expands completeness and depth of technical diagnosis, applicable in development of new interlocking systems.

Integration of diagnostic functions into object controllers

Control systems can be implemented according to various ideologies [16]. Currently, a single computing complex located at the centralization post or in a portable module are used. This computing complex is implemented using traditional relay technology, as well as using microelectronic and microprocessor components. To control peripheral objects in station automation systems, interface relays or object controllers are used (a more modern version). By geographic location relative to the computing complex, object controllers can be centralized or decentralized. With centralized location, object controllers are located in close proximity to the computer complex and communicate with peripheral control and control objects using a cable. With a decentralized location, object controllers can be placed in close proximity to peripheral



Designations

TLC – traffic lights controller;

SWC – switch controller

ESCP – equipment of sensors of control of moving units position;

DMTL – diagnostic module of traffic lights;

DMS – diagnostic module of switches;

DMSTS – diagnostic module of a switch-track section;

RS – remote sensors.

Note. All connections can be wired or wireless.

Pic. 2. Structure of organization of the monitoring system (author's design).



objects: in travel boxes and drawers, in traffic lights boxes or even in traffic lights heads. In this case, control orders and control information are also transmitted via the cable network to the object controllers. Power supply can be organized under both local and centralized mode. The implementation method depends on the chosen ideology and the specifics of the station itself. It is worth mentioning a promising, but not yet implemented cableless control method, when all object controllers are located in close proximity to the objects, are supplied with energy from local sources (both traditional and alternative), and data are transmitted to a single control complex via wireless communication [17, p. 23].

It is proposed that each object controller be equipped with an easily removable measuring module that provides diagnostic data that allow the most complete analysis of the technical condition of controlled objects. Data should be transmitted via dedicated diagnostic transmission channels – either cable (if there is a cable network) or wireless.

For the most effective monitoring process of controlled objects, the following parameters are required. For object controllers for control of switch motors, measurement of interfacial voltages, phase currents, insulation resistance of the cable relative to the ground (when using cable system) is required. For object controllers of traffic lights – voltage supply of the lamps of the lights of traffic lights (power supply of LED lamps) and currents in the power supply circuits, insulation resistance of the cable relative to the ground (when using cable system) should be controlled. If the traffic light controller is installed in the traffic light box or in the traffic light head, then for monitoring the geometric position of the mast (if any), the diagnostic device is equipped with a deflection angle monitoring sensor which is an inclinometer [18, p. 177]. The composition of data from the equipment of sensors for monitoring the position of mobile units is determined by the type of these sensors. For example, when using modern audio-frequency track circuits, control and monitoring are carried out using a generator, a filter, a receiver and relay (in the future it can be replaced by a microelectronic device or, in general, excluded from work). It is worth noting that the function of the rail circuit is precisely control of the position of rolling stock, and

not control; however, control is carried out from the generator by supplying current of a certain frequency and receiving it by the track receiver from the receiving side. Thus, currents and voltages at the outputs of generators, track receivers, filters and relays, as well as insulation resistance of the cable relative to the ground (when using cable system) will be required.

Additionally, for each controlled object, an analysis of such parameters as vibrational influences on the object and climatic operating conditions is required. For this purpose, a remote device based on accelerometers or an integrated sensor in the diagnostic module can be used, as well as each measuring module can be equipped with a temperature sensor. Either a weather station is installed at the monitoring object. Each object controller must also transmit data to its monitoring system about its status and the state of the power supply system.

Embedded diagnostic modules can also serve as primary data processing device on the state of objects of adjacent facilities [19, p. 65]. For example, the most important task is to control the mechanical and geometric parameters of the rail track and the railway switches themselves. To monitor them, remote sensors can be used located both on the internal elements of the devices and on external objects with a wired or a wireless interface (an example is the well-known solution for monitoring the geometry of the switch turnout [20]).

It should be added that the measuring module itself should be a means of obtaining many diagnostic parameters from one group of interconnected objects, some of which should be processed directly «on the spot», and some should be transmitted to the monitoring server.

The architecture of the technical diagnosis and monitoring system has the form shown in Pic. 2.

It should be noted that we are talking about monitoring railway automation equipment. However, to obtain a digital picture of the state of objects at the station, monitoring of geometric and physical parameters of such objects as the track superstructure, catenary, and artificial structures is required. In addition, the parameters of moving units can be taken into account and weighting the train

on the go per load on each axis of each wagon's bogie can be used. Thus, the global development path of technical diagnostic and monitoring systems consists in integrating many functions for measuring the operating parameters of not only railway automation facilities, but also railway infrastructure facilities.

Conclusion. The use of integrated technical diagnostics and monitoring tools allows to significantly expand the capabilities in the analysis of diagnostic data from railway automation facilities and make the transition to automation of forecasting and identifying precautionary conditions. It should be noted that, at the same time, the diagnostic devices for checking procedures themselves can be easily dismantled and replaced due to standardization and modularity of execution, while the diagnostic circuits are separate. This makes it possible to organize separate (independent of control systems) systems of technical diagnostics and monitoring, including the use of universal platforms for analysis of big data flows. Many diagnostic parameters can be expanded and supplemented to obtain a digital picture of the state of the station infrastructure facilities and record these data during operation. The data itself from a single platform can be transferred to automated workstations (stationary or mobile) of specialized technical personnel according to their competencies.

The implementation of the approach described in the article allows to move to a new stage in technical diagnosis and monitoring and to make a qualitative transition to achieving three main goals: obtaining an accurate diagnosis, forecasting and assessing the residual life of monitored objects.

REFERENCES

1. Mozgalevsky, A. V., Gaskarov, D. V. Technical diagnostics (continuous objects) [*Tekhnicheskaya diagnostika (nepryevnye ob'ekty)*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1975, 207 p.
2. Birger, I. A. Technical diagnostics [*Tekhnicheskaya diagnostika*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1978, 240 p.
3. Parkhomenko, P. P., Sogomonyan, E. S. Fundamentals of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms, hardware) [*Osnovy tekhnicheskoi diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva)*]. Moscow, Energoatomizdat publ., 1981, 320 p.
4. Mozgalevsky, A. V., Koida, A. N. Issues of design of diagnostic systems [*Voprosy proektirovaniya system diagnostirovaniya*]. Leningrad, Energoatomizdat publ., 1985, 112 p.
5. Reliability and efficiency in technology. A handbook in 10 volumes. Vol. 9. Technical diagnostics [*Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike. Spravochnik v 10 tomakh. T. 9: Tekhnicheskaya diagnostika*]. Ed. by V. V. Klyuev and P. P. Parkhomenko. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987, 352 p.
6. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York: Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
7. Gavzov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, V. V. Methods to ensure security of discrete systems [*Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnykh sistem*]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1994, Iss. 8, pp. 3–50.
8. Efanova, D. V. Functional control and monitoring of facilities of railway automation and telemechanics: monograph [*Funktionalniy kontrol' i monitoring ustroistv zhelezodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki: monografiya*]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2016, 171 p.
9. Balabanov, I. V. The role of technical diagnostics in technical transformation [*Rol' tekhnicheskoi diagnostiki v tsifrovoy transformatsii*]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2019, Iss. 5, pp. 24–26.
10. Hall, C. Modern Signalling: 5th edition. UK, Shepperton: Ian Allan Ltd, 2016, 144 p.
11. Theeg, G., Vlasenko, S. Railway Signalling & Interlocking: 2nd Edition. Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018, 458 p.
12. Efanova, D. V., Osadchy, G. V. Microprocessor system of dispatch control of railway automation and remote control [*Mikroprotsessornaya sistema dispatcherskogo kontrolya ustroistv zhelezodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki*]. St. Petersburg, Publishing house «Lan», 2018, 180 p.
13. Efanova, D. V. New Architecture of Monitoring Systems of Train Traffic Control Devices at Wayside Stations. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 276–280. DOI: 10.1109/EWDTs.2018.8524788.
14. Heidmann, L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance. *Signal+Draht*, 2018, Iss. 9, pp. 70–75.
15. Fritz, C. Intelligent Point Machines. *Signal+Draht*, 2018, Vol. 110, Iss. 2, pp. 12–16.
16. Vlasenko, S. V., Luney, S. A., Sokolov, M. M. Centralized and decentralized architecture of station control posts [*Tsentralizovannaya i detsentralizovannaya arkhitektura postov upravleniya santsiyami*]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2019, Iss. 3, pp. 22–25.
17. Efanova, D. V., Osadchy, G. V. Concept of modern control systems based on information technologies [*Konsepsiya sovremennykh sistem upravleniya na osnove informatsionnykh tekhnologii*]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2018, Iss. 5, pp. 20–23.
18. Belyi, A., Osadchy, G., Dolinskij, K. Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2018), Kazan, Russia, September 2018, pp. 176–183. DOI: 10.1109/EWDTs.2018.8524743.
19. Efanova, D. V. Integration of continuous monitoring systems and traffic control on railway transport [*Integratsiya sistem nepryevnogo monitoringu i upravleniya dvizheniem na zhelezodorozhnom transporte*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2017, Iss. 4, pp. 62–65.
20. Kassa, E., Skavhaug, A., Kaynia, A. M. Monitoring of Switches & Crossing (Tornouts) and Tracks. Decision Support Tool for Rail Infrastructure, EU Project No. 636285, 41 p.



Оперативное нормирование энергоресурсов на тягу поездов с использованием метода искусственных нейронных сетей



Сергей МАЛАХОВ



Михаил КАПУСТИН

Малахов Сергей Валерьевич – Российской университет транспорта, Москва, Россия.
Капустин Михаил Юрьевич – Российской университет транспорта, Москва, Россия*.

Задача ресурсосбережения является актуальной для всех транспортных компаний, и поисками путей её решения занимаются многие мировые сообщества учёных и инженеров. Мировые железнодорожные компании и особенно такие крупные, как «Российские железные дороги», являются большими потребителями энергоресурсов, поэтому экономия этих ресурсов – целевая задача при снижении операционных затрат. Одним из способов достижения поставленной цели может быть применение системы оптимального нормирования энергии на тягу каждого поезда – система оперативного нормирования. Этот способ основывается на моделировании процесса движения за счёт применения метода теории оптимального управления – динамического программирования. В современных условиях развития техники и технологий стала возможна разработка таких систем оперативного нормирования, наделённых важными свойствами: высокая производительность, много задачность, точность решения, простота использования и обслуживания. Эти требования накладывают определённые ограничения на архитектуру системы оператив-

ного нормирования. Типовая архитектура системы должна строиться вокруг централизованного узла, который будет выступать в роли решателя и хранилища, узлы для ввода и вывода информации могут быть географически разделены. Метод динамического программирования может быть усовершенствован за счёт использования его в процессе обучения искусственных нейросетей, которые будут формировать не только априорные оценки расхода энергии на тягу, но и апостериорную оценку управления поездом (машинистом или системой автобедения). Также использование искусственных нейросетей позволит непрерывно совершенствовать метод за счёт обучения на накопленном объёме данных реальных поездок, что позволит уточнять нормы расхода энергии и в дальнейшем качественно планировать затраты. Прототип системы оперативного нормирования разработан на кафедре «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта, и полученные на нём результаты позволяют утверждать, что выбранный подход к решению проблемы энергосбережения выбран верно.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, тяговые расчёты, оптимизация тяговых расчётов, нормирование расходов энергоресурсов на тягу поездов, искусственные нейронные сети, автоматические системы управления транспортными средствами, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения.

*Информация об авторах:

Малахов Сергей Валерьевич – ассистент кафедры тягового подвижного состава Российской открытой академии транспорта Российской университета транспорта, Москва, Россия, needhelps@mail.ru.

Капустин Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры тягового подвижного состава, Российской открытой академии транспорта Российской университета транспорта, член Научно-технического совета ОАО «РЖД», Москва, Россия, roatuour@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 04.12.2019, актуализирована 20.01.2020, принята к публикации 27.02.2020.

For the English text of the article please see p. 164.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с долгосрочными планами развития холдинга «Российские железные дороги» требуется сократить удельный расход энергоресурсов на тягу поездов [1]. Эта задача является актуальной для всех мировых железнодорожных компаний, и на практике идёт непрерывный поиск решения проблемы экономии энергоресурсов и оптимального ведения поезда [1–7]. Проблема рассматривается на разных уровнях: для единичного поезда [5], для групп поездов, следующих друг за другом [1], на уровне управления движением поездов большого количества поездов [4]. Отечественные учёные и инженеры также не оставляют без внимания указанную проблему, что отражено в практическом использовании устройств и технологий ресурсосбережения [8–10] и работах [11–13]. Использование тяговых расчётов для оперативного нормирования энергоресурсов на тягу поездов с целью снижения расхода энергии является одним из практических применений прикладных методов теории тяги. Но существующие методики тяговых расчётов и их реализации, разработанные на основании текущих правил тяговых расчётов [14], не в полной мере не соответствуют требованиям систем оперативного нормирования. Поэтому необходимо искать новые подходы к решению задачи экономии энергозатрат на тягу поездов.

Под оперативным нормированием энергозатрат будем понимать определение минимального обоснованного расхода энергозатрат на движение поезда по участку. Основными требованиями к системам оперативного нормирования являются: высокая производительность, многозадачность, точность решения, простота использования и обслуживания, высокая доступность. Так же такая система должна выполнять не только оценку расхода энергии на поездку априори, но и делать оценку поездки апостериори с указанием ошибок системы автовордения или машиниста.

Для реализации такой системы оперативного нормирования энергозатрат на тягу поездов целесообразно применять комплекс программ, который позволит эффективно использовать вычислительные мощности компьютеров. Это объясняется тем, что точные оптимальные решения (обусловлено требованием точности), полученные числен-

ным методом динамического программирования [12], являются достаточно затратными, с точки зрения вычислительной мощности процессора. Существуют методы нахождения оптимальной траектории движения на основе принципа максимума Понтрягина [11], но такие реализации имеют серьёзные ограничения на функциональные зависимости.

АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА ОПЕРАТИВНОГО НОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Авторами разработана вычислительно эффективная реализация метода динамического программирования для однокритериального или многокритериального поиска оптимума. Потребности программы в оперативной памяти на один тяговый расчёт могут быть оценены по формуле:

$$N_{tc} = 5 \cdot \frac{S}{\Delta_s} \cdot \frac{v_{max}}{\Delta_v} \cdot N_u,$$

где S – длина пути;

Δ_s – величина шага дискретизации по координате;

v_{max} – максимальная скорость движения;

Δ_v – величина шага дискретизации по скорости;

N_u – число управлений.

Для типового тягового плача в 200 км на поездку потребуется только оперативной памяти около 4 ГБ, что при многозадачном параллельном расчёте потребует серьёзных вычислительных мощностей, например, для 1000 одновременных расчётов потребуется 4 ГБ оперативной памяти. Поэтому, чтобы соответствовать требованиям высокой производительности, многозадачности, требуется использовать подход разделения задач.

Программный комплекс состоит из: программ подготовки начальной информации,

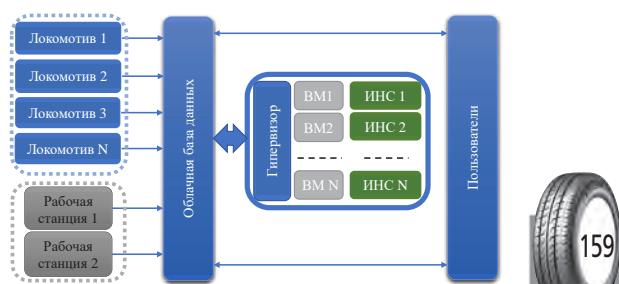


Рис. 1. Типовая архитектура комплекса оперативного нормирования энергоресурсов [автор С. В. Малахов].

Таблица 1

Тяговая характеристика электровоза ВЛ11 для последовательно-параллельного соединения ТЭД и полного возбуждения

Скорость, км/ч	Сила тяги, кН	Скорость, км/ч	Сила тяги, кН	Скорость, км/ч	Сила тяги, кН
21,7	557	28,0	239	36,1	106
22,3	513	28,9	217	37,0	100
22,9	468	29,5	196	38,3	93,1
23,5	436	30,4	177	39,8	84,2
24,1	399	31,3	164	41,0	78,3
25,0	355	31,9	154	41,9	75,3
25,9	309	33,1	139	42,8	70,9
26,5	285	34,0	124	43,7	68,0
27,1	261	35,2	114	44,9	65,0

Автор С. В. Малахов.

расчёты программ, программ визуализации (рис. 1).

Разделение задач позволяет независимо выполнять: ввод и актуализацию информации об условиях движения и ограничениях, расчёты, обработку результатов. Эти задачи выполняются параллельно, что требует небольшого количества операторов, которые формируют задание на расчёт и обеспечивают ввод начальной информации. Так как предполагается, что потребителем информации является локомотивное депо, то результаты работы программного комплекса должны быть доступны непосредственно в конкретном депо. Однако каждое локомотивное депо имеет ограниченное количество участков обслуживания, определённые серии локомотивов, поэтому задачу подготовки и актуализации информации о поездке необходимо решать на более высоком уровне, чем отдельно взятое депо.

ПОДГОТОВКА И ВВОД НАЧАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Операторы, решающие задачу подготовки и актуализации информации, должны изначально наполнить базу данных требуемой начальной информацией (тяговые и токовые характеристики, профиль и план пути, погодные условия и т.д.), а затем проводить актуализацию этой информации, например, ограничений по скорости, погодных условий и т.д.

В качестве программы подготовки начальной информации для расчёта целесообразно использовать приложение для работы с электронными таблицами из готовых свободных офисных пакетов, например, LibreOffice Calc на операционной системе Linux, которое является открытым

программным обеспечением. Так как обмен данными между частями комплекса проходят через базу данных (рис. 1), то на этапе подготовки данных следует использовать готовое программное обеспечение, имеющее версии для всех распространённых операционных систем.

Профиль и план пути может быть введён в электронную таблицу с использованием возможностей импорта, например, в базе данных MySQL существует оператор «Load Data Infile», который может напрямую загружать данные из файла в формате текста с разделителями.

Ввод функциональных зависимостей, выраженных в табличных данных из [14], также возможно реализовать в LibreOffice Calc или Microsoft Excel. Рассмотрим пример получения функциональной зависимости тяговой характеристики ВЛ11, заданной в табличном виде (табл. 1).

Данные вносятся в электронную таблицу, затем по ним строят диаграмму, добавляют линию тренда, которая является регрессионной. Для лучшего приближения выбираем полиномиальную зависимость не менее седьмого порядка. Результат выполнения процедуры представлен на рис. 2. Значение коэффициента детерминации показывает достаточно хорошее приближение. Параметры аппроксимирующей функции могут подбираться для данных индивидуально. Коэффициенты уравнения с рис. 2 могут быть перенесены в базу данных путём вставки в заранее обусловленном формате в таблицу базы данных. Таким же образом вводятся и остальные функциональные зависимости локомотива и состава.

Программы в составе комплекса должны взаимодействовать друг с другом посред-



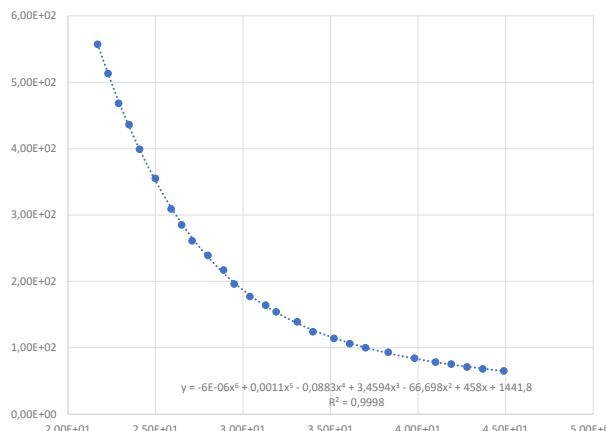


Рис. 2. Пример аппроксимации тяговой характеристики электровоза ВЛ11.
[автор С. В. Малахов].

ством базы данных. Это обусловлено тем, что имеются готовые инструменты для просмотра и правки данных, для эффективного многопользовательского доступа к данным. База данных позволяет эффективно манипулировать данными в рамках реляционной алгебры или пользовательских скриптов и обеспечивает надёжное структурированное хранение данных, в том числе в режиме кластеризации или шардинга. В качестве такой базы данных использованы MySQL (или аналоги MariaDB, Percona Server) и PostgreSQL. Это свободные системы управления базами данных, которые используются в режиме совместного доступа по сети. Для локального тестирования программы используется локальная база данных SQLite, которая также обеспечивает много-пользовательский доступ на локальном уровне. В случае реального использования системы с большим количеством удалённых пользователей целесообразно использовать одну из сетевых реляционных баз данных с размещением на выделенном сервере в облаке. Облако может быть частным в виде собственного сервера или кластера серверов с программным обеспечением на основе операционной системы Linux (OpenStack, Apache Cloudstack) или общедоступным (платформа облачных сервисов от Mail.Ru Group, платформа Microsoft Azure, платформа Amazon Web Services и т.д.).

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ НОРМЫ РАСХОДА ЭНЕРГИИ

Блок автоматического тягового расчёта также должен быть размещён в облачной среде. Для такого требования есть несколько причин:

- **высокая производительность.** В качестве универсального метода оптимизации выбрано динамическое программирование, так как позволяет реализовать детальную модель поезда без ограничений на зависимости между переменными. Динамическое программирование предполагает несколько этапов: разбиение задачи на более простые – матрица возможных состояний поезда, получение и анализ возможных траекторий движения поезда, изменение условий, пересчёт матрицы возможных состояний или пересборка траекторий и т.д. Этапы алгоритма требуют частого интегрирования уравнения движения поезда с учётом многих ограничений (в зависимости от сложности модели), которые могут быть заданы в виде дифференциальных уравнений или даже в виде систем дифференциальных уравнений (в случае учёта динамических сил в поезде). Для сокращения времени расчёта должны применяться серверы с несколькими многоядерными процессорами, их число должно позволять выдерживать нагрузку от потребителей в случае роста запросов на расчёт. С учётом парка грузовых локомотивов (порядка 7500) можно оценить максимальное количество поездов и соответственно количество запросов на расчёт, кратное количеству поездов. Поэтому требуется максимально масштабируемая система, что обеспечивается облачными решениями;

- **требования к объёму оперативной памяти.** Динамическое программирование является поисковым алгоритмом направленного перебора, который для определения решения осуществляет неполный перебор вариантов траекторий, количество которых ограничивается алгоритмически по целому ряду усло-



Результаты расчётов

Расчёт	Расход энергии (метод Беллмана), кВт·ч	Расход энергии (метод ИНС), кВт·ч	Время хода (метод Беллмана), мин	Время хода (метод ИНС), мин
1	2723	2774	61,54	61,33
2	2810	2852	61,61	61,72
3	2858	2860	61,66	61,65
4	2443	2479	61,39	61,47
5	2597	2423	61,66	61,71

Автор С. В. Малахов.

вий. Невозможные варианты перебора отсеиваются на каждом шаге, поэтому не осуществляется полный перебор. Но даже в этом случае при малой величине шага по координате и большой длине тягового плеча количество возможных траекторий составляет число 10^{22} и более. Использование облачной среды позволяет запустить процесс решения внутри виртуальной машины, ресурсами которой можно гибко управлять;

- **сетевой доступ.** Высокие требования к аппаратному обеспечению накладывают ограничения на сценарии использования вычислительной программы для большого количества потребителей. При наличии быстрых каналов связи нет необходимости размещать оборудование рядом с конечным пользователем. Поэтому облачное применение программы позволяет сэкономить финансовые ресурсы заказчика и консолидировать вычислительную нагрузку.

Прорывным решением по сравнению с классическими методами является метод, позволяющий разделить процессы реализации и получения решения. Современный технический уровень и математический аппарат позволяют в полной мере использовать методы нелинейной аппроксимации многомерных функций – искусственные нейронные сети (ИНС). Также актуализация требуется только для классических методов оптимизации, таких как принцип максимума Понтрягина или принцип оптимальности Беллмана, которые не предполагают обучение (повышение адекватности) модели. Такие методы чувствительны к точности начальной информации. В случае если изменяются характеристики подвижного состава, например, из-за износа оборудования, полученное оптимальное решение не претендует на точность. В отличие от классических методов применение «чёрного ящика» – ИНС – позволяет обеспечить непрерывное обучение и повышение точности норм в зависимости

от количества обучающей информации. Стечением времени объём обучающей информации будет только возрастать, что позволит обеспечить непрерывное улучшение результата без применения отдельных дополнительных методик или технологий.

Необходимость в применении таких структур возникла по причине основных недостатков классических методов: длительное получение оптимального решения, потребность в специальном повышении адекватности начальных данных, априорная модель поезда, не учитывающая конкретные особенности подвижного состава. Для метода искусственных нейронных сетей потребности в памяти оказываются существенное ограничение только в режиме обучения, которое может производиться параллельно с работой нейросети и разделено во времени и пространстве (например, другим центром обработки данных), зависит от структуры сети и размера выборок.

В качестве универсального кроссплатформенного средства визуализации результатов расчётов выступает интерфейс веб-приложения, альтернативным вариантом может быть использование отдельного десктопного приложения. Для работы с разработанным на кафедре «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта комплексом было создано приложение с подключением к базе данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приложение посредством прямого подключения к базе данных извлекает результаты расчётов и отображает на дисплее пользователя (машиниста). В прототипированной версии, реализованной на кафедре «Тяговый подвижной состав», выполняется только поиск по уникальному идентификатору поездки для того, чтобы показать реализуемость предлагаемого в работе решения. Если используется сетевая база данных, то поддерживается

многопользовательский доступ к нормам в сервере базы данных.

Для проверки работы комплекса выполнялись нормировочные варианты расчёты для различных участков пути с различными условиями движения и параметрами поезда, обучение проводилось на ограниченном числе модельных поездок.

Для базового расчёта выбирался произвольный участок профиля длиной около 50 километров, а поезд состоял из локомотива ВЛ11 и 50 полувиагонов, полностью и неполностью загруженных. Проводилось десять вариантов расчётов (табл. 2), имитирующих различные ситуации с пропуском поезда на отдельных участках пути за изменения временных ограничений скорости, которые выполнены с различными условиями движения. С целью снижения потребления памяти и ускорения расчётов не приводятся кривые движения в графическом виде.

Результаты расчётов показывают, что время хода поезда выдерживается достаточно точно и разброс этого параметра менее минуты. Цифры, полученные одним и другим методом, являются достаточно близкими, что подтверждает эквивалентность решений. Результаты расчётов передаются машинисту поезда для выполнения мотивационной функции. По окончании поездки по фактическим условиям движения происходит корректировка оперативной нормы и проводится анализ поездки на соответствие оптимальному плану движения. В случае сильного отклонения нормы и фактического результата поездка добавляется в обучающую выборку для переобучения ИНС.

Такой подход является только первым этапом для создания современной беспилотной единой системы управления перспективными локомотивами [8]. На втором этапе обученная ИНС может формировать нормы и проводить анализ движения на борту локомотива непрерывно с постоянным обучением в режиме подкрепления, то есть без необходимости в учителе (не требуется мощный стационарный компьютер). На третьем этапе следует переходить к управлению поездом на основе ИНС при сохранении контролирующего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на

перспективу до 2030 года. [Электронный ресурс]: http://www.rzd-expo.ru/innovation/resource_saving/energeticheskay_efektivnost/enstrat2030.pdf. Доступ 19.12.2019.

2. Huang, Jin; Deng, Yangdong; Yang, Qinwen; Sun, Jiaguang. An Energy-Efficient Train Control Framework for Smart Railway Transportation. IEEE Transactions on Computers, 2015, Vol. 65, Iss. 5, pp. 1407–1417. DOI: 10.1109/TC.2015.2500565.

3. Cismaru, D. C., Drighiciu, M. A., Nicola, D. A. SIMULINK Model for Study of Energy Efficient Train Control. Proceedings 12th International Conference on Applied and Theoretical Electricity, 2014. DOI: 10.1109/ICATE.2014.6972685.

4. Miyatake, M., Ko, H. Optimization of Train Speed Profile for Minimum Energy Consumption. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, May 2010, Vol. 5, Iss. 3, pp. 263–269. DOI: 10.1002/tee.20528.

5. Lu, Shaofeng; Hillmansen, S.; Ho, Tin; Roberts, C. Single-Train Trajectory Optimization. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, June 2013, Vol. 14, Iss. 2, pp. 743–750. DOI: 10.1109/TITS.2012.2234118.

6. Su, Shuai; Tang, Tao; Roberts, C. A Cooperative Train Control Model for Energy Saving. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, April 2015, Vol. 16, Iss. 2, pp. 622–631. DOI: 10.1109/ICIRT.2013.6696259.

7. Yang, Li; Lidén, T.; Leander, P. Achieving energy-efficiency and on-time performance with Driver Advisory Systems. IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation Proceedings, August 2013, pp. 13–18. DOI: 10.1109/ICIRT.2013.6696260.

8. Истомин С. Г. Определение непроизводительных потерь электроэнергии электроподвижным составом с использованием бортовых информационно-измерительных комплексов учёта электроэнергии // Вестник РГУПС. – Ростов-на-Дону. – 2015. – № 2 (58). – С. 19–24.

9. Мутинштейн Л. А. Современная методология технического нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов. – М.: ВМГ-Принт, 2014. – 144 с.

10. Черемисин В. Т., Ушаков С. Ю., Истомин С. Г. Контроль нерационального использования электрической энергии на тягу поездов с применением бортовых информационно-измерительных комплексов учёта электроэнергии // Известия Транссиба. – 2015. – № 1 (21). – С. 69–74.

11. Юренко К. И. Принцип максимума Л. С. Понтрягина в задаче оптимального управления движением поезда // Вестник ВЭлНИИ. – 2018. – № 1–2(79). – С. 147–161.

12. Юренко К. И. Расчёт энергооптимальных режимов движения перспективного подвижного состава методом динамического программирования // Известия вузов. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С. 78–82.

13. Юренко К. И., Фандеев Е. И. Принципы построения и имитационное моделирование систем автовордения электроподвижного состава // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 08. – С. 88–102.

14. Правила тяговых расчётов для поездной работы. Нормативное производственно-практическое издание. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 867р от 12.05.2016 г. – М.: ОАО «РЖД», 2016. – 515 с.

15. Капустин М. Ю., Малахов С. В. К вопросу об унификации и стандартизации локомотивных микропроцессорных систем // Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век: Т. 2: Материалы VI Международной научно-техн. конференции, Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2018 г. – СПб.: ПГУПС, 2018. – С. 67–74.





Operational Rationing of Energy Resources for Train Traction using the Method of Artificial Neural Networks



Sergey V. MALAKHOV



Mikhail Yu. KAPUSTIN

Malakhov, Sergey V., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

Kapustin, Mikhail Yu., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The task of resource saving is relevant for all transport companies and many world communities of scientists and engineers are engaged in search for ways to solve it. World railway companies, and especially large ones such as Russian Railways, are large consumers of energy resources and the problem of saving is the most urgent for them. One of directions for solving this task can be the use of an optimal energy regulation system for traction of each train – an operational rationing system. Such a task can only be solved by modelling the process of movement through the dynamic programming method. In modern conditions of development of engineering and technology, it has become possible to develop such operational standardization systems endowed with important properties: high performance, multitasking, solution accuracy, ease of use and maintenance. These requirements impose certain restrictions on the architecture of the operational

rationing system. Typical system architecture should be built around a centralized node, which will act as a solver and storage, nodes for input and output of information can be geographically separated. The method of dynamic programming can be improved by using it in the process of training artificial neural networks, which will form not only *a priori* estimates of energy consumption for traction, but also *a posteriori* estimate of train control (by a train driver or auto-driving system). Also, the use of artificial neural networks will allow us to continuously improve the method due to training using the accumulated amount of data from real trips, which will allow us to clarify the norms of energy consumption and to plan our costs in the future. The prototype of the operational standardization system was developed at the department of traction rolling stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport and the results obtained allow us to state that the chosen approach to solving the problem of energy saving has been chosen correctly.

Keywords: transport, railway, traction calculations, optimization of traction calculations, rationing of energy costs for train traction, artificial neural networks, automatic vehicle control systems, traction properties of a locomotive, regulation of traction and braking forces.

*Information about the authors:

Malakhov, Sergey V. – Assistant Lecturer at the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, needhelps@mail.ru.

Kapustin, Mikhail Yu. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, member of the Scientific and Technical Council of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, roatuour@bk.ru.

Article received 04.12.2019, revised 20.01.2020, accepted 27.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 158.

Background. In accordance with long-term development plans of the Russian Railways holding company, it is required to reduce the specific energy consumption for train traction [1]. This task is relevant for all world railway companies and in practice there is a continuous search for a solution to the problem of energy saving and optimal train driving [1–7]. The problem is considered at different levels: for a single train [5], for groups of trains following each other [1], at the level of control of movement of a large number of trains [4]. Domestic scientists and engineers also do not disregard this problem, which is reflected in works on practical use of devices and technologies for resource saving [8–10], and other works [11–13]. The use of traction calculations for operational regulation of energy resources for train traction in order to reduce energy consumption is one of practical applications of applied methods of traction theory. But the existing methods of traction calculations and their implementation, developed on the basis of current rules of traction calculations [14], do not fully comply with the requirements of operational standardization systems. Therefore, it is necessary to look for new approaches to solving the problem of saving energy costs for train traction.

Operational standardization of energy consumption means determination of minimum reasonable energy consumption for train movement through a section. The main requirements for operational standardization systems are: high performance, multitasking, solution accuracy, ease of use and maintenance, high availability. Also, such a system should not

only evaluate the energy consumption for a trip a priori, but also make an a posteriori trip estimate indicating the errors of the auto-driving system or the driver.

To implement such a system of operational regulation of energy consumption for train traction, it is advisable to use a set of programs that will effectively use the computing power of computers. This is because of the fact that exact optimal solutions (due to the requirement of accuracy) obtained by the numerical method of dynamic programming [12] are quite expensive in terms of the processing power of the processor. There are methods for finding the optimal trajectory of motion based on Pontryagin maximum principle [11], but such implementations have serious limitations on functional dependencies.

Results.

Architecture of the complex of operational regulation of energy resources

The authors have developed a computationally effective implementation of the dynamic programming method for single-criterion or multi-criteria optimum search. The needs of the program in RAM for one traction calculation can be estimated by the formula:

$$N_{rc} = 5 \cdot \frac{S}{\Delta_s} \cdot \frac{v_{max}}{\Delta_v} \cdot N_U, \quad (1)$$

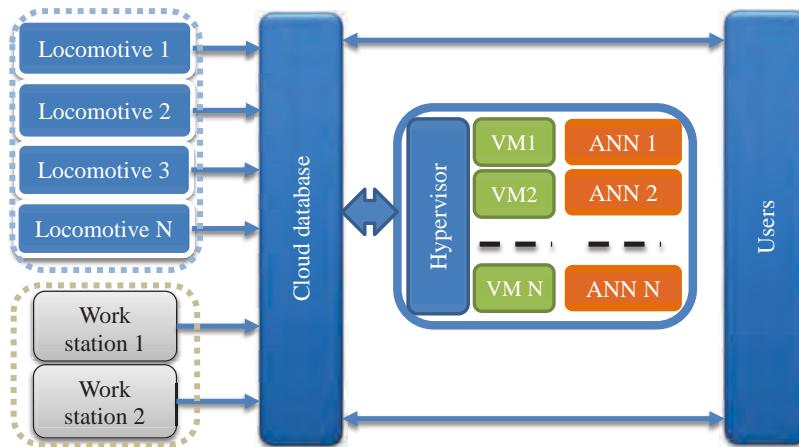
where S – length of the track;

Δ_s – value of the sampling step along the coordinate;

v_{max} – maximum speed;

Δ_v – value of the sampling step for speed;

N_U – number of controls.



Pic. 1. Typical architecture of the complex of operational regulation of energy resources [authored by S. V. Malakhov].



**Table 1**

Traction characteristics of VL11 electric locomotive for series-parallel connection of TED and complete excitation [authored by S. V. Malakhov].

Speed, km/h	Traction force, kN	Speed, km/h	Traction force, kN	Speed, km/h	Traction force, kN
21,7	557	28,0	239	36,1	106
22,3	513	28,9	217	37,0	100
22,9	468	29,5	196	38,3	93,1
23,5	436	30,4	177	39,8	84,2
24,1	399	31,3	164	41,0	78,3
25,0	355	31,9	154	41,9	75,3
25,9	309	33,1	139	42,8	70,9
26,5	285	34,0	124	43,7	68,0
27,1	261	35,2	114	44,9	65,0

For a typical traction arm of 200 km, only 4 GB of RAM will be required for a trip, which in case of multitask parallel calculation will require serious computing power, for example, for 1000 simultaneous calculations, 4 PB of RAM will be required. Therefore, in order to meet the requirements of high performance, multitasking, it is required to use the task separation approach.

The software package consists of: initial information preparation programs, calculation programs, visualization programs (Pic. 1).

Separation of tasks allows to independently perform: input and updating information on traffic conditions and restrictions, calculations, processing of results. These tasks are performed in parallel, which requires a small number of operators which form the task for calculation and provide input of initial information. Since it is assumed that the consumer of information is a locomotive depot, the results of the software package should be available directly in a particular depot. However, each locomotive depot has a limited number of service areas, and operates certain series of locomotives, so the task of preparing and updating trip information must be solved at a higher level than a single depot.

Preparation and input of initial information

Operators who solve the problem of preparing and updating information must initially fill the database with the required initial information (traction and current characteristics, profile and route plan, weather conditions, etc.), and then update this information, for example, speed limits, weather conditions etc.

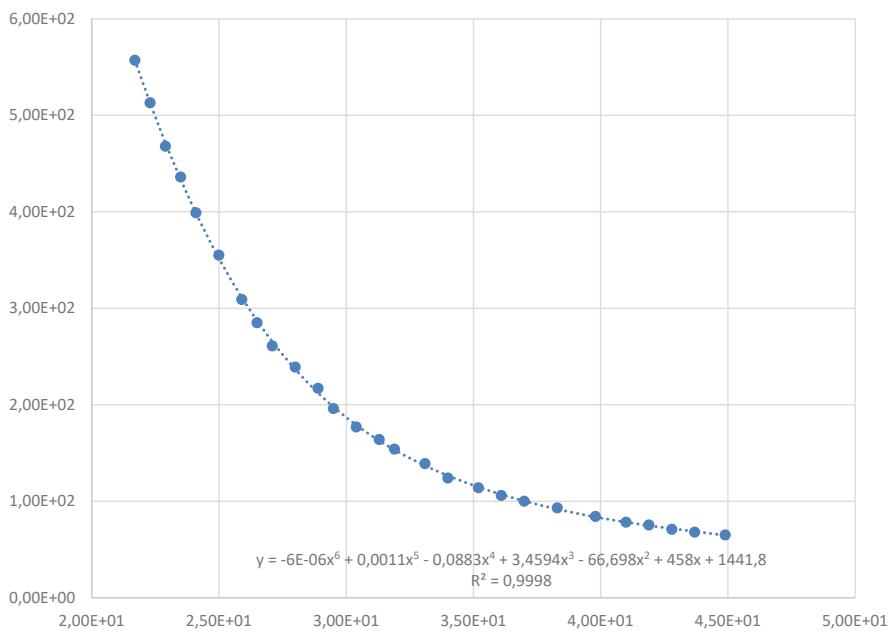
It is advisable to use an application for working with spreadsheets from ready-made free office packages, for example, LibreOffice Calc on Linux operating system, which is open source software, as a program for preparing initial information for calculation. Since the data exchange between the parts of the complex passes through the database (Pic. 1), at the data preparation stage, ready-made software that has versions for all common operating systems should be used.

A profile and a track plan can be entered into a spreadsheet using import options, for example, in MySQL database there is a Load Data Infile statement that can directly load data from a file in delimited text format.

Functional dependencies expressed in tabular data from [14] can also be implemented in LibreOffice Calc or Microsoft Excel. Let's consider an example of obtaining a functional dependence of traction characteristics of VL11, given in tabular form (Table 1).

Data is entered into a spreadsheet, then a diagram is built, a trend line is added, which is regression. For a better approximation, we choose a polynomial dependence of at least seventh order. The result of the procedure is shown in Pic. 2. The value of the coefficient of determination shows a fairly good approximation. The parameters of the approximating function can be selected individually for data. The coefficients of the equation in Pic. 2 can be transferred to the database by pasting it in a predetermined format into the database table. The remaining functional dependencies of the locomotive and the train are introduced in the same way.

Programs in the complex should interact with each other through a database. This is due to the fact that there are ready-made tools for



Pic. 2. Example of approximation of traction characteristics of the electric locomotive VL11 [authored by S. V. Malakhov].

viewing and editing data, for effective multi-user access to data. The database allows to effectively manipulate data within the framework of relational algebra or user scripts and provides reliable structured data storage, including in clustering or sharding mode. MySQL (or analogues of MariaDB, Percona Server) and PostgreSQL are used as such a database. These are free database management systems that are used in network sharing mode. For local testing of the program, the local SQLite database is used, which also provides multi-user access at the local level. In case of real use of a system with a large number of remote users, it is advisable to use one of the network relational databases located on a dedicated server in the cloud. The cloud can be private in the form of its own server or cluster of servers with software based on Linux operating system (OpenStack, Apache Cloudstack) or public (the cloud services platform from Mail.Ru Group, Microsoft Azure platform, Amazon Web Services platform, etc.).

Search for optimal power consumption rate

The automatic traction calculation unit must also be located in the cloud. There are several reasons for this requirement:

- **high performance.** Dynamic programming is chosen as a universal optimization method, since it allows to implement a detailed train

model without restrictions on the dependencies between variables. Dynamic programming involves several stages: dividing the task into simpler ones – a matrix of possible train states, obtaining and analyzing possible train trajectories, changing conditions, recalculating a matrix of possible states or rebuilding trajectories, etc. The stages of the algorithm require frequent integration of the equation of train motion, taking into account many constraints (depending on complexity of the model), which can be specified in the form of differential equations or even in the form of systems of differential equations (if dynamic forces in the train are taken into account). To reduce calculation time, servers with several multi-core processors should be used, their number should allow to withstand the load from consumers in case of growth in requests for calculation. Taking into account the fleet of cargo locomotives (about 7500), we can estimate the maximum number of trains and, accordingly, the number of requests for calculation multiple of the number of trains. Therefore, a maximally scalable system is required, which is provided by a cloud solution;

• requirements for the amount of RAM.

Dynamic programming is a search algorithm of directional search, which, to determine the solution, performs incomplete search of



Table 2

Calculation results [authored by S. V. Malakhov]

Calculation	Power consumption (Bellman method), kV·h	Power consumption (ANN method), kV·h	Running time (Bellman method), min	Running time (ANN method), min
1	2723	2774	61,54	61,33
2	2810	2852	61,61	61,72
3	2858	2860	61,66	61,65
4	2443	2479	61,39	61,47
5	2597	2423	61,66	61,71

variant paths, the number of which is algorithmically limited by a number of conditions. Impossible enumeration options are eliminated at each step, so a complete enumeration is not performed. But even in this case, with a small step along the coordinate and a large length of the traction arm, the number of possible trajectories is 10^{22} or more. Using a cloud environment allows to start the decision process inside a virtual machine, the resources of which can be flexibly managed;

- **network access.** High hardware requirements impose restrictions on the use of a computing program for a large number of consumers. If there are fast communication channels, there is no need to place equipment near the end user. Therefore, the cloud application of the program will save the financial resources of the customer and consolidate the computing load.

A breakthrough solution compared to classical methods is a method that allows to separate the processes of implementation and obtaining solutions. The modern technical level and mathematical apparatus make it possible to make full use of the methods of nonlinear approximation of multidimensional functions offered by artificial neural networks (ANN). Updating is also required only for classical optimization methods, such as Pontryagin maximum principle or Bellman optimality principle, which do not involve training (improving the adequacy) of the model. Such methods are sensitive to accuracy of initial information. If the characteristics of rolling stock change, for example, due to wear and tear of the equipment, the resulting optimal solution does not pretend to be accurate. In contrast to the classical methods, the use of the «black box» of ANN allows for continuous learning and improving accuracy of the norms depending on the amount of

information used for training. Over time, the amount of that information will only increase, which will ensure continuous improvement of the result without the use of separate additional techniques or technologies.

The need for the use of such structures arose due to the main drawbacks of classical methods: long-term obtaining of the optimal solution, need for a special increase in adequacy of initial data, an *a priori* train model that does not take into account the specific features of rolling stock. For the method of artificial neural networks, memory requirements have a significant limitation only in the training mode, which can be performed in parallel with operation of the neural network and is divided in time and space (for example, by using another data center), depending on the network structure and sample size.

The web application interface acts as a universal cross-platform tool for visualizing the calculation results; an alternative option may be to use a separate desktop application. To work with the complex tool developed at the department of traction rolling stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, an application was created providing a connection to the database.

Conclusion

The application, through a direct connection to the database, extracts the calculation results and displays it on the display of the user (driver). The prototyped version, implemented at the department of traction rolling stock, carries out only a search by a unique trip identifier in order to show feasibility of the solution proposed in the paper. If a network database is used, then multi-user access to standards in the database server is supported.

To check operation of the complex tool, normalization variant calculations were performed

for various sections of the track with different traffic conditions and train parameters, training was conducted on a limited number of model trips.

For the basic calculation, an arbitrary section of the profile with a length of about 50 kilometers was selected, and the train consisted of VL11 locomotive and fifty gondola cars fully and partially loaded. Ten variant calculations were carried out (Table 2), simulating various situations with passage of a train through separate sections in excess of applied temporal speed limits, considering different traffic conditions. In order to reduce memory consumption and speed up calculations, motion curves are not shown in a graphical form.

The calculation results show that train running time is maintained quite accurately and the spread of this parameter is less than a minute. The numbers obtained by one and the other method are quite close, which confirms the equivalence of the solutions. The calculation results are transmitted to the train driver to perform a motivational function. At the end of the trip, the operating rate is adjusted according to the actual traffic conditions and the trip is analyzed for compliance with the optimal traffic plan. In case of a strong deviation of the norm and the factual result, the trip is added to the training set for ANN retraining.

This approach is only the first step in creating a modern unmanned single control system for promising locomotives [8]. At the second stage of training ANN can form the norms and analyze movement on board the locomotive continuously with constant training in reinforcement mode, that is, without the need for a trainer (a powerful stationary computer is not required). At the third stage, it is necessary to proceed to train control based on ANN while retaining the controlling personnel.

REFERENCES

1. The energy strategy of the Holding Company Russian Railways for the period until 2025 and for the long term until 2030 [*Energeticheskaya strategiya kholdinga «Rossiiskie zhelezni dorogi» na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda*]. [Electronic resource]: http://www.rzd-expo.ru/innovation/resource_saving/energeticheskay_efektivnost/enstrat2030.pdf. Last accessed 19.12.2019.
2. Huang, Jin; Deng, Yangdong; Yang, Qinwen; Sun, Jia-Guang. An Energy-Efficient Train Control Framework for Smart Railway Transportation. *IEEE Transactions on Computers*, 2015, Vol. 65, Iss. 5, pp. 1407–1417. DOI: 10.1109/TC.2015.2500565.
3. Cismaru, D. C., Drighiciu, M. A., Nicola, D. A. SIMULINK model for study of energy efficient train control. *International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE2014 – Proceedings*, 2014. DOI: 10.1109/ICATE.2014.6972685.
4. Miyatake, Masafumi; Ko, Hideyoshi. Optimization of Train Speed Profile for Minimum Energy Consumption. *Special Issue on Energy Saving Technologies on Electric Railways in Japan*, 20 April, 2010, Vol. 5, Iss. 3, pp. 263–269. DOI: <https://doi.org/10.1002/tee.20528>.
5. Lu, Shaofeng; Hillmansen, Stuart; Ho, Tin; Roberts, C. Single-Train Trajectory Optimization. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, June 2013, Vol. 14, pp. 743–750. DOI: 10.1109/TITS.2012.2234118.
6. Su, Shuai; Tang, Tao; Roberts, C. A Cooperative Train Control Model for Energy Saving. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, April 2015, Vol. 16, Iss. 2, pp. 622–631, DOI: 10.1109/TITS.2014.2334061.
7. Yang, Li; Lidén, T.; Leander, P. Achieving energy-efficiency and on-time performance with Driver Advisory Systems. *2013 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation Proceedings*, August 2013, pp. 13–18. DOI: 10.1109/ICIRT.2013.6696260.
8. Istomin, S. G. Identification of unproductive losses of electricity by electric rolling stock using on-board information-measuring complexes of electricity metering [*Opredelenie neproizvoditelykh poter' elektroenergii elektropodvizhnym sostavom s ispolzovaniem bortovykh informatsionno-izmeritelnykh kompleksov ucheta elektroenergi*]. *Bulletin of the Rostov State Transport University*, Rostov-on-Don, 2015, Iss. 2 (58), pp. 19–24.
9. Muginshtein, L. A. The modern methodology of technical regulation of consumption of fuel and energy resources by locomotives for traction of trains [*Sovremennaya metodologiya tekhnicheskogo normirovaniya raskhoda toplivno-energeticheskikh resursov lokomotivami na tyagu poezdov*]. Moscow, VMG-Print, 2014, 144 p.
10. Cheremisin, V. T., Ushakov, S. Yu., Istomin, S. G. Control of irrational use of electric energy for traction of trains with the use of on-board information-measuring complexes of electricity metering [*Kontrol' neratsionalnogo ispolzovaniya elektricheskoi energii na tyagu poezdov s primeniem bortovykh informatsionno-izmeritelnykh kompleksov ucheta elektroenergi*]. *Bulletin of the Trans-Siberian Railway*, 2015, No. 1 (21), pp. 69–74.
11. Yurenko, K. I. The maximum principle of L. S. Pontryagin in the problem of optimal control of train movement [*Printsip maksimuma L. S. Pontryagina v zadache optimalnogo upravleniya dvizheniem poezda*]. *Vestnik VELNII*, 2018, Iss. 1–2 (79), pp. 147–161.
12. Yurenko, K. I. Calculation of energy-optimal driving modes of promising rolling stock by the method of dynamic programming [*Raschet energooptimalnykh rezhimov dvizheniya perspektivnogo podvizhnogo sostava metodom dinamicheskogo programmirovaniya*]. *News of universities. Electromechanics*, 2013, Iss. 3, pp. 78–82.
13. Yurenko, K. I., Fandeev, E. I. The principles of construction and simulation of systems of auto-driving of electric rolling stock [*Printsipy postroeniya i imitatsionnoe modelirovaniye system avtovedeniya elektropodvizhnogo sostava*]. *Bulletin of Southern Federal University. Technical science*, 2016, Iss. 8, pp. 88–102.
14. The rules of traction calculations for train work. Normative production and practical publication. [*Pravila tyagovykh raschytov dlja poezdnoi raboty*]. Moscow, JSC Russian Railways, 2016, 515 p. Approved by the order of JSC Russian Railways No. 867r. Dated 12.05.2016.
15. Kapustin, M. Yu., Malakhov, S. V. On the issue of unification and standardization of locomotive microprocessor systems [*K voprosu ob unifikatsii i standartizatsii lokomotivnykh mikroprotsessornykh sistem*]. Locomotives. Electric transport. 21st century, Vol. 2: Proceedings of 6th International scientific and technical conference, St. Petersburg, November 13–15, 2018, St. Petersburg, PGUPS publ., pp. 67–74.



К вопросу эффективности работы маневровых тепловозов на грузовых терминалах



Николай ЛЫСЕНКО



Ирина КУЗНЕЦОВА



Константин КУЗНЕЦОВ

Лысенко Николай Евгеньевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Кузнецова Ирина Алексеевна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Кузнецов Константин Сергеевич – Московская железная дорога – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

Основными маневровыми операциями на грузовом терминале являются подача вагонов под погрузку и их уборка после выгрузки. В статье описаны режимы работы маневрового тепловоза, выполняющего эти операции. Приведены порядок расчёта в виде алгоритма определения показателей работы маневрового тепловоза, а также результаты расчётов выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки тепловозом ЧМЭ3 на грузовом терминале. Определена необходимость повышения требований к качеству принимаемых управлений решений машинистами маневровых тепловозов. Скорректирован критерий оценки использования того или иного режима управления тепловозом.

Данные исследования направлены на обеспечение управления наиболее эффективным способом, обеспечивающим сокращение расхода топлива маневровыми тепловозами и снижение тем самым себестоимости маневровой работы на грузовом терминале, затрат владельцев грузовых терминалов.

Также выполнен и представлен сравнительный анализ применения различных вариантов управления тепловозом для наиболее распространённой операции, подачи пяти вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки, на грузовом терминале при заданных условиях эксплуатации. Определена стоимость сэкономленного топлива от использования рационального режима управления маневровым тепловозом.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, режимы работы тепловоза, моделирование, маневровая работа на грузовом терминале, снижение себестоимости.

*Информация об авторах:

Лысенко Николай Евгеньевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой логистических транспортных систем и технологий Российской университета транспорта, Москва, Россия, laborant_ltst@miiit.ru, +7 (495) 684-23-64.

Кузнецова Ирина Алексеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры логистических транспортных систем и технологий Российской университета транспорта, Москва, Россия, irina-k3@yandex.ru.

Кузнецов Константин Сергеевич – кандидат экономических наук, ведущий экономист административно-хозяйственного центра Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, kst.07@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.04.2019, актуализирована 26.06.2019, 28.02.2020, принятая к публикации 02.03.2020.

For the English text of the article please see p. 177.

В рамках стратегии цифровой трансформации ОАО «Российские железные дороги» актуальны повышение эффективности производственных процессов, использование расширенного набора инструментов поддержки принятия решений с экономической оценкой эффективности, широкое применение систем поддержки принятия решений, в частности программных продуктов управления маневровыми тепловозами с целью экономии топлива и снижения себестоимости маневровой работы. Крупные грузовые терминалы осуществляют выполнение услуг в комплексе: маневровые операции, погрузку, выгрузку, размещение и крепление грузов, хранение, взвешивание, складскую обработку, автодоставку [1]. Порядок выполнения операций подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки регламентируется договором. На путях необращенного пользования с небольшим вагонооборотом эти маневровые операции, как правило, осуществляются по уведомлениям [2]. Подача вагонов под погрузку и их уборка после выгрузки осуществляется при помощи маневровых тепловозов.

Режим работы маневровых тепловозов [3, с. 73] состоит из сочетания простых операций, каждая из которых представляет собой сочетание одинаковых по форме единичных режимов, представленных на рис. 1 (разгон R_{pj} , поддержание постоянной скорости R_{dj} , выбег R_{uj} , торможение R_{tj} , стоянка или маневрирование одиночным локомотивом R_{xij}), отличающихся началь-

ными и конечными величинами, которые заданы в виде распределения дискретных случайных величин [4]. Моделирование маневровой работы тепловоза на грузовом терминале с использованием программного продукта выполнено по разработанной методике [4], в которой имитированы процессы движения, процессы тяги и реальные процессы в силовых установках с выбранной степенью точности для каждого из выше описанных единичных режимов. Это позволяет выполнить моделирование работы маневрового тепловоза без пересчёта повторяющихся простых операций.

Показатели любого единичного режима могут быть определены тяговым расчётом [5, с. 28] на установившихся и переходных режимах с интервалом времени Δt :

$$dv/dt = \xi(F_k \pm w_k - b_r), \quad (1)$$

где F_k – касательная сила тяги тепловоза, Н;

w_k – общее удельное сопротивление, Н/кг;

b_r – тормозная сила, Н.

Время работы на позиции контроллера складывается из коротких режимов работы, в которых статических режимов практически не бывает. На каждой позиции тепловоз работает секунды, всё остальное время работы занимают переходные процессы.

Для каждого единичного режима работы тепловоза разработаны алгоритмы (рис. 2), которые включают блоки расчётов [6]:

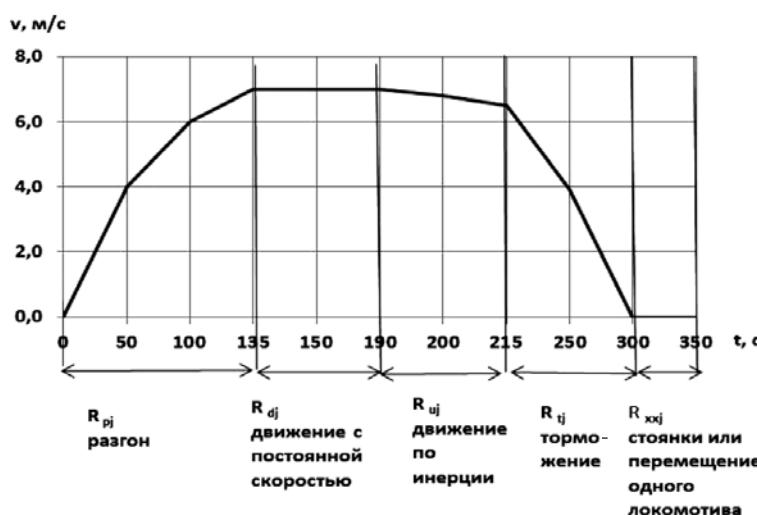


Рис. 1. Единичные режимы.



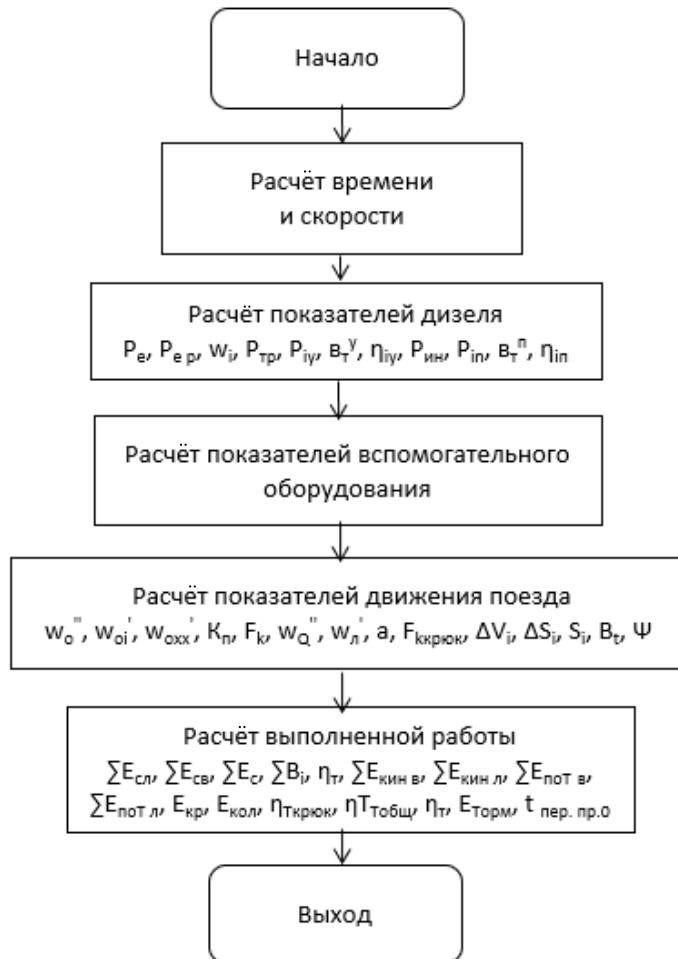


Рис. 2. Блок схема алгоритма расчёта единичного режима.

• параметров движения состава с использованием положений ПТР и ограничений по сцеплению v , F_k , dv/dt , dF_k/dt ;

• показателей работы силовой установки P_e , P_{tp} , σ_r , K_p [7];

• работы вспомогательных агрегатов $P_{всп}$;

• показателей выполненной работы и эффективности η_{kp} , η_r , W_l , Π [4], где v – скорость, с;

dv/dt – ускорение состава, м/с;

dF_k/dt – угловая скорость, рад/с;

P_i – индикаторная мощность, Вт;

P_{tp} – мощность механических потерь, Вт;

B_t – расход топлива, кг;

K_p – показатель потерь, м/с;

$P_{всп}$ – мощность вспомогательных агрегатов, Вт;

η_{kp} – КПД тепловоза на автосцепке;

η_r – КПД тепловоза общий;

W_l – комплексный критерий (формула (2));

Π – производительность, ваг/час.

На рис. 2 приняты обозначения:

P_e – эффективная мощность дизеля на установленныхся режимах, Вт;

$P_{e p}$ – расчётная эффективная мощность дизеля, Вт;

w_i – текущее значение частоты вращения коленчатого вала, рад/с;

P_{tp} – мощность механических потерь, Вт;

P_{iy} – индикаторная мощность установленногося режима, Вт;

B_T^y – расход топлива установленногося режима, кг;

η_{iy} – индикаторный КПД установленногося режима;

P_{in} – мощность сил инерции, Вт;

P_{in} – индикаторная мощность в переходном процессе, Вт;

B_T^n – расход топлива в переходном процессе, кг;

η_{in} – индикаторное КПД в переходном процессе;

ω_o'' – удельное сопротивление движению вагонов, Н/кг;

ω_{oi}' – удельное сопротивление движению тепловоза, Н/кг;

ω_{oxh}' – удельное сопротивление движению холостого хода, Н/кг;

K_n – показатель потерь, м/с;

F_{ki} – касательная сила тяги тепловоза, Н;

w_Q'' – сопротивление движению вагонов, Н;

w_l' – сопротивление движению тепловоза, Н;

a – ускорение состава, м/с;

$F_{kkрюк}$ – касательная сила тяги тепловоза на автосцепке, Н;

Δv_i – приращение скорости, м/с;

ΔS_i – приращение пути, м;

S_i – пройденный путь, м;

B_t – тормозная сила, Н;

Ψ – коэффициент сцепления;

$\sum E_{cl}$ – диссиативная работа тепловоза, Дж;

$\sum E_{cb}$ – диссиативная работа вагонов, Дж;

$\sum E_c$ – общая диссиативная работа, Дж;

$\sum B_t$ – расход топлива дизелем при переходном и установившемся режимах, кг;

η_T – КПД дизеля;

$\sum E_{kinb}$ – кинетическая работа вагонов, Дж;

$\sum E_{kinl}$ – кинетическая работа тепловоза, Дж;

$\sum E_{potb}$ – потенциальная работа вагонов, Дж;

$\sum E_{potl}$ – потенциальная работа тепловоза, Дж;

E_{kp} – работа на автосцепке, Дж;

E_{kol} – работа на колесе, Дж;

$\eta_{Tkрюк}$ – КПД тепловоза на автосцепке;

$\eta_{Tобщ}$ – КПД тепловоза общий;

$E_{Tорм}$ – работа торможения, Дж;

$t_{пер.пр.0}$ – время переходного процесса, с.

Выполнив расчёт единичного режима работы тепловоза по вышеприведённому алгоритму, получаем результаты, представленные в виде автоматически составленной

сводной таблицы эксплуатационных показателей работы тепловоза при выполнении единичного режима и таблицы распределения расхода топлива и времени работы тепловоза по позициям контроллера машиниста [4].

Для типичной маневровой операции, используя набор основных характерных единичных режимов маневрового тепловоза и варьирование компонентов, получаем конечные результаты в виде сводной таблицы выполнения маневровой операции по выбранным единичным режимам с учётом работы на холостом ходу при стоянках [4]. Сводная таблица включает в себя: название тепловоза, массу вагонов в составе, время, путь, расход топлива, диссиативную работу вагонов и тепловоза, кинетическую работу вагонов и тепловоза, работу торможения, потенциальную работу вагонов и тепловоза, работу на автосцепке, на колесе, КПД тепловоза на автосцепке и общий, производительность тепловоза, также формируются графики расхода топлива (B_t , $B_{t \text{уст}}$) и времени (T , $T_{\text{неп}}$) по позициям контроллера машиниста за операцию [4].

Используя конечные результаты расчётов, то есть показатели выполненной работы тепловозами, можно выполнить анализ и решить множество задач, направленных на выбор тепловоза наиболее подходящего для заданных условий эксплуатации на грузовом терминале и режима управления им, применив комплексный критерий:

$W_l = (B \cdot T) / m \rightarrow \min, \text{ при } E_{kp} = const, \quad (2)$
где E_{kp} – работа, выполняемая тепловозами на автосцепке, Дж;

B – расход топлива, кг;

T – время, с;

m – количество вагонов в составе.

Например, наиболее распространённая для грузовых терминалов, технологическая операция подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки может быть выполнена разными способами: с режимом разгон до заданной скорости при максимальном быстродействии или до заданной скорости на заданной позиции контроллера машиниста (например, 5 ПК).

Машинистам зачастую приходится управлять маневровым тепловозом [8, с. 68] в условиях эмоционального напряжения





Таблица 1

Сравнение результатов выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки тепловозом ЧМЭ3 при разных вариантах набора позиций контроллера машиниста*

Количество вагонов	Показатели работы при применении режима «разгон до заданной скорости при максимальном быстродействии» (Режим 1 (R1))			Показатели работы при применении режима «разгон до заданной скорости на заданной позиции (5)» (Режим 2 (R2))		
m	Время, с, Т	Расход топлива, кг, В	Комплексный критерий, $W_{\text{л}}$	Время, с, Т2	Расход топлива, кг, В2	Комплексный критерий $W_{\text{л},2}$
5	363,2	4,5	323,2	397,8	3,57	286,4
10	381,2	5,4	205,8	421,2	4,6	193,8
15	387,1	6,7	172,9	425,1	5,9	167,2
20	404,3	7,7	155,7	445,2	6,9	153,6
25	421,2	8,9	149,9	463,7	8,1	150,2
30	433,1	10,0	144,4	482,5	9,2	148,0
35	450,3	11,1	142,8	499,3	10,3	146,9

Примечание: * расчёт выполнен при одинаковых заданных условиях, длина пройденного пути составляет 3000 м.

и стрессовых ситуаций по причине воздействия неблагоприятных факторов и различного рода помех, избыточности или дефицита информации, ограниченности по времени, возложенной высокой ответственности за обеспечение безопасности и за конечный результат, что может привести к ошибочным действиям и отражается увеличением расхода топлива. Поэтому, помимо систем мониторинга и контроля тепловоза [9], повышение требований к качеству принимаемых управлений решений, в том числе машинистами, необходимость обработки больших объёмов информации и рационализации процессов предопределяют внедрение на маневровом тепловозе автопилотов [напр., 10], автоматизированных систем управления им, в частности блока выбора режима управления, обеспечивающего снижение расхода топлива за счёт использования наиболее рационального варианта управления режимами работы и тем самым – обеспечивая снижение себестоимости манёвров и расходов владельцев грузовых терминалов (инструментарий достижения данной цели описан в [4]).

Выберем рациональный режим управления маневровым тепловозом для конкретных условий.

В табл. 1 приведены результаты расчёта по вышеописанному алгоритму выполнения тепловозом ЧМЭ3 [11] оборудованного ЭСУВТ (электронной системой впрыска

топлива) операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки при управлении различными способами.

Как видно из табл. 1, для заданных условий при количестве вагонов в составе менее 25 наиболее предпочтителен второй вариант выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки с режимом «разгон до заданной скорости на заданной позиции (5)». Значение экономии топлива [11] за наиболее распространённую технологическую операцию подачи пяти вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки, рассчитанное по данным табл. 1, определим по формуле:

$$\Delta B_p = B_{R1} - B_{R2}, \quad (3)$$

где B_{R1} и B_{R2} – расход топлива тепловозом при первом и втором способе выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки тепловозом ЧМЭ3 соответственно, кг.

$$\Delta B_p = 4,5 - 3,57 = 0,93 \text{ кг.}$$

Стоимость сэкономленного топлива составит [4]:

$$C = \Pi_{\text{л}} \cdot \Delta B_p, \quad (4)$$

где $\Pi_{\text{л}}$ – цена 1 кг топлива, 49 руб.

$C = 49 \cdot 0,93 = 45,6$ руб. за одну операцию подачи пяти вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки.

В целом за год стоимость сэкономленного топлива за одну операцию подачи пяти вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки составит [4]:

$$C_{\text{общ.т}} = (365 - T_p) \cdot C \cdot k, \quad (5)$$

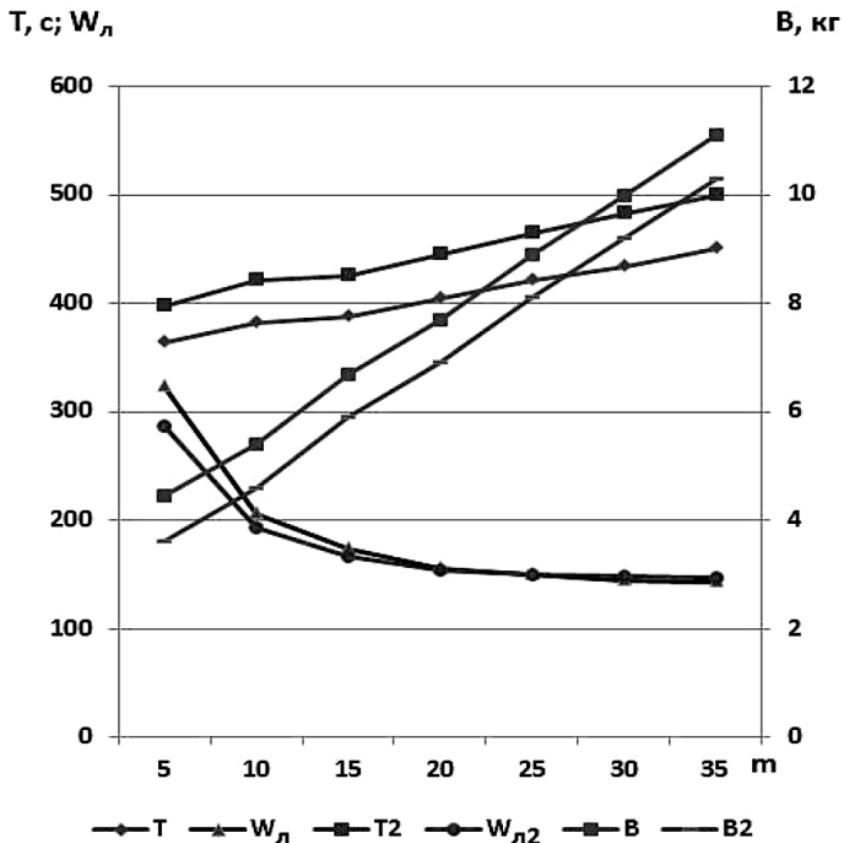


Рис. 3. Графическое изображение изменения показателей работы тепловоза и комплексного критерия $W_{\text{л}}$ при выполнении технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки.

Сравнение результатов выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки тепловозом ЧМЭ3 при разных вариантах набора позиций контроллера машиниста (пять вагонов)

Длина маршрута	Показатели работы при применении режима «разгон до заданной скорости при максимальном быстродействии» (Режим 1 (R1))			Показатели работы при применении режима «разгон до заданной скорости на заданной позиции (5)» (Режим 2 (R2))			$\Delta W_{\text{л}}$
	Время, с, Т	Расход топлива, кг, В	Комплексный критерий, $W_{\text{л}}$	Время, с, T_2	Расход топлива, кг, B_2	Комплексный критерий, $W_{\text{л}2}$	
L	299	3,39	202,72	266	2,39	127,15	75,57
1520	507,6	4,2	426,38	513,6	3,8	390,34	36,04

где k – количество тепловозов (1 ед.) на грузовом терминале;

Тр – простой тепловоза при техническом обслуживании и ремонтах за год, принятно $T_{\text{р}} = 15$ суток.

$C_{\text{общ.т}} = (365-15) \cdot 45,6 \cdot 1 = 15960$ руб. в год за одну операцию подачи пяти вагонов

под погрузку и их уборки после выгрузки на одном грузовом терминале.

Учитывая количество грузовых терминалов и количество маневровых операций в целом по стране, используя рациональный режим управления маневровым тепловозом, заложенный в блоке выбора режима управле-



ния, можно получить значительный экономический эффект и снижение себестоимости маневровой работы на грузовых терминалах.

На рис. 3 показана критическая точка, параметры которой подтверждают, что при количестве вагонов в составе более 25 целесообразно применять первый вариант выполнения технологической операции подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки с режимом «разгон до заданной скорости при максимальном быстродействии».

Также можно отметить, что экономия топлива от выбора рационального режима управления маневровым тепловозом более очевидна при выполнении маневровой работы короткими маршрутами.

В результате исследований сформулирована стратегия поиска рационального типа тепловоза для конкретной работы и выбора режима управления им в зависимости от объекта исследования и условий эксплуатации, в частности для грузовых терминалов. В каждом конкретном случае можно выбрать рациональный, наиболее экономичный, вариант, учитывая многообразие эксплуатируемых моделей локомотивов [напр., 12].

Специалисты научно-исследовательских организаций, изготовители и собственники маневровых тепловозов, грузовых терминалов должны стремиться к внедрению интеллектуальных систем управления техническими средствами, участвующими в процессах перевозок, в том числе и для маневровой работы, к рационализации эксплуатационной работы, гибкому внедрению новых технологий и подходов в условиях цифровой экономики.

ВЫВОДЫ

1. Имитация процессов выполнения маневровых операций на грузовом терминале позволяет с высокой достоверностью выполнить расчёт показателей работы маневрового тепловоза, уточнить расход топлива [4] и выявить наиболее рациональные режимы управления тепловозом по комплексному критерию $W_{\text{л}}$.

2. Выполнен расчёт показателей маневровой работы подачи вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки на грузовом терминале тепловозом ЧМЭ3 для заданных условий, графически показано влияние

режимов работы маневрового тепловоза на его топливную экономичность.

3. Проведён сравнительный анализ использования различных режимов управления маневровым тепловозом и определена стоимость сэкономленного топлива для наиболее распространённой технологической операции подачи пяти вагонов под погрузку и их уборки после выгрузки на грузовом терминале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Московская дирекция по управлению термиально-складским комплексом // Преимущества дирекции. [Электронный ресурс]: http://www.rzd.ru/ent/public/ru/?STRUCTURE_ID=5185&layer_id=5554&id=4323. Доступ 17.04.2019.
2. ЕТП работы станции Алматы-1 и путей необязательного пользования // Организация подачи и уборки вагонов. [Электронный ресурс]: https://studwood.ru/1708831/tehnika/organizatsiya_podachi_uborki_vagonov. Доступ 17.04.2019.
3. Носков В. О., Милютина Л. В., Синёв И. С., Тарута В. Ф., Чубаров И. А., Чулков А. В. Исследование условий и режимов работы маневровых тепловозов // Молодой учёный. – 2017. – № 12. – С. 72–75. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/146/41016>. Доступ 12.05.2019.
4. Кузнецова И. А. Оценка технико-энергетической эффективности работы маневровых тепловозов путем моделирования рабочих процессов оборудования в режимах эксплуатации. [Электронный ресурс]: <https://www.vniizht.ru/fileadmin/site/files/Kuznecova/dissert.pdf>. Доступ 17.04.2019.
5. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Некрасов О. А. и др. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
6. Коссов Е. Е., Силюта А. Г. Моделирование поездной работы магистрального локомотива // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – № 4. – 2018. – С. 218–221. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35447991>. Доступ 12.06.2019.
7. Qianfan, Xin. Diesel Engine System Design. 1st ed., Woodhead Publishing, 26 May 2011, 1088 p. [Электронный ресурс]: <https://www.elsevier.com/books/diesel-engine-system-design/xin/978-1-84569-715-0>. Доступ 17.05.2019.
8. Балабин В. Н. Эффективность эксплуатации маневровых и промышленных локомотивов с гидравлической и электрической передачей // Транспорт Российской Федерации. – № 3. – 2011. [Электронный ресурс]: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/34/67-69.pdf>. Доступ 10.06.2019.
9. Навигационные системы. [Electronic resource]: <https://www.glonass-expert.ru/products/monitoring-transporta/solutions/kontrol-zh-d-transporta/kontrol-teplovozov> Доступ 27.07.2020.
10. Cognitive Pilot. [Electronic resource]: <https://habr.com/en/company/cognitivepilot/blog/499440/>. Доступ 27.07.2020.
11. Лапицкий В. Н., Амосов Е. А. Повышение энергетической эффективности локомотивов // Информио. [Электронный ресурс]: https://www.informio.ru/publications/id2705/Povyshenie_yenergeticheskoi_oeffektivnosti-lokomotivov. Доступ 25.06.2019.
12. Railfaneurope.net. The European Railway Server. Stock Lists. [Electronic resource]: http://www.railfaneurope.net/list_frameset.html. Доступ 07.06.2019.



On the Issue of Efficiency of Shunting Diesel Locomotives at Cargo Terminals



Nikolay E. LYSENKO



Irina A. KUZNETSOVA



Konstantin S. KUZNETSOV

Lysenko, Nikolay E., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

Kuznetsova, Irina A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

Kuznetsov, Konstantin S., Moscow Railway – a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The main shunting operations at the cargo terminal consist of supply of cars for loading and their removal after unloading. The article describes the modes of operation of a shunting diesel locomotive performing these operations. The procedure for calculating in the form of an algorithm for determining performance indicators of a shunting locomotive is given, followed by the results of calculations for performing a technological operation of supplying cars for loading and removing them after unloading by a ChME3 diesel locomotive at the cargo terminal. The necessity of increasing the requirements for quality of control decisions made by drivers of shunting diesel locomotives is determined. The

criterion for evaluating the use of one or another locomotive control mode has been adjusted.

These studies are aimed at ensuring control in the most efficient way, providing for a reduction in fuel consumption by shunting diesel locomotives and thereby reducing the cost of shunting work at the cargo terminal, the costs for owners of cargo terminals.

Also, a comparative analysis of the use of various options for controlling a diesel locomotive for the most common operation, supply of five cars for loading and their removal after unloading, at the cargo terminal under specified operating conditions is performed and presented. The cost of fuel saved through the use of a rational mode of control of a shunting locomotive has been determined.

Keywords: transport, railway, operating modes of a diesel locomotive, modelling, shunting work at the cargo terminal, cost reduction.

*Information about the authors:

Lysenko, Nikolay E. – Ph.D. (Eng), Professor, Head of the Department of Logistics Transport Systems and Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, laborant_ltst@miit.ru, +7 (495) 684-23-64.

Kuznetsova, Irina A. – Ph.D. (Eng), Senior Lecturer at the Department of Logistics Transport Systems and Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, irina-k3@yandex.ru.

Kuznetsov, Konstantin S. – Ph.D. (Economics), Leading Economist of the Administrative and Economic Center of Moscow Railway – a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, kst.07@mail.ru.

Article received 15.04.2019, revised 26.06.2019, 28.02.2020, accepted 02.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 170.

As part of the digital transformation strategy of JSC Russian Railways, it is important to increase efficiency of production processes, use an expanded set of decision support tools with economic assessment of their efficiency, widespread use of decision support systems, in particular, software products for controlling shunting diesel locomotives in order to save fuel and reduce the cost of shunting work. Large cargo terminals provide services in a comprehensive way comprising shunting operations, loading, unloading, stowage and securing of cargo, storage, weighing, warehouse handling, road delivery [1]. The procedure for performing operations of supplying cars for loading and removing them after unloading is regulated by the contract. On non-public tracks with a small wagon turnover, these shunting operations, as a rule, are carried out on notification [2]. The supply of wagons for loading and their removal after unloading are carried out using shunting locomotives.

Operating mode of shunting locomotives [3, p. 73] consists of a combination of simple operations, each of which is a combination of single modes of the same form shown in Pic. 1 (acceleration R_{pj} , maintaining constant speed R_{dj} , coasting R_{uj} , braking R_{tj} , parking or maneuvering with a single locomotive R_{xxj}), differing in initial and final values, which are given in the form of a distribution of discrete random variables [4]. Modelling of the shunting

operation of a diesel locomotive at the cargo terminal using a software product was carried out according to the developed method [4], simulates motion processes, traction processes and real processes in power plants with a selected degree of accuracy for each of the above-described single modes. This makes it possible to simulate the operation of a shunting locomotive without recalculating repetitive simple operations.

Indicators of any single mode can be determined by traction calculation [5, p. 28] on steady-state and transient modes with a time interval Δt :

$$dv/dt = \xi(F_k \pm w_k - b_b), \quad (1)$$

where F_k is tangential traction force of the locomotive, N ;

w_k – total resistivity, N/kg ;

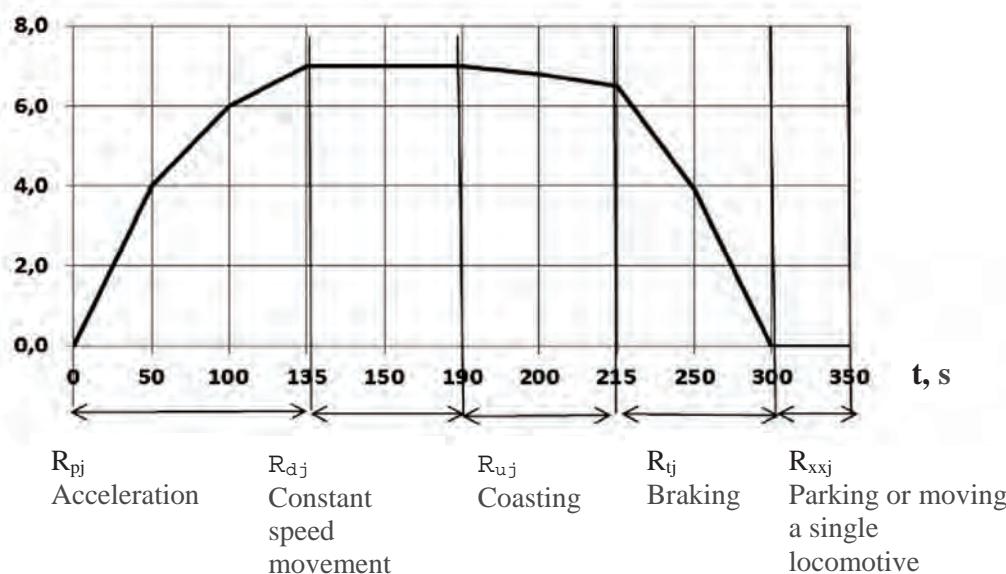
b_b – braking force, N .

The operating time at a given controller position consists of short operating modes, in which there are practically no static modes. The locomotive runs for seconds at each position, the rest of time is occupied by transient processes.

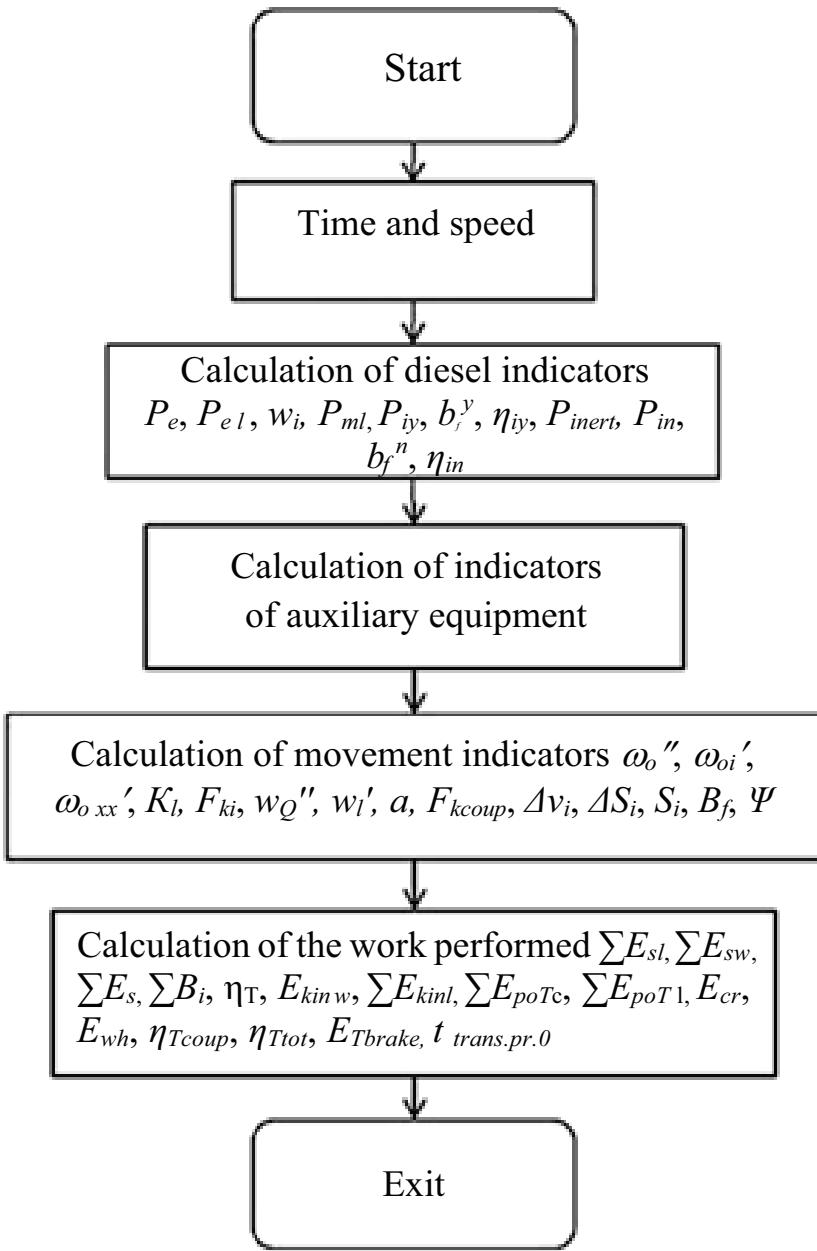
For each single mode of operation of a diesel locomotive, algorithms have been developed (Pic. 2), which include calculation blocks comprising [6]:

- parameters of train movement using rules of traction calculations (RTC) and adhesion constraints v , F_k , dv/dt , dF_k/dt ;

v, m/s



Pic. 1. Single modes.



Pic. 2. Block diagram of the algorithm for calculating a single mode.

- performance indicators of the power plant P_p, P_{ml}, b_p, K_l [7];
- operation of auxiliary units P_{aux} ;
- indicators of work performed and efficiency $\eta_{cr}, \eta_{ml}, W_p, P$ [4], where v – speed, s;
- dv/dt – train acceleration, m/s;
- dF_k/dt – angular speed, rad/s;
- P_i – indicated power, W;

P_{ml} – power of mechanical losses, W;
 b_f – fuel consumption, kg;
 K_l – indicator of losses, m/s;
 P_{aux} – power of auxiliary units, W;
 η_{cr} – efficiency of a diesel locomotive on an automatic coupler;
 η_i – overall efficiency of a diesel locomotive;
 W_i – complex criterion (formula (2));
 P – productivity, wagon/h.



In Pic. 2 the following designations are accepted:

P_e – effective power of the diesel engine at steady state modes, W;

P_{el} – calculated effective power of the diesel engine, W;

w_i – current value of the crankshaft rotation speed, rad/s;

P_{ml} – power of mechanical losses, W;

P_{iy} – steady state mode indicator power, W;

b_f^y – steady state mode fuel consumption, kg;

η_{iy} – steady state mode indicator efficiency;

P_{inert} – power of inertial forces, W;

P_{in} – indicated power in the transient process, W;

b_f^n – fuel consumption in the transient process, kg;

η_{in} – indicated efficiency in the transient process;

ω_o'' – specific resistance to movement of cars, N/kg;

ω_{oi}' – specific resistance to the locomotive movement, N/kg;

ω_{ox}' – specific resistance to idle motion, N/kg;

K_l – indicator of losses, m/s;

F_{ki} – tangential traction force of the locomotive, N;

w_Q'' – resistance to movement of cars, N;

w_i' – resistance to movement of the locomotive, N;

a – train acceleration, m/s;

F_{kcoup} – tangential traction force of the locomotive with automatic coupler, N;

Δv_i – speed increment, m/s;

ΔS_i – path increment, m;

S_i – distance traveled, m;

B_b – braking force, N;

Ψ – coefficient of adhesion;

ΣE_{sl} – dissipative work of a diesel locomotive, J;

ΣE_{sw} – dissipative work of wagons, J;

ΣE_s – total dissipative work, J;

ΣB_i – diesel fuel consumption during transient and steady state conditions, kg;

η_T – diesel efficiency;

ΣE_{kinw} – kinetic work of wagons, J;

ΣE_{kinl} – kinetic work of a locomotive, J;

ΣE_{poTw} – potential work of wagons, J;

ΣE_{poTl} – potential work of the locomotive, J;

E_{cr} – work with automatic coupler, J;

E_{wh} – work on the wheel, J;

η_{Tcoup} – efficiency of a diesel locomotive with an automatic coupler;

η_{Tot} – overall efficiency of the locomotive;

E_{Tbrake} – work of braking, J;

$t_{trans.pr.0}$ – time of the transient process, s.

Having performed the calculation of a single mode of operation of the locomotive according to the above algorithm, we obtain the results presented in the form of an automatically compiled summary table of operational performance of a locomotive performing a single mode operation and the table of distribution of fuel consumption and operating time of the locomotive by positions of the driver's controller [4].

For a typical shunting operation, using a set of basic characteristic single modes of a shunting diesel locomotive and varying the components, we obtain the final results in the form of a summary table of performing a shunting operation for the selected single modes, taking into account idling at standstill [4]. The summary table includes: name of the locomotive, mass of wagons in the train, time, distance, fuel consumption, dissipative work of wagons and locomotive, kinetic work of wagons and locomotive, braking work, potential work of wagons and locomotive, work with automatic coupler, work related to a wheel, efficiency of a locomotive when working with automatic coupler, overall locomotive efficiency, performance of the locomotive. Graphs of fuel consumption (B_f , $B_{f\ set}$) and time (T , T_{trans}) are also formed according to the positions of the driver's controller during an operation [4].

Using the final results of calculations, that is, the indicators of the work performed by diesel locomotives, it is possible to analyze and solve many problems aimed at choosing the most suitable diesel locomotive for the given operating conditions at the cargo terminal and its control mode, applying a complex criterion: $W_l = (B \cdot T) / m \rightarrow \min$, при $E_{cr} = const$, (2) where E_{cr} – work performed by diesel locomotives with an automatic coupler, J;

B – fuel consumption, kg;

T – time, s;

m – number of wagons in the train.

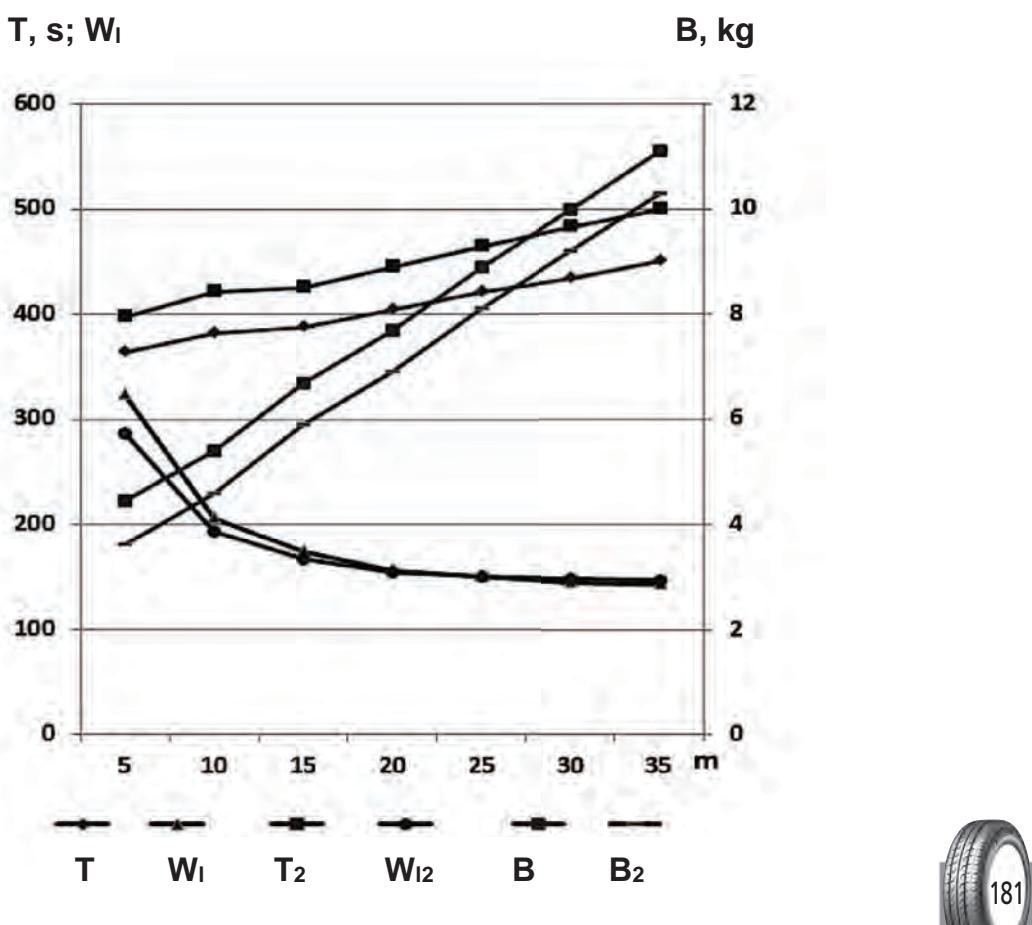
For example, the most common technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading at cargo terminals can be performed in different ways: with the acceleration to a given speed with maximum performance or with a given speed at a given position of the driver's controller (for example, 5 PC).

Table 1

Comparison of results of performing the technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading by ChME3 diesel locomotive with different variants of setting of positions of the driver's controller*

Number of cars	Performance indicators when using the acceleration mode to a given speed with maximum performance (Mode 1 (R1))			Performance indicators when applying the acceleration mode to a given speed at a given position (5) (Mode 2 (R2))				
	m	Time, s, T	Fuel consumption, kg, B	Complex criterion, W_1	m	Time, s, T_2	Fuel consumption, kg, B_2	Complex criterion W_{12}
5	363,2	4,5	323,2	323,2	397,8	3,57	286,4	286,4
10	381,2	5,4	205,8	205,8	421,2	4,6	193,8	193,8
15	387,1	6,7	172,9	172,9	425,1	5,9	167,2	167,2
20	404,3	7,7	155,7	155,7	445,2	6,9	153,6	153,6
25	421,2	8,9	149,9	149,9	463,7	8,1	150,2	150,2
30	433,1	10,0	144,4	144,4	482,5	9,2	148,0	148,0
35	450,3	11,1	142,8	142,8	499,3	10,3	146,9	146,9

Note: *the calculation was carried out under the same specified conditions, the distance traveled is 3000 m.



Pic. 3. Graphical representation of the change in the performance of the locomotive and the complex criterion W , when performing the technological operation of supply of cars for loading and their removal after unloading.



Table 2

Comparison of the results of performing the technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading by the diesel locomotive ChME3 with different variants of the set of positions of the driver's controller (5 cars)

Route length	Performance indicators when using the acceleration mode to the specified speed at maximum speed (Mode 1 (R_1))			Performance indicators when applying the acceleration mode to a given speed at a given position (5) (Mode 2 (R_2)))			ΔW_i
	L	Time, s, T	Fuel consumption, kg, B	Complex criterion, W_i	Time, s, T2	Fuel consumption, kg, B2	
1520	299	3,39	202,72	266	2,39	127,15	75,57
3200	507,6	4,2	426,38	513,6	3,8	390,34	36,04

Drivers often have to operate a shunting locomotive [8, p. 68] in conditions of emotional stress and stressful situations due to impact of unfavorable factors and various kinds of interference, redundancy or lack of information, time constraints, high responsibility for ensuring safety and for the final result, which can lead to erroneous actions and that is reflected by an increase in fuel consumption. Therefore, in addition to monitoring and control systems for a diesel locomotive [9], the increased requirements for quality of control decisions, particularly those made by drivers, the need to process large amounts of information and streamline processes, predetermine introduction of autopilots on a shunting diesel locomotive [e.g., 10], automated control systems for them, in particular, the control mode selection block, which ensures a decrease in fuel consumption by using the most rational option for controlling the operating modes, and thereby reducing the cost of manoeuvres and costs for owners of cargo terminals (the tools for achieving this goal are described in [4]).

Let's choose a rational control mode for a shunting locomotive for specific conditions.

Table 1 shows the results of the calculation, according to the above-described algorithm, for the diesel locomotive of ChME3 type [11] equipped with ESUVT (electronic fuel injection system) that supplies wagons for loading and removes them after unloading under various control methods.

As can be seen from Table 1, for the given conditions with the number of wagons in the train less than 25, the second variant of performing the technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading with the mode of acceleration

to a given speed at a given position is most preferable (5). The value of fuel economy [11] for the most common technological operation of supplying 5 cars for loading and their removal after unloading, calculated according to the Table 1 is determined by the formula:

$$\Delta B_p = B_{R1} - B_{R2}, \quad (3)$$

where B_{R1} and B_{R2} – fuel consumption of the diesel locomotive in the first and second modes of performing the technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading by the diesel locomotive ChME3, respectively, kg.

$$\Delta B_p = 4,5 - 3,57 = 0,93 \text{ kg.}$$

Cost of saved fuel is [4]:

$$C = P_i \cdot \Delta B_p, \quad (4)$$

where P_i is price of 1 l fuel, 49 rub.

$C = 49 \cdot 0,93 = 45,6$ rub. per an operation of supply of 5 cars for loading and their removal after unloading.

In general, for the year the cost of the saved fuel, for operations of supplying 5 cars for loading and their removal after unloading, will be [4]:

$$C_{tot,f} = (365 - T_i) \cdot C \cdot k, \quad (5)$$

where k – number of diesel locomotives (1 pcs.) at the cargo terminal;

T_i – idle time of a diesel locomotive during maintenance and repairs for a year, taken as $T_p = 15$ days.

$C_{tot,f} = (365 - 15) \cdot 45,6 \cdot 1 = 15960$ rub. per year for operations of supply of 5 cars for loading and their removal after unloading at one cargo terminal.

Taking into account the number of cargo terminals and the number of shunting operations in the country (company) as a whole, using the rational control mode of a shunting diesel locomotive incorporated in the

control mode selection block, one can obtain a significant economic effect and reduce the cost of shunting work at cargo terminals.

Pic. 3 shows the critical point, the parameters of which confirm that when the number of wagons is more than 25, it is advisable to use the first option for performing the technological operation of supplying cars for loading and their removal after unloading with an acceleration mode to a given speed with maximum performance.

It can also be noted that the fuel saving from choosing a rational control mode for a shunting locomotive is more obvious when performing shunting work by short routes.

As a result of the research, a strategy was formulated to search for a rational type of diesel locomotive for a specific operation and to select its control mode depending on the object of research and operating conditions, in particular for cargo terminals. In each specific case, it is possible to choose the most rational, most economical option considering variety of operated locomotives [e.g., 12].

Experts of research organizations, manufacturers, and owners of shunting locomotives, and owners of cargo terminals should strive to introduce intelligent control systems for technical means involved in transportation processes, including for shunting work, to rationalize operational work, to implement in a flexible manner new technologies and approaches in a digital economy environment.

Conclusion

1. Simulation of processes of performing shunting operations at the cargo terminal allows with high reliability to calculate performance of a shunting locomotive, to clarify fuel consumption [4] and to identify the most rational modes of control of the locomotive according to the complex criterion W_r .

2. The calculation of the indicators of the shunting work of supplying cars for loading and their removal after unloading at the cargo terminal by the ChME3 diesel locomotive for the given conditions has been carried out, and the influence of operating modes of the shunting diesel locomotive on its fuel efficiency is graphically shown.

3. A comparative analysis of the use of different control modes of a shunting locomotive was carried out and the cost of the saved fuel for the most common technological operation of supplying 5

cars for loading and their removal after unloading at the cargo terminal was determined.

REFERENCES

1. Moscow directorate for management of the terminal and warehouse complex [*Moskovskaya direktsiya po upravleniyu terminalno-skladskim kompleksom. Advantages of the directorate*. [Electronic resource]: http://www.rzd.ru/ent/public/ru/?STRUCTURE_ID=5185&layer_id=5554&id=4323. Last accessed 17.04.2019.
2. STP of Almaty-1 station work and non-public tracks [*ETP raboty stantsii Almaty-1 i putei neobshchego polzovaniya*. Organization of supply and removal of cars. [Electronic resource]: https://studwood.ru/1708831/tehnika/organizatsiya_podachi_uborki_vagonov. Last accessed 17.04.2019.
3. Noskov, V. O., Milyutina, L. V., Sinev, I. S., Taruta, V. F., Chubarov, I. A., Chulkov, A. V. Research of conditions and operating modes of shunting diesel locomotives [*Issledovanie uslovii i rezhimov raboty manevrovykh tepochozov*. Molodoy ucheniy, 2017, Iss. 12, pp. 72–75. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/146/41016>. Last accessed 12.05.2019.
4. Kuznetsova, I. A. Assessment of the technical and energy efficiency of shunting locomotives by modeling the working processes of equipment in operation modes [*Otsenka tekhniko-energeticheskoi effektivnosti raboty manevrovykh tepochozov putem modelirovaniya rabochikh pritsessov v rezhimakh ekspluatatsii*. [Electronic resource]: <https://www.vniizht.ru/fileadmin/site/files/Kuznecova/disser.pdf>. Last accessed 17.04.2019.
5. Grebenyuk, P. T., Dolganov, A. N., Nekrasov, O. A. [et al]. Rules of traction calculations for train operation [*Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoi raboty*. Moscow, Transport publ., 1985, 287 p.
6. Kossov, E. E., Silyuta, A. G. Modelling the train operation of the mainroad locomotive [*Modelirovanie poezdnoi raboty magistralnogo lokomotiva*. Bulletin of the research institute of railway transport, 2018, Iss. 4, pp. 218–221. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35447991>. Last accessed 12.06.2019.
7. Qianfan, Xin. Diesel Engine System Design. 1st ed., Woodhead Publishing, 26 May 2011, 1088 p. [Electronic resource]: <https://www.elsevier.com/books/diesel-engine-system-design/xin/978-1-84569-715-0>. Last accessed 17.05.2019.
8. Balabin, V. N. Efficiency of operation of shunting and industrial locomotives with hydraulic and electric transmission [*Effektivnost' ekspluatatsii manevrovykh ipromyschlennikh lokomotivov s gidravlicheskoi i elektricheskoi peredachei*. Transport of the Russian Federation, 2011, Iss. 3. [Electronic resource]: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/34/67-69.pdf>. Last accessed 10.06.2019.
9. Navigation systems [*Navigatsionnie sistemy*. [Electronic resource]: <https://www.glonass-expert.ru/products/monitoring-transporta/solutions/kontrol-zh-d-transporta/kontrol-tepolovozov>. Last accessed 27.07.2020.
10. Cognitive Pilot. [Electronic resource]: <https://habr.com/en/company/cognitivepilot/blog/499440/>. Last accessed 27.07.2020.
11. Lapitsky, V. N., Amosov, E. A. Increasing the energy efficiency of locomotives [*Povyshenie energeticheskoi effektivnosti lokomotivov*. Informio. [Electronic resource]: <https://www.informio.ru/publications/id2705/Povyshenie-yenergeticheskoi-yeffektivnosti-lokomotivov>. Last accessed 25.06.2019.
12. Railfaneurope.net. The European Railway Server. Stock Lists. [Electronic resource]: http://www.railfaneurope.net/list_frameset.html. Last accessed 07.06.2019.



Совершенствование методики расчёта средневзвешенного оборота полуавтоматов металлургического предприятия



Алексей ПОПОВ



Артем ХМЕЛЕВ

Среднесуточный пробег вагона, его производительность и оборот определяют уровень эффективности использования подвижного состава. Оборот вагона рассчитывается и нормируется не только в целом для парка, но и для каждого типа подвижного состава, для отдельного района и дороги в зависимости от характера перевозочной работы. Ускорение оборота вагона повышает его производительность и увеличивает прибыль операторской компании. В то же время его снижение негативно сказывается на пропускной способности инфраструктуры, влечёт за собой увеличение затрат на маневровую и поездную работы, а значит, ведёт к удороожанию перевозки.

В современных условиях оборот определяется для каждого участника перевозки в соответствии с его зоной ответственности. Для металлургического предприятия использование оптимальной методики учёта време-

Попов Алексей Тимофеевич – Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ), Липецк, Россия.

Хмелев Артем Сергеевич – Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ), Липецк, Россия*.

ни нахождения вагона на его путях позволяет адекватно оценивать этот важный качественный показатель, а также контролировать его изменение в результате внедрения новых технологий транспортного обслуживания цехов, реконструкции путевого развития станций и оптимизации перевозочного процесса.

Целью исследования является совершенствование методики определения оборота вагона на подъездных путях металлургического предприятия для универсального подвижного состава в условиях применения сдвоенных операций.

Авторы используют общенаучные методы, математические методы, сравнительный анализ.

В данной статье приводятся основные положения методики, которая позволит определять оборот полуавтоматов с одной и двумя операциями в виде единого показателя – средневзвешенного оборота вагона.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, операторская компания, подвижной состав, металлургическое предприятие, оборот вагона.

*Информация об авторах:

Попов Алексей Тимофеевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, popov@stu.lipetsk.ru.

Хмелев Артем Сергеевич – аспирант кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, khmeleff_art@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.08.2019, принята к публикации 03.12.2019.

For the English text of the article please see p. 190.

Железнодорожный транспорт metallurgicheskogo predpriyatiya predstavляет soboy slozhnuyu mnogofaktornuyu i mnogokriterialnuyu sistemuyu, kotoraya xarakterizuyetsya znauchtelnyimi ob'ymami vходящego i исходящего gрузопотокov, широкой номенклатурой перевозимых грузов i различnymi видами ПС. В ходе проведения анализа текущего состояния практики в сфере управления транспортными потоками metallurgii авторами была составлена схема существующих вагонопотоков (рис. 1).

C точки зрения юридического оформления в России предоставление вагонов под перевозку грузов metallurgicheskogo комбината осуществляется на основе договора транспортно-экспедиторского обслуживания (оперирования) между оператором и предприятием, в котором указывается ставка привлечения вагона и нормируется время нахождения подвижного состава (ПС) на подъездном пути необщего пользования [1, c. 299]. В случае превышения данного оборота предприятие получает штраф за сверхнормативный срок нахождения вагона на своих путях, а если фактическое время

ниже указанного, то оператор может выплатить премию [2, c. 265].

Грузовой вагон большую часть времени должен находиться в груженом рейсе, а его простой без движения или порожний пробег лишь увеличивают убытки и представляют собой в экономическом отношении упущенную выгоду [3, c. 60].

Из этого следует, что, во-первых, metallurgicheskiy kombinat priamo zaинтересован в сокращении времени нахождения вагонов na подъездных путях, t.k. снижение затрат на привлечение ПС автоматически снижает долю транспортных расходов в себестоимости metalloproduktsii и повышает рентабельность. А, во-вторых, ускорение оборота вагона позволяет операторской компании выполнять аналогичный об'ём перевозок при меньшей численности вагонного парка [4, c. 106].

В этих условиях особую роль играет методика, с помощью которой определяется время нахождения вагонов на подъездных путях. Она должна быть понятной, объективной и давать возможность верно оценивать текущую ситуацию по обороту. Для этого целесообразно использовать единый показатель, который, с одной стороны, даёт представление



Рис. 1. Схема вагонопотоков.

1) Вагон с одной операцией (прибытие–выгрузка–сдача)



2) Вагон с двумя операциями (прибытие–выгрузка–погрузка–сдача)



3) Вагон с одной операцией (прибытие–погрузка–сдача)



Рис. 2. Прибытие и сдача вагона на сеть.

о времени нахождения ПС на комбинате, а с другой – позволяет без дополнительных трудозатрат отделить оборот вагонов с одной операцией от оборота вагонов со сдвоенными операциями [5, с. 34]. Применение подобной методики поможет выявить непроизводительный простой ПС и наметить план дальнейших действий по устранению «узких мест» в технологическом процессе.

Намеченный курс на цифровизацию металлургических предприятий в частности и российской экономики в целом также выдвигает свои требования к определению количественных показателей работы железнодорожного транспорта, которые являются одним из критериев эффективности перевозочного процесса. Именно оборот вагона представляет собой один из таких показателей, что обуславливает необходимость его точного и автоматизированного расчёта. Этим вопросом продолжают заниматься как отечественные, так и зарубежные исследователи [6, с. 169; 7, с. 130].

В связи с этим актуальным является применение математических методов для моделирования транспортных потоков и определения показателей работы железной дороги с целью проведения даль-

нейшего сравнительного анализа и определения направлений оптимизации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОРОТА ВАГОНА

Общая формула оборота имеет вид [8]:

$$Q = \frac{1}{24} \left(\frac{L}{V_{yq}} + k_{tex} \cdot t_{tex} + k_m \cdot t_{zp} \right), \quad (1)$$

где L – рейс вагона, км;

V_{yq} – участковая скорость движения, км/ч;

k_{tex} – количество технических станций в пути следования;

t_{tex} – время нахождения вагона на технической станции (среднее), ч;

k_m – коэффициент местной работы, который показывает количество грузовых операций за время одного оборота вагона;

t_{zp} – время нахождения вагона под грузовой операцией (среднее), ч.

Из формулы (1) видно, что оборот вагона состоит из трёх основных элементов: непосредственное время хода, простой на технологических станциях и простой на станциях погрузки и выгрузки. При этом следует разграничивать зоны ответственности каждого из участников перевозки. Подавляющее большинство металлургических комбинатов имеют собственный локомотивный парк, по-

этому вагоны забираются со станций примыканий локомотивами ветвевладельца, что оговаривается договором на эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования. Таким образом, зона ответственности предприятия за оборот начинается от момента зачисления ПС (прибытие на комбинат) и заканчивается выставлением вагонов и предъявлением их к перевозке – сдача на сеть.

Рассмотрим авторскую схему прибытия и сдачи вагона на сеть на примере одного из крупнейших металлургических комбинатов России (рис. 2).

Последний из показанных на рисунке типов характерен для платформ, цистерн и других видов специализированного ПС, которые в рамках данной статьи рассматриваются не будут.

1) Вагон с одной операцией (прибытие–выгрузка–сдача)

Отсчёт времени нахождения вагона на подъездном пути необщего пользования начинается с момента его зачисления. После расформирования состава, подачи на грузовой фронт и выгрузки происходит уборка порожних вагонов, формирование передаточного состава на сеть и выставление готового поезда на станцию примыкания.

В этом случае время нахождения полувагона на путях необщего пользования определяется по формуле [9, с. 85]:

$$t_1 = t_{\text{пр.пр}} + t_{\text{расф}} + t_{\text{н.п}} + t_{\text{под}} + t_{\text{пост}} + t_{\text{выгр}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{сорт}} + t_{\text{н.с}} + t_{\text{форм}} + t_{\text{пр.отп}} + t_{\text{выст}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{пр.пр}}$ – время простоя вагонов на внутренней станции;

$t_{\text{расф}}$ – время на расформирование состава, ч;

$t_{\text{н.п}}$ – время накопления подачи, ч;

$t_{\text{под}}$ – время на подачу вагонов на грузовой фронт, ч;

$t_{\text{пост}}$ – время на постановку вагонов на фронт выгрузки, ч;

$t_{\text{выгр}}$ – время выгрузки, ч;

$t_{\text{уб}}$ – время на уборку вагонов, ч;

$t_{\text{сорт}}$ – время на сортировку вагонов, ч;

$t_{\text{н.с}}$ – время простоя вагонов под накоплением, ч;

$t_{\text{форм}}$ – время формирования состава, ч;

$t_{\text{пр.отп}}$ – время простоя в парке отправления, ч;

$t_{\text{выст}}$ – время на выставление вагонов на станцию примыкания, ч.

Для упрощения формулы (2) время нахождения вагона с одной операцией на путях предприятия можно представить как:

$$t_1 = t_{\text{п-выгр}} + t_{\text{выгр-с}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{п-выгр}}$ – время от момента прибытия вагона до момента окончания выгрузки, ч; $t_{\text{п-выгр}} = t_{\text{пр.пр}} + t_{\text{расф}} + t_{\text{н.п}} + t_{\text{под}} + t_{\text{пост}} + t_{\text{выгр}},$

где $t_{\text{выгр-с}}$ – время от момента окончания выгрузки до момента сдачи порожнего вагона на сеть, ч.

$$t_{\text{выгр-с}} = t_{\text{уб}} + t_{\text{сорт}} + t_{\text{н.с}} + t_{\text{форм}} + t_{\text{пр.отп}} + t_{\text{выст}}. \quad (5)$$

2) Вагон с двумя операциями (прибытие–выгрузка–погрузка–сдача)

Если вагон после выгрузки подаётся на другой грузовой фронт для последующей погрузки, то в этом случае его оборот вычисляется следующим образом [9, с. 85]:

$$t_2 = t_{\text{пр.пр}} + t_{\text{расф}} + t_{\text{н.п}} + t_{\text{под}} + t_{\text{пост}} + t_{\text{выгр}} + t_{\text{уб}} + t_{\text{сорт}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{под.п}} + t_{\text{погр}} + t_{\text{уб.гр}} + t_{\text{н.с}} + t_{\text{форм}} + t_{\text{пр.отп}} + t_{\text{выст}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{пер}}$ – время на перемещение вагонов к фронту погрузки, ч;

$t_{\text{под.п}}$ – время на подачу под погрузку, ч;

$t_{\text{погр}}$ – время погрузки, ч;

$t_{\text{уб.гр}}$ – время на уборку гружёных вагонов, ч.

По аналогии с оборотом вагона с одной операцией формулу (4) запишем в виде:

$$t_2 = t_{\text{п-выгр}} + t_{\text{выгр-погр}} + t_{\text{погр-с}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{выгр-погр}}$ – время от момента окончания выгрузки до момента окончания погрузки, ч;

$$t_{\text{выгр-погр}} = t_{\text{уб}} + t_{\text{сорт}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{под.п}} + t_{\text{погр}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{погр-с}}$ – время от момента окончания погрузки до момента сдачи гружёного вагона на сеть, ч:

$$t_{\text{погр-с}} = t_{\text{уб.гр}} + t_{\text{н.с}} + t_{\text{форм}} + t_{\text{пр.отп}} + t_{\text{выст}}. \quad (9)$$

СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЙ ОБОРОТ ВАГОНА

Для осуществления коммерческих расчётов с оператором ведётся раздельный учёт вагонов с одной и с двумя операциями. Ведение такого учёта в техническом отношении не совсем удобно по следующим причинам:



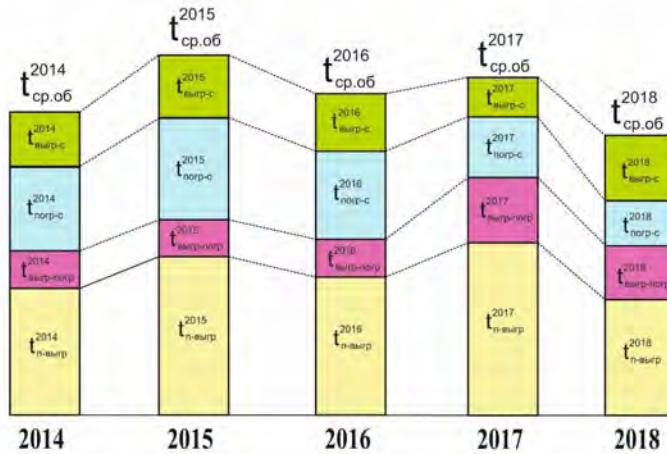


Рис. 3. Пример динамики изменения средневзвешенного оборота.

- сложность отслеживания времени на каждом этапе: «прибытие–выгрузка», «выгрузка–погрузка», «выгрузка–сдача», «погрузка–сдача»;

- отсутствие единого значения, отражающего ситуацию по обороту в целом, с разделением на вагоны с одной и двумя операциями.

В этом случае целесообразно введение нового показателя – средневзвешенный оборот вагона, который состоит из четырёх элементов: $t_{n\text{-выгр}}$, $t_{\text{выгр-}c}$, $t_{\text{выгр-погр}}$, $t_{\text{погр-}c}$. Для того чтобы показатель наиболее полно и адекватно отображал существующую ситуацию, необходимо определить время для каждого из этапов (следует учитывать отдельно зимний и летний периоды) и для дальнейших расчётов принять среднее значение по каждому:

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sum_{n=1}^N t_{(n\text{-выгр})n}}{N}, \quad (10)$$

где N – количество вагонов на этапе «прибытие–выгрузка».

$$t_{\text{выгр-}c} = \frac{\sum_{m=1}^M t_{(\text{выгр-}c)m}}{M}, \quad (11)$$

где M – количество вагонов на этапе «выгрузка–сдача».

$$t_{\text{выгр-погр}} = \frac{\sum_{l=1}^L t_{(\text{выгр-погр})l}}{L}, \quad (12)$$

где L – количество вагонов на этапе «выгрузка–погрузка».

$$t_{\text{погр-}c} = \frac{\sum_{i=1}^I t_{(\text{погр-}c)i}}{I}, \quad (13)$$

где I – количество вагонов на этапе «погрузка–сдача».

После этого определяется доля ПС, сдаваемого после выгрузки на сеть в пустом состоянии, и вагонов, направляемых под погрузку. Окончательный расчёт средневзвешенного оборота осуществляется по формуле:

$$t_{\text{cr.об}} = t_{n\text{-выгр}} + \frac{t_{\text{расч}} \cdot X}{100} + \frac{t_{\text{выгр-погр}} \cdot Y}{100} + \frac{t_{\text{погр-}c} \cdot Y}{100}, \quad (14)$$

где X – доля вагонов с одной операцией, %;

Y – доля вагонов с двумя операциями, %.

При наличии на предприятии информационной системы контроля за вагонами указанный расчёт следует автоматизировать с целью сокращения затрат времени на его выполнение, а также обеспечить накопление данных за истекшие периоды и визуализировать полученные значения для наглядной демонстрации времени нахождения ПС на подъездных путях. В результате определения времени нахождения вагона на подъездном пути крупного металлургического предприятия авторами был построен следующий график, показывающий динамику изменения средневзвешенного оборота вагона за последние пять лет (рис. 3).

ВЫВОДЫ

В современных рыночных условиях эффективная эксплуатация как своих, так и привлечённых вагонов включает в себя улучшение показателей использования ПС и снижение транспортных расходов. В то же время недостаточный уровень развития управления вагонным парком снижает значения производительности и увеличивает нагрузку на инфраструктуру [10, с. 72].

Применение методики определения средневзвешенного оборота вагона на подъездных путях металлургического предприятия позволит повысить точность и достоверность расчёта срока нахождения ПС внутри комбината, а специалистам транспортной логистики даст возможность контролировать время нахождения полувагона на каждом из четырёх этапов: прибытие, выгрузка, погрузка, отправление, чтобы оперативно реагировать на превышение нормативных значений. Это, в свою очередь, улучшит эффективность работы всей системы промышленного железнодорожного транспорта и благоприятно отразится на транспортной инфраструктуре. Дальнейшим развитием методики будет переход на оперативную технологически-экономическую оценку результатов работы, основанную на натурально-стоимостном измерителе, которая ясно отразит связь между трудом работников транспорта и оплатой результатов [11, с. 39]. Материальное стимулирование в этом случае повысит уровень конкурентных отношений внутри коллектива, увеличит производительность труда и снизит транспортные расходы [12, с. 75].

Следующим этапом совершенствования методики расчёта средневзвешенного оборота можно определить её автоматизацию и распространение на специализированный ПС с разделением времени нахождения внутри металлургического комбината на соответствующие этапы.

Предлагаемая методика определения оборота полувагонов на подъездном пути металлургического предприятия может, на наш взгляд, найти применение как на промышленных площадках различных отраслей экономики нашей страны, так и за рубежом [13, с. 38; 14, с. 435].

ЛИТЕРАТУРА

- Хмелев А. С., Попов А. Т. Обзор рынка железнодорожных грузоперевозок // Школа молодых учёных по проблемам технических наук: Сборник материалов областного профильного семинара. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 298–302.
- Хмелев А. С., Попов А. Т. Оптимизация взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ПТТ 2018: Материалы I международной научно-практ. конференции. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 262–269.
- Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Эффективное использование собственных вагонов транспортных компаний на логистических принципах // Экономика железных дорог. – 2014. – № 6. – С. 60–67.
- Зубков В. В., Сирина Н. Ф. Методы определения критерии эффективности транспортно-производственного процесса // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3 (75). – С. 100–108.
- Портнова О. Ю. О некоторых проблемах и содержащихся факторах развития регионального рынка железнодорожных перевозок // Транспорт Урала. – 2013. – № 2 (37). – С. 32–37.
- Goosens, J. H. M. Models and algorithms for railway line planning problems. Ph.D. thesis. University of Maastricht, Netherlands, 2004, 182 p. [Электронный ресурс]: https://mafiadoc.com/models-and-algorithms-for-railway-line-planning_5c347b30097c4766178b4594.html. Доступ 03.08.2019.
- Baublys, A. Introduction to the theory of transport systems (Transporto sistemas teorijos ivadas). Vilnius, Technika, 1997, 298 p. (in Lithuanian).
- Об утверждении порядка мониторинга обеспечения железнодорожным подвижным составом грузовладельцев и использования железнодорожного подвижного состава участниками перевозочного процесса и методики оценки эффективности использования железнодорожного подвижного состава: приказ Минтранса РФ от 5 мая 2012 г., № 136. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_134024/9e132d50f2de3667a6740624cedc9d56be5b4616. Доступ 03.08.2019.
- Ерофеева Е. А., Зубков В. Н. Совершенствование методики технического нормирования показателя «оборот вагона» в условиях множественности операторов подвижного состава // Электронный научный журнал. – 2016. – № 6. – С. 80–89.
- Жаркова А. А. Исследование эффективности использования подвижного состава при взаимодействии операторских компаний и предприятий промышленного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3. – С. 71–75.
- Попов А. Т., Суслова О. А. Оптимизация технологического процесса промышленного железнодорожного транспорта металлургического комбината // Промышленный транспорт XXI век. – 2006. – № 5–6. – С. 37–40.
- Логинова И. А., Сухих К. Г. Разработка системы материального стимулирования в условиях модернизации // Казанская наука. – 2010. – № 4. – С. 72–77.
- Parunakyan, V., Sizova, E. Designing of logistical chains inside production and transport system of metallurgical enterprise. Transport problems, 2013, Vol. 8, Iss. 1, pp. 35–45.
- Бауэрсокс Д. Д., Клосс Д. Д. Логистика: Интегрированная цепь поставок. 2-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2008. – 640 с. ●





Improving the Methodology for Calculating the Average Turnover of Gondola Cars of an Iron and Steel Plant



Alexey T. POPOV



Artem S. KHMELEV

Popov, Alexey T., Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.

Khmelev, Artem S., Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.*

ABSTRACT

The average daily mileage of a wagon, its productivity and turnover determine the level of efficiency of rolling stock use. The car turnover is calculated and normalized not only for the fleet as a whole, but also for each type of rolling stock, for a particular region and road, depending on the nature of the transportation work. Accelerating car turnover increases its productivity and increases profit of an operator company. At the same time, its decrease negatively affects the capacity of the infrastructure, entails an increase in the cost of shunting and train work, which means that it will increase the cost of transportation.

In modern conditions, turnover is determined for each participant in transportation in accordance with his area of responsibility. For an iron and steel plant, the use of an optimal

methodology for recording the time spent by a wagon on its tracks allows us to adequately assess this important quality indicator, as well as to monitor its change as a result of introduction of new technologies for transport maintenance of workshops, reconstruction of station layout and optimization of the transportation process.

The objective of the study is to improve the methodology for determining car turnover on access roads of a metallurgical enterprise for universal rolling stock in the context of dual operations.

The authors use general scientific methods, mathematical methods, comparative analysis.

This article presents the main provisions of the methodology, which will allow determining turnover of gondola cars subject to a single or dual operations in the form of a single indicator which is average weighted car turnover.

Keywords: railway transport, operator company, rolling stock, metallurgical enterprise, car turnover.

*Information about the authors:

Popov, Alexey T. – Ph.D. (Eng), Professor, Head of the Department of Traffic Management of Lipetsk State Technical University (LSTU), Lipetsk, Russia, popov@stu.lipetsk.ru.

Khmelev, Artem S. – Ph.D. student at the Department of Traffic Management of Lipetsk State Technical University (LSTU), Lipetsk, Russia, khmeleff_art@mail.ru.

Article received 15.08.2019, accepted 03.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 184.

Background. Railway transport of a metallurgical enterprise is a complex multi-factor and multi-criteria system, which is characterized by significant volumes of incoming and outgoing cargo flows, a wide range of goods transported and various types of rolling stock. In the course of analysis of the current practices in the field of metallurgical traffic management, the authors compiled a diagram of the existing car flows (Pic. 1).

From the point of view of legal regulation in Russia, provision of cars for transportation of goods by a metallurgical plant is carried out on the basis of a freight forwarding service (operation) agreement between the operator and the enterprise, which indicates the cost rate of provision of a car and normalizes time spent by rolling stock (RS) on the private access tracks [1, p. 299]. If this turnover is exceeded, the enterprise receives a fine for the excess time spent by a wagon on its tracks, and if the actual time is less than indicated, the operator can pay a premium [2, p. 265].

A freight wagon should spend most of the time in a loaded run, and its idle time or empty run only increase losses and represent economically lost profit [3, p. 60].

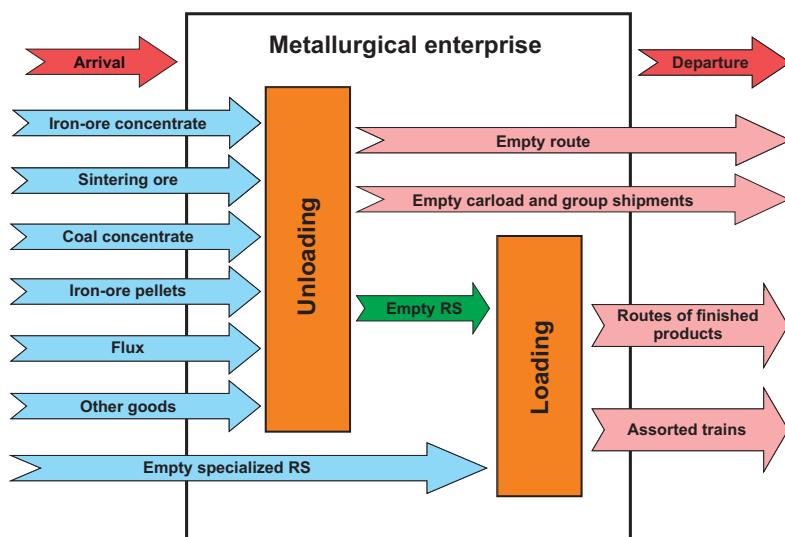
From this it follows that, firstly, a metallurgical enterprise is directly interested in reducing time spent by cars on access tracks, because lower costs for attracting rolling stock automatically reduce the share of transportation costs in the cost of metal products and increase

profitability. And secondly, acceleration of car turnover will allow the operator company to carry out a similar volume of traffic with a smaller number of wagon fleet [4, p. 106].

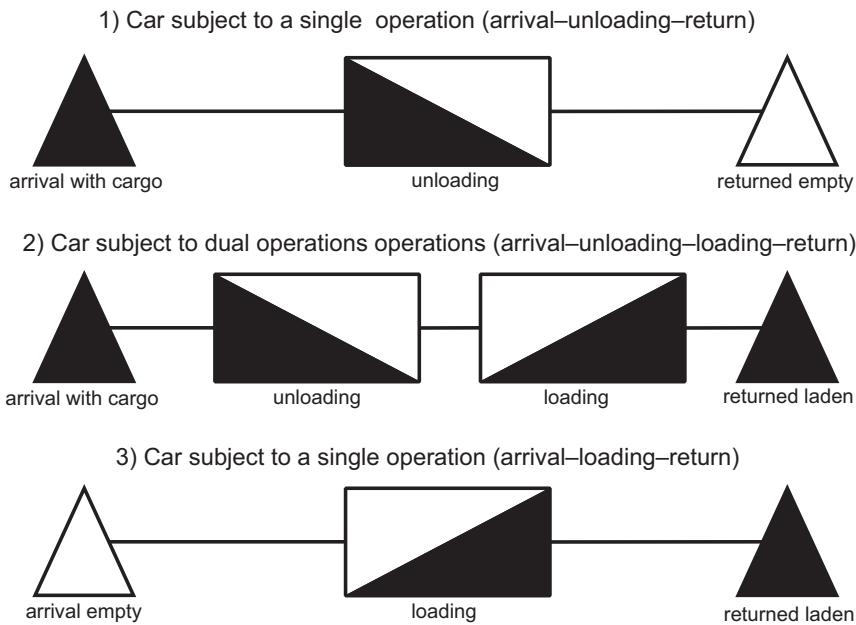
In these conditions, a special role is played by the methodology, with the help of which time spent by cars on access tracks is determined. It should be understandable, objective and give the opportunity to correctly assess the current situation in terms of turnover. To do this, it is advisable to use a single indicator, which on the one hand gives an idea of time spent by RS at the plant, and on the other, without additional labour costs makes it possible to separate turnover of cars subject to a single operation from cars subject to dual operations [5, p. 34]. The application of such a technique will help to identify unproductive idle time of rolling stock and outline a plan for further actions to eliminate bottlenecks in the process.

The planned course towards digitalization of metallurgical enterprises in particular and the Russian economy as a whole also puts forward its requirements for determining quantitative indicators of railway transport, which are among criteria that helps to evaluate the efficiency of the transportation process. It is car turnover that represents one of these indicators, which necessitates its accurate and automated calculation. Both domestic and foreign researchers continue to deal with this issue [6, p. 169; 7, p. 130].

In this regard, it is relevant to use mathematical *methods* to model traffic flows and



Pic. 1. Scheme of car flows.



Pic. 2. Arrival and delivery of a car to the network.

determine performance of the railway in order to conduct further comparative analysis and determine optimization guidelines.

Objective. The *objective* of the study is to improve the methodology for determining car turnover on access tracks of a metallurgical enterprise for universal rolling stock in the context of dual operations.

Methods. The authors use general scientific methods, mathematical methods, comparative analysis.

Results.

Determination of car turnover

The general formula for turnover has a form [8]:

$$Q = \frac{1}{24} \left(\frac{L}{V_{\text{sec}}} + k_{\text{tech}} \cdot t_{\text{tech}} + k_l \cdot t_{\text{fr}} \right), \quad (1)$$

where L – car run, km;

V_{sec} – sectional speed of movement, km/h;

k_{tech} – number of technical stations en route;

t_{tech} – time of car stay at a technical station (average), h;

k_l – coefficient of local work, that shows the number of freight operations per time of turnover of one car;

t_{fr} – time spent by a car during a freight operation (average), h;

From the formula (1) it can be seen that car turnover consists of three main elements: direct travel time, idle time at technological stations and idle time at loading and unloading stations. In

this case, it is necessary to differentiate the areas of responsibility of each of the participants in the transportation. The vast majority of metallurgical plants have their own locomotive fleet, so the cars are taken from the adjoining stations by the plant owner's locomotives, and this is stipulated by the contract for operation of the non-public railway. Thus, the area of responsibility of the enterprise for turnover starts from the moment RS is delivered (arrival at the plant) and ends with cars being put up and provided for transportation, that is delivery to the network.

Let's consider the author's scheme of arrival and delivery of a car to the network using the example of one of the largest iron and steel plants in Russia (Pic. 2).

The latter model shown in Pic. 2 is typical of platforms, tanks and other types of specialized RS, which will not be considered in this article.

1) Car subject to a single operation (arrival–unloading–return)

Calculation of time spent by the car on non-public access tracks starts from the moment the car is recorded as delivered one. After the train is disbanded, delivered to the freight front and unloaded, empty cars are removed, the transfer train is formed to be returned to the network and the train is put up at the adjoining station.

In this case, time spent by the gondola car on non-public tracks is determined by the formula [9, p. 85]:

$$t_1 = t_{\text{id.i.}} + t_{\text{disb.}} + t_{\text{d.a.}} + t_{\text{del.}} + t_{\text{set.}} + t_{\text{unload.}} + t_{\text{rem.}} + t_{\text{sort.}} + t_{\text{id.a.}} + t_{\text{form.}} + t_{\text{id.dep.}} + t_{\text{set.}}, \quad (2)$$

where $t_{\text{id.i.}}$ – idle time of cars at the internal station;

$t_{\text{disb.}}$ – time to disband the train, h;
 $t_{\text{d.a.}}$ – delivery accumulation time, h;
 $t_{\text{del.}}$ – time for delivery of cars to the freight front, h;
 $t_{\text{set.}}$ – time for setting cars to the unloading front, h;
 $t_{\text{unload.}}$ – unloading time, h;
 $t_{\text{rem.}}$ – time for removal of cars, h;
 $t_{\text{sort.}}$ – time for cars sorting, h;
 $t_{\text{id.a.}}$ – idle time of cars under accumulation, h;
 $t_{\text{form.}}$ – time of train formation, h;
 $t_{\text{id.dep.}}$ – idle time in departure zone, h;
 $t_{\text{set.}}$ – time for setting cars to the adjoining station, h.

To simplify the formula (2), time spent by the car subject to a single operation on the enterprise's tracks can be represented as:

$$t_1 = t_{\text{a-unload.}} + t_{\text{unload-r.}}, \quad (3)$$

where $t_{\text{a-unload.}}$ – time from arrival of the car until the end of unloading, h;

$$t_{\text{a-unload.}} = t_{\text{id.i.}} + t_{\text{disb.}} + t_{\text{d.a.}} + t_{\text{del.}} + t_{\text{set.}} + t_{\text{unload.}}, \quad (4)$$

$t_{\text{unload-r.}}$ – time from the moment unloading is completed until the empty car is delivered to the network, h;

$$t_{\text{unload-r.}} = t_{\text{rem.}} + t_{\text{sort.}} + t_{\text{id.a.}} + t_{\text{form.}} + t_{\text{id.dep.}} + t_{\text{set.}} \quad (5)$$

2) Car subject to dual (two) operations (arrival–unloading–loading–return)

If the car after unloading is delivered to another freight front for subsequent loading, then in this case its turnover is calculated as follows [9, p. 85]:

$$t_2 = t_{\text{id.i.}} + t_{\text{disb.}} + t_{\text{d.a.}} + t_{\text{del.}} + t_{\text{set.}} + t_{\text{unload.}} + t_{\text{rem.}} + t_{\text{sort.}} + t_{\text{mov.}} + t_{\text{del.l.}} + t_{\text{load.}} + t_{\text{rem.lad.}} + t_{\text{id.a.}} + t_{\text{form.}} + t_{\text{np.orn.}} + t_{\text{set.}}, \quad (6)$$

where $t_{\text{mov.}}$ – time for moving cars to the front of loading, h;

$t_{\text{del.l.}}$ – time for delivery for loading, h;

$t_{\text{load.}}$ – loading time, h;

$t_{\text{rem.lad.}}$ – time for removal of laden cars, h.

By analogy with turnover of a car subject to a single operation, we write the formula (4) in the form:

$$t_2 = t_{\text{a-unload.}} + t_{\text{unload-load.}} + t_{\text{load-r.}}, \quad (7)$$

where $t_{\text{unload-load.}}$ – time from the end of unloading to the end of loading, h;

$$t_{\text{unload-load.}} = t_{\text{rem.}} + t_{\text{sort.}} + t_{\text{mov.}} + t_{\text{del.l.}} + t_{\text{load.}}, \quad (8)$$

where $t_{\text{load-r.}}$ – time from the end of loading to the moment of return of a laden wagon to the network, h.

$$t_{\text{load-r.}} = t_{\text{rem.lad.}} + t_{\text{id.a.}} + t_{\text{form.}} + t_{\text{id.dep.}} + t_{\text{set.}} \quad (9)$$

Weighted average car turnover

For commercial settlements with the operator, separate accounting of cars subject to a single or dual operations is carried out. Maintaining such records is technically not very convenient for the following reasons:

- difficulty of tracking time at each stage: «arrival–unloading», «unloading–loading», «unloading–return», «loading–return»;
- absence of a single value reflecting the situation as a whole in terms of turnover while differentiating cars subject to a single or dual operations.

In this case, it is advisable to introduce a new indicator which is weighted average car turnover, consisting of four elements: $t_{\text{a-unload.}}$, $t_{\text{unload-r.}}$, $t_{\text{unload-load.}}$, $t_{\text{load-r.}}$. In order for the indicator to most fully and adequately reflect the current situation, it is necessary to determine time for each of the situations (winter and summer periods should be taken into account separately) and for further calculations take the average value for each:

$$t_{\text{a-unload.}}^{\text{cal}} = \frac{\sum_{n=1}^N t_{(a-unload)n}}{N}, \quad (10)$$

where N – number of cars at the stage «arrival–unloading».

$$t_{\text{unload-r.}}^{\text{cal}} = \frac{\sum_{m=1}^M t_{(unload-r)m}}{M}, \quad (11)$$

where M – number of cars at the stage «unloading–return».

$$t_{\text{unload-load.}}^{\text{cal}} = \frac{\sum_{l=1}^L t_{(unload-load)l}}{L}, \quad (12)$$

where L – number of cars at the stage «unloading–loading».

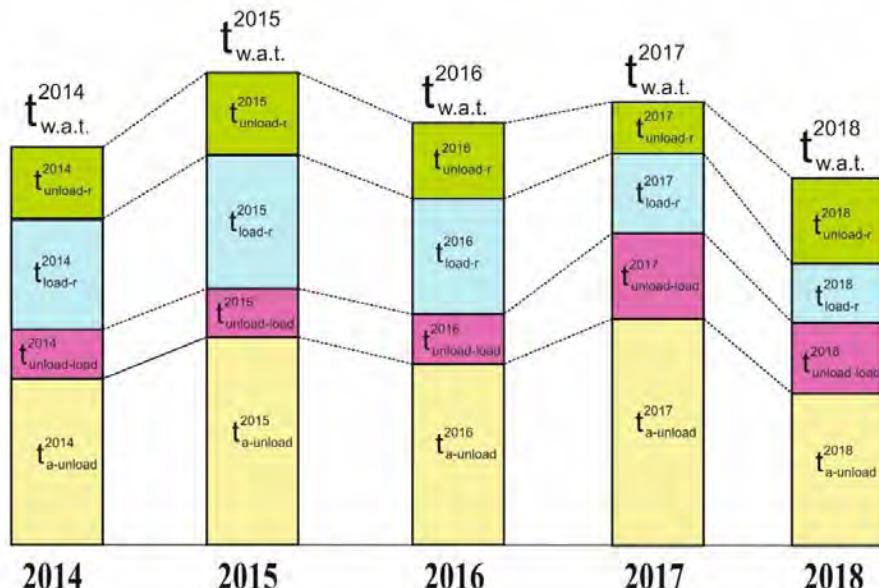
$$t_{\text{load-r.}}^{\text{cal}} = \frac{\sum_{j=1}^I t_{(load-r)j}}{I}, \quad (13)$$

where I – number of cars at the stage «loading–return».

After that, the share of rolling stock returned empty after unloading to the network and cars sent for loading is determined. The final calculation of weighted average turnover is carried out according to the formula:

$$t_{\text{w.a.t.}} = t_{\text{a-unload.}}^{\text{cal}} + \frac{t_{\text{unload-r.}}^{\text{cal}} \cdot X}{100} + \frac{t_{\text{unload-load.}}^{\text{cal}} \cdot Y}{100} + \frac{t_{\text{load-r.}}^{\text{cal}} \cdot Y}{100}, \quad (14)$$





Pic. 3. Example of dynamics of weighted average turnover.

where X – share of cars subject to a single operation, %;

Y – share of cars subject to two operations, %.

If the enterprise has an information system for monitoring cars, this calculation should be automated in order to reduce time spent on it, as well as to ensure accumulation of data of the past periods and visualize the obtained values to clearly demonstrate time spent by rolling stock on the access tracks. As a result of determining time spent by a car on the access tracks of a large metallurgical enterprise, the authors constructed the following graph showing the dynamics of the change in weighted average car turnover over the past five years (Pic. 3).

Conclusions. In modern market conditions, the effective operation of both own and third parties' cars includes improvement in the operation of rolling stock and decrease in transportation costs. At the same time, an insufficient level of development of fleet management reduces productivity and increases load on the infrastructure [10, p. 72].

The application of the methodology for determining weighted average car turnover on the access tracks of a metallurgical enterprise will increase accuracy and reliability of calculating time spent by rolling stock inside

the plant, and transport logistics specialists will be able to control time spent by a gondola car at each of four stages (arrival, unloading, loading, departure) to respond quickly to exceed standard values. This, in turn, will improve the efficiency of the entire industrial railway transport system and will have a beneficial effect on transport infrastructure. A further development of the methodology will be transition to operational technological and economic assessment of the results of work, based on a natural value meter, which will clearly reflect the relationship between the work of transport workers and payment of the results [11, p. 39]. Material incentives in this case will increase the level of competitive relations within the team, increase labour productivity and reduce transportation costs [12, p. 75].

The next step in improving the methodology for calculating the weighted average turnover is its automation and application to specialized rolling stock with differentiation of time spent inside the metallurgical plant at the appropriate stages.

The proposed methodology for determining turnover of gondola cars on the access road of a metallurgical enterprise can, in our opinion, find application both at industrial sites in various sectors of the economy of Russia and foreign countries [13, p. 38; 14, p. 435].

REFERENCES

1. Khmelev, A. S., Popov, A. T. Railway freight transportation market review [Obzor rynka zheleznodorozhnykh gruzoperevozok]. *School of Young Scientists on the Problems of Technical Sciences: Proceedings of the regional specialized seminar*. Lipetsk, LSTU, 2018, pp. 298–302.
2. Khmelev, A. S., Popov, A. T. Optimization of interaction of an industrial enterprise and operator companies [Optimizatsiya vzaimodeistviya promyshlennogo predpriyatiya i operatorskikh kompanii]. *Infocommunication and Intelligent Technologies in Transport IIIT 2018: Proceedings of International scientific and practical conference*. Lipetsk, LSTU, 2018, pp. 262–269.
3. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Effective use of own cars of transport companies following logistic principles [Effektivnoe ispolzovanie sobstvennykh vagonov transportnykh kompanii na logisticheskikh printsipakh]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2014, Iss. 6, pp. 60–67.
4. Zubkov, V. V., Sirina, N. F. Methods for determining the criteria for effectiveness of the transport-production process [Metody opredeleniya kriteriev effektivnosti transportno-proizvodstvennogo protsessa]. *Bulletin of Rostov State Transport University*, 2019, Iss. 3 (75), pp. 100–108.
5. Portnova, O. Yu. On some problems and constraints of development of the regional railway transportation market [O nekotorykh problemakh i sderzhivayushchikh faktorakh razvitiya regionalnogo rynka zheleznodorozhnykh perevozok]. *Transport Urala*, 2013, Iss. 2 (37), pp. 32–37.
6. Goosens, J. H. M. Models and algorithms for railway line planning problems. Ph.D. thesis. University of Maastricht, Netherlands, 2004, 182 p. [Electronic resource]: https://mafiadoc.com/models-and-algorithms-for-railway-line-planning_5c347b30097c4766178b4594.html. Last accessed 03.08.2019.
7. Baublys, A. Introduction to the theory of transport systems (Transporto sistemas teorijos ivadas). Vilnius, Technika, 1997, 298 p. (in Lithuanian).
8. On approval of the monitoring procedure for provision of railway rolling stock for cargo owners and the use of railway rolling stock by participants in the transportation process and the methodology for assessing the effectiveness of the use of railway rolling stock. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of May 5, 2012, No. 136 [Ob utverzhdenii poryadka monitoringa obespecheniya zheleznodorozhnym podvizhnym sostavom gruzovladeltsev i ispolzovaniya zheleznodorozhного подвижного состава участниками перевозочного процесса и методики оценки эффективности использования железнодорожного подвижного состава: приказ Минтранса РФ от 5 мая 2012, № 136]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_134024/9e132d50f2de3667a6740624cedc9d5c6e5b4616. Last accessed 03.08.2019.
9. Erofeeva, E. A., Zubkov, V. N. Improvement of the technique of technical standardization of the indicator «car turnover» under conditions of multiplicity of rolling stock operators [Sovershenstvovanie metodiki tekhnicheskogo normirovaniya pokazatelya «oborot vagona» v usloviyah mnozhestvennosti operatorov podvizhnogo sostava]. *Electronic Scientific Journal*, 2016, Iss. 6, pp. 80–89.
10. Zharkova, A. A. Research on efficiency of using rolling stock in interaction of operator companies and industrial transport enterprises [Issledovanie effektivnosti ispolzovaniya podvizhnogo sostava pri vzaimodeistvii operatorskikh kompanii i predpriyatiy promyshlennogo transporta]. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*, 2014, Iss. 3, pp. 71–75.
11. Popov, A. T., Suslova, O. A. Optimization of the technological process of industrial railway transport of a metallurgical plant [Optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa pro/myshlennogo zheleznodorozhного transporta metallurgicheskogo kombinata]. *Promyshlenniy transport XXI vek*, 2006, Iss. 5–6, pp. 37–40.
12. Loginova, I. A., Sukhikh, K. G. Development of a material incentive system under modernization [Razrabotka sistemy materialnogo stimulirovaniya v usloviyah modernizatsii]. *Kazanskaya nauka*, 2010, Iss. 4, pp. 72–77.
13. Parunakyan, V., Sizova, E. Designing of logistical chains inside production and transport system of metallurgical enterprise. *Transport problems*, 2013, Vol. 8, Iss. 1, pp. 35–45.
14. Bowersox, D. J., Closs, D. J. Logistics: Integrated Supply Chain [Russian title: Logistika: Integrirovannaya tsep' postavok]. 2nd ed. Moscow, Olymp-Business, 2008, 640 p. ●



К вопросу нормативного обеспечения эксплуатации пассажирских электрических транспортных средств



Максим КУДРЯШОВ



Александр ПРОКОПЕНКОВ



Радион АЙРИЕВ

*Кудряшов Максим Александрович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.
 Прокопенко Александр Владимирович – Ассоциация «ТАМА», Москва, Россия.
 Айриев Радион Саркисович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия*.*

В статье приведены результаты промежуточного этапа реализации исследований по разработке проекта создания инфраструктуры эксплуатации высокоэкологичных электрических транспортных средств.

Переход на электрический транспорт является одним из методов решения проблемы выбросов и достижения экологических целей. Электробус – относительно новый тип подвижного состава, в связи с чем необходимо взвешенное и объективное обоснование выбора тех или иных возможных вариантов технических, технологических, экономических и других аспектов решения задачи организации его работы на маршруте.

Для достижения цели по разработке проекта создания инфраструктуры эксплуатации высокоэкологичных электрических транспортных средств выполнен первичный анализ нормативных правовых актов, технических характеристик электробусов и требуемой инфраструктуры в парке и на

маршруте, подходов к организации перевозок электробусами с различными концепциями зарядки. Проведённый анализ концепций зарядки батарей электробусов позволил их разделить на 5 классов и объединить в 3 группы по скорости зарядки. Анализ требуемой инфраструктуры для работы электробусов показал, что концептуально существуют 2 типа зарядных станций.

Проведены расчёты и оценка различных вариантов организации работы электробусов на фиксированном маршруте с различными концепциями зарядок. Необходимым направлением дальнейших исследований является экономическая оценка эксплуатации электробусов с различными концепциями зарядки и необходимой транспортной инфраструктуры.

В качестве методов использованы анализ, оценка ранее выполненных аналитических исследований, нормативно-правовых актов и обобщение отечественного и зарубежного опыта.

Ключевые слова: электробус, электрические транспортные средства, зарядные станции, автомобильный транспорт, городской пассажирский транспорт общего пользования.

*Информация об авторах:

Кудряшов Максим Александрович – начальник сектора службы кадров ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, sparky5@yandex.ru.

Прокопенко Александр Владимирович – проектный менеджер Ассоциации «ТАМА», Москва, Россия, prokorenkoaleksandr@gmail.com.

Айриев Радион Саркисович – советник заместителя генерального директора ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, ayrievr@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.12.2019, принятая к публикации 21.02.2020.

For the English text of the article please see p. 204.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Система городского пассажирского транспорта является важнейшей социальной сферой города Москвы, от эффективности её функционирования зависят качество жизни населения и продуктивность работы различных отраслей экономики. Совершенствование системы и повышение качества транспортного обслуживания населения требуют реализации комплексных исследований по оценке, анализу и выявлению актуальных проблем организации и безопасности, в т.ч. экологической, перевозок пассажиров на территории города Москвы [1–5].

Согласно сведениям государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» [6] объём выбросов в ЦФО от передвижных источников более чем в два раза превышает объём выбросов от стационарных источников (3849 и 1529 тыс. тонн соответственно).

Анализ динамики объёмов выбросов загрязняющих веществ с 2010 по 2018 г. показывает общую тенденцию на их снижение от стационарных и увеличение от передвижных источников [6].

Увеличение количества автотранспортных средств, сосредоточение их в центральной части города, на крупнейших транспортных узлах вместе с увеличением загруженности дорог и понижением средних скоростей движения приводит к ухудшению экологической обстановки. В условиях жаркой безветренной погоды имеют место случаи образования тропосферного озона и смога. Выбросы отработавших газов от автомобильного транспорта представляют серьёзную опасность для населения, проживающего вблизи от автомобильных дорог.

Переход на электрический транспорт является одним из методов решения проблемы выбросов и достижения экологических целей [7–11].

Совершенствование нормативной правовой и методологической базы города Москвы, в том числе в области «экологизации» закупок для государственных нужд, внедрения экологических показателей при оценке эффективности государственных программ города Москвы, создания стандартов «экологически чистого транспорта

и транспортной инфраструктуры» являются ключевыми принципами, направленными на качественные преобразования транспортной системы. В статье проведён анализ управления наземным городским электрическим пассажирским транспортом общего пользования и соответствующей транспортной инфраструктурой.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ЭЛЕКТРОБУСАМИ

Основным федеральным нормативно правовым актом, регулирующим деятельность городского наземного электрического транспорта, является Федеральный закон № 259-ФЗ [12]. Согласно этому закону установлены основные принципы и положения, регулирующие перевозки пассажиров автобусами, трамваями, троллейбусами и легковыми такси. Анализ показал, что статья 2 указанного закона, посвящённая основным понятиям, не содержит сведений касательно транспортных средств, их видов и классификаций. Терминология транспортных средств приводится лишь при формулировании и установлении терминов «Фрахтователь» и «Фрахтовщик».

По тексту указанного нормативного акта есть ссылки на «автобусы». Например, в статье 3.2 о процедуре лицензирования перевозок пассажиров. В некоторых статьях используются термины «транспортные средства», а также «трамвай» и «троллейбус» в части городского электрического транспорта. Глава 3 указанного Закона посвящена регулярным перевозкам пассажиров и багажа. Указанная глава Закона носит общеконцептуальный характер и, с точки зрения подвижного состава, оперирует понятием «транспортные средства». Аналогичная ситуация имеет место при установлении принципов и положений по организации заказных перевозок пассажиров и багажа.

Таким образом, проведённый анализ Устава автомобильного и городского электрического наземного транспорта [12] показывает, что в настоящее время он не содержит понятия «электробус» и в основном оперирует термином «транспортное средство».



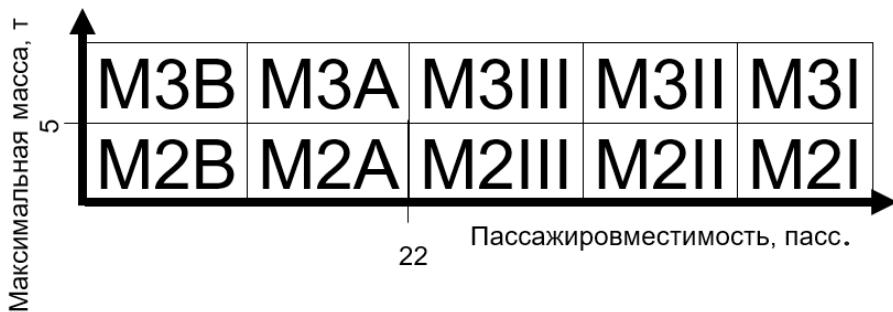


Рис. 1. Система классификации автобусов.

На основании действующего Устава [12] Постановлением Правительства Российской Федерации [13] утверждены правила перевозок пассажиров автомобильным и городским наземным электрическим транспортом. В разделе общих положений указанного акта приводятся понятия, характеризующие подвижной состав. Согласно указанному документу приводится классификация транспортных средств в разрезе их категорий. В контексте рассматриваемого нами предмета известные в настоящее время типы электробусов относятся к категории М3. К этой категории отнесены «транспортные средства», которые используются для перевозки пассажиров, имеющие помимо места водителя более восьми мест для сидения, и максимальная масса которых превышает пять тонн. В дальнейшем документ в части подвижного состава оперирует понятием именно «транспортное средство».

Согласно Решению Комиссии таможенного союза Евразийского экономического сообщества [14] можно определять, к какой категории относится то или иное транспортное средство. Исходя из указанного Решения, московские электробусы относятся к категории М3, класс I, т.к. они предназначены для перевозки пассажиров и имеют помимо водителя более восьми мест для сидения, а их технически допустимая максимальная масса превышает пять тонн. Принадлежность к классу I объясняется тем, что вместимость электробусов составляет свыше 22 пассажиров помимо водителя, а также они имеют выделенную площадь для стоящих пассажиров и обеспечивают быструю смену пассажиров.

В соответствии с ГОСТ Р 52051-2003 [15] электробусы, эксплуатируемые в Москве, аналогично [14] относятся к категории М3, класс I.

Необходимо отметить, что классификации в соответствии в ГОСТ Р 41.36-2004, ГОСТ Р 41.52-2005, ГОСТ Р 41.107-99, ГОСТ Р 52389-2005, Отраслевой нормалью ОН 025 270-66 в настоящее время недействительны.

По результатам анализа [14; 15] определена следующая система классификации (рис. 1).

В Российской Федерации существует Федеральный Закон [16] со своим категорированием транспортных средств. Согласно ему, московские электробусы относятся к категории «D», так как они имеют более восьми сидячих мест, помимо сиденья водителя.

Существуют различные классификации транспортных средств (по пассажировместимости, габаритной длине, экологическому классу, типу двигателя, компоновке и планировке салона и пр.), однако анализ указанных классификаций и соответствующего категорирования не является задачей исследования.

При запуске первых электробусов в Москве было подготовлено порядка 400 водителей Мосгортранса. Для этого нужно было пройти специальное пере обучение и сдать экзамен на категорию D [17]. Таким образом, можно отметить принадлежность электробусов к категории D, что по международной классификации соответствует категории М3.

Согласно Налоговому Кодексу Российской Федерации [18], при начислении транспортного налога, подвижной состав классифицируется в категории «транспорт-

Таблица 1

Классификация подвижного состава

Нормативный правовой акт	Терминология
Федеральный закон от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ [12]	Транспортное средство Автобусы, троллейбусы, трамваи
Постановление Правительства РФ от 14.02.2009 г. № 112 [13]	Транспортное средство Категория «М»
Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 877 [14]	Транспортное средство Категория «М3». Класс I
Федеральный закон от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ [16]	Транспортное средство Категория «Д»
Федеральный закон от 19.07.2009 г. № 117-ФЗ [18]	Транспортное средство Автомобили, автобусы

ные средства». Согласно статье 358 указанного Закона, в качестве объектов налогообложения признаются, в том числе, автомобили и автобусы. Согласно указанному нормативному акту, налоговые ставки на транспортные средства устанавливаются законами субъектов Российской Федерации в зависимости от мощности их двигателя.

С 2003 года в Москве действует закон о налоге на имущество [19]. В 2008 году был принят отдельный закон города Москвы о транспортном налоге [20]. Указанный Закон определил размеры налоговых ставок для автобусов и легковых автомобилей с различной мощностью двигателя. В городе Москве от уплаты транспортного налога освобождаются, в том числе, организации, оказывающие услуги по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования, – по транспортным средствам, осуществляющим перевозки пассажиров (кроме такси). В соответствии со статьёй 3 вновь принятого Закона города Москвы от 20 ноября 2019 года [21] в Закон города Москвы о транспортном налоге внесены изменения [20]. От уплаты транспортного налога освобождены лица, имеющие транспортные средства, оснащённые исключительно электрическими двигателями.

Принятые меры государственной поддержки на законодательном уровне города Москвы по развитию и использованию электрических транспортных средств являются логическим продолжением реализации государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы» [22]. Согласно подпрограмме «Общественный транспорт. Наземный городской пассажирский транспорт», поставлена задача по внедрению с 2021 года на город-

ских маршрутах транспорта общего пользования только электробусов. Для этой цели, начиная с указанной даты, планируется приобретение для города только электробусов, а также реконструкция действующих автобусных парков и иных объектов транспортной инфраструктуры для эксплуатации электробусов и создание инфраструктуры зарядки электробусов.

Сведения из основных нормативных правовых актов, классифицирующих пассажирские автотранспортные средства, сведены в таблицу 1.

АНАЛИЗ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОБУСОВ И ИНФРАСТРУКТУРЫ

Как было отмечено ранее, электробус является автобусом на электрической тяге. Электроэнергия, необходимая для движения электробуса, может генерироваться как на борту транспортного средства (пример – гибридный водородный автобус), находиться в ёмкости аккумулятора или подаваться транспортному средству от контактной сети.

Одним из параметров классификации электробусов является способ их зарядки. В зависимости от концепции зарядки батарей электробусы можно разделить на следующие классы [23]:

1. С питанием в движении.
 2. С подзарядкой в движении.
 3. С подзарядкой на маршруте.
 4. С подзарядкой на предприятии (в парке).
 5. С питанием от топливных элементов.
- По скорости системы зарядки электробусов можно объединить в три группы:
1. Медленная зарядка.
 2. Ультрабыстрая зарядка.





Инфраструктура для обеспечения работы электробусов

Таблица 2

Концепция зарядки	Требуемая инфраструктура в парке	Требуемая инфраструктура на маршруте	Влияние на энергосистему
Медленная	В парке потребуется строительство зарядной станции с комплексной трансформаторной подстанцией. Прокладка кабелей. Подключение зарядных станций.	—	Требует генерации мощностей на территории парка.
Ультрабыстрая	В парке потребуется строительство станции медленной зарядки для подзарядки электробусов с длительным простоям и установка станции ультрабыстрой зарядки.	Тяговая подстанция, зарядная станция. Для обеспечения энергоснабжения зарядных станций потребуется связывать подстанции кабельными сетями.	Требует генерации мощностей на конечных пунктах. Скачкообразная нагрузка.
Динамическая	В парке потребуется строительство станции медленной зарядки для подзарядки электробусов с длительным простоям. Возможна эксплуатация инфраструктуры троллейбусных парков.	Контактная сеть, опоры, кабеля, спецчасти и арматура, тяговые подстанции.	Равномерная нагрузка в течение всего дня. Может использовать действующую троллейбусную сеть.

3. Динамическая зарядка (питание в движении) [24].

В зависимости от системы (концепции) зарядки электробусов требуется соответствующая инфраструктура. Анализ требуемой инфраструктуры для работы электробусов на маршрутах в зависимости от концепции зарядки представлен в табл. 2 [25].

Зарядные станции подразделяются на два типа. В табл. 3 приведены характеристики обоих типов зарядных станций [25].

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОБУСАМ

В настоящее время Правительством Москвы реализуются мероприятия, направленные на развитие и совершенствование наземного городского пассажирского транспорта, снижение загруженности дорожной сети и улучшение экологической обстановки в городе.

ГУП «Мосгортранс» является главным испытательным полигоном в РФ и активно тестирует на маршрутах Москвы разные модели электробусов.

В конце 2017 года ГУП «Мосгортранс» с участием Ассоциации содействия развитию транспортной отрасли «Транспортная Ассоциация Московской Агломерации» (Ассоциация «ТАМА») разработал и опубликовал проект технического задания (ТЗ) московского электробуса [26]. Созданию проекта ТЗ предшествовали широкие обсуждения и дискуссии, проведён научно-технический совет с участием экспертов, производителей подвижного состава и комплектующих. На базе этого технического задания [26] был объявлен конкурс на поставку в Москву 300 автобусов на электрической тяге по контракту жизненного цикла.

Основные технические требования к электробусам согласно ТЗ ГУП «Мосгортранс» представлены на рис. 2.

Согласно приведённой нами классификации, данные типы электробусов относятся к электробусам с концепцией ультрабыстрой зарядки.

Совместно с электробусами предусмотрена поставка зарядных станций, способных

Типы зарядных станций

Таблица 3

Характеристика / Тип	Пистолетные	Ультрабыстрые
Мощность	25–150 кВт	150–600 кВт
Время зарядки	До двух часов	2–6 мин
Назначение	Зарядка в парке	Ультрабыстрая зарядка на конечных остановочных пунктах, в парке и на маршруте



Рис. 2. Основные технические требования к электробусам.

обеспечивать зарядку аккумуляторов в максимально короткие сроки. Данные электро-зарядные станции будут расположены на конечных станциях, ТПУ и непосредственно в эксплуатационных парках. Зарядные станции также закупаются по контракту жизненного цикла. Обязательным условием договора поставки является локализация производства подвижного состава на территории Российской Федерации.

РАСЧЁТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ МАРШРУТА ЭЛЕКТРОБУСАМИ

Исходной информацией при организации работы подвижного состава на маршруте и расчёте его потребного количества, помимо данных о пассажиропотоке, параметрах маршрута, вместимости подвижного состава и т.п., является время зарядки электробуса.

Существуют различные методы расчёта потребного количества подвижного состава на маршруте: по пассажиропотоку, по заданному интервалу движения и по производительности подвижного состава.

Движение на маршруте организовывается в соответствии с расписанием, которое составляется отдельно для будних и выходных дней, в осенне-летний и весенне-зимний периоды.

Пример организации движения электробуса на маршруте [25] с различными

концепциями зарядки представлен на рис. 3.

В качестве исходных данных приняты: протяжённость маршрута – 10 км; время оборотного рейса – 40 минут.

Из рис. 2 видно, что только автобус и электробус с динамической зарядкой обеспечивают плановое выполнение расписания.

Указанные типы подвижного состава выполняют 12 рейсов без дополнительных временных затрат на подзарядку в начальном или конечном остановочных пунктах.

С учётом указанных параметров эксплуатация электробусов с концепциями медленной и ультрабыстрой зарядок не обеспечивает выполнение планового количества рейсов и соответственно маршрутного расписания. В целях обеспечения заданного расписания потребуется выпуск дополнительных электробусов подвижного состава на маршрут. Электробусы с концепциями медленной и ультрабыстрой зарядками смогут выполнить меньшее количество рейсов из-за потери времени на зарядку.

Выпуск дополнительного количества электробусов на маршрут потребует приобретения дополнительных единиц подвижного состава, что приведёт к увеличению затрат на закупку и эксплуатацию парка подвижного состава.





Маршрут 10км Оборотный режим	Из парка	Оборотный режим												В парк	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Электробус с концепцией медленной зарядки	Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:40 7:20 9:22	8:02 8:12 11:42	10:22 11:02 13:04	11:44 12:24 14:26	13:06 13:46 16:00	14:40 15:20 17:22	16:02 16:41 18:24	17:24 17:44 18:44	19:24 20:04 20:44	X X	20:46 21:04	
Электробус с концепцией ультрабыстрой зарядки литий-ионные батареи	Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:18	6:58 7:38 9:40	8:20 9:00 12:00	10:40 11:20 13:22	12:02 12:42 15:02	13:42 14:22 16:24	15:04 15:44 18:04	17:24 18:04 18:44	18:46 19:26 20:06	20:26 21:06 21:46	21:48 22:06 23:08	X	23:28 23:46
Электробус с концепцией ультрабыстрой зарядки литий-ионные батареи	Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:08	6:48 7:28 9:38	8:18 11:18 11:58	10:38 12:48 13:28	12:08 14:23 15:03	13:43 15:53 16:33	15:13 17:23 18:03	16:48 19:43 20:23	19:03 19:43 20:23	20:33 21:13 21:53	22:03 22:43 23:23	X	23:33 23:51
Электробус с концепцией ультрабыстрой зарядки литий-ионные батареи меньшего количества или суперконденсаторы	Прайвей им Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5 5:00 5:18	25 5:24 6:38	45 6:56 7:36	65 9:22 10:02	85 10:54 11:34	105 12:26 13:08	125 14:07 14:47	145 15:38 16:18	165 17:10 17:50	185 19:36 20:16	205 21:08 21:48	225 22:40 22:58	X X	250
Электробус с концепцией динамической зарядки	Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:40 7:20 9:22	8:02 9:42 11:42	10:22 11:02 13:04	11:44 12:24 14:26	13:06 13:46 16:00	14:40 15:20 17:22	16:02 16:41 18:24	17:24 17:44 18:44	19:24 20:04 20:44	20:46 21:26 22:06	22:08 22:48 23:48	
Автобус	Отправление А Прибытие Б Прибытие А	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:40 7:20 9:22	8:02 8:42 11:42	10:22 11:02 13:04	11:44 12:24 14:26	13:06 13:46 16:00	14:40 15:20 17:22	16:02 16:41 18:24	17:24 17:44 18:44	19:24 20:04 20:44	20:46 21:26 22:06	22:08 22:48 23:48	

Рис. 3. Пример организации работы электробуса на маршруте.

Вследствие изложенного, с точки зрения организации движения подвижного состава на маршруте, эксплуатация электробусов с концепцией зарядки является предпочтительной.

Вместе с тем в целях определения оптимальной концепции зарядки электробусов необходимо выполнение экономической оценки предлагаемых решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электробус является относительно новым типом подвижного состава, в связи с чем необходимо взвешенное и объективное обоснование выбора тех или иных возможных вариантов технических, технологических, экономических и других аспектов решения задачи организации его работы на маршруте.

Проведённый анализ нормативных правовых актов, регулирующих организацию перевозок пассажиров наземным электрическим городским транспортом, подходов к организации движения и инфраструктуры, а также выбора типа электробусов позволил сделать следующие основные выводы:

1. В настоящее время различные действующие в Российской Федерации нормативно-правовые акты используют различные термины и определения при классификации подвижного состава автомобильного и наземного городского электрического транспорта.

Действующие нормативные акты в части электрического транспорта не содержат категории и термина «электробус».

К городским электрическим транспортным средствам относятся только трамваи и троллейбусы.

2. Исходя из требований к допуску водителей на право вождения электробусами, они относятся к транспортным средствам категории «D», т.е. автобусам. При этом водители обязаны проходить специальное дополнительное обучение при участии представителей заводов-изготовителей электробусов.

3. Считаем целесообразным выйти в Московскую городскую Думу с предложением инициировать установление на федеральном уровне в классификациях транспортных средств термина «электробус» как отдельного типа транспортного средства (внесение изменений в Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта).

4. Проведённый анализ концепций зарядки батареи электробусов позволил их разделить на 5 классов и объединить в 3 группы по скорости зарядки.

Анализ требуемой инфраструктуры для работы электробусов показал, что концептуально существуют 2 типа зарядных станций.

5. Проведённые расчёты и оценка различных вариантов организации работы

электробусов на фиксированном маршруте с различными концепциями зарядок показали, что предпочтительными с точки зрения потребного количества транспортных средств являются электробусы с динамической зарядкой.

ЛИТЕРАТУРА

- Блудян Н. О., Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Методические основы управления мультимодальными пассажирскими перевозками // В мире научных открытий. – 2015. – № 10–3 (70). – С. 1249–1259.
- Блудян Н. О., Рошин А. И., Антонов М. Н. К вопросу минимальных социальных стандартов транспортного обслуживания населения // ВИНИТИ РАН Депонированная рукопись № 754-B2009 30.11.2009. – М., 2009. – 9 с.
- Блудян Н. О., Антонов М. Н. Критериальная оценка обеспеченности населения региона транспортным обслуживанием // Вестник МАДИ (ГТУ). – 2009. – № 3 (18). – С. 110–113.
- Блудян Н. О., Пасынский А. А., Михайлов Е. Ф. Обоснование и разработка комплексной системы качества транспортного обслуживания населения в московской агломерации // В мире научных открытий. – 2015. – № 6 (66). – С. 251–260.
- Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Показатели качества транспортного обслуживания населения // Мир транспорта. – 2018. – № 4. – С. 140–149.
- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Официальный сайт. Интерактивная версия доклада Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». [Электронный ресурс]: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf>. Доступ 10.12.2019.
- Zhang, H., Sheppard, C., Lipman, T., Zeng, T., Moura, S. Charging infrastructure demands of shared-use autonomous electric vehicles in urban areas. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, Vol. 78, pp. 102210. DOI: 10.1016/j.trd.2019.102210.
- Lajunen, A., Lipman, T. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. Energy, 2016, Vol. 106, pp. 329–342.
- Liberto, C. [et al]. The impact of electric mobility scenarios in large urban areas: The rome case study. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, Vol. 19, Iss. 11, pp. 3540–3549.
- Adheesh, S. R., Vasisht, M. S., Ramasesha, S. K. Air-pollution and economics: diesel bus versus electric bus. Current Science, 2016, pp. 858–862.
- Meishner, F., Satvat, B., Sauer, D. U. Battery electric buses in European cities: Economic comparison of different technological concepts based on actual demonstrations. 2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). IEEE, 2017, pp. 1–6.
- Федеральный Закон РФ от 8 ноября 2007 г. № 259-ФЗ (ред. от 30.10.2018 г.) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта». [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/. Доступ 10.12.2019.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 14 февраля 2009 г. № 112 (ред. от 10.11.2018 г.) «Об утверждении правил перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом». [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85364/. Доступ 10.12.2019.
- Решение Комиссии таможенного союза Евразийского экономического сообщества от 9 декабря 2001 г. № 877 (ред. от 21.06.2019 г.) «О принятии технического регламента таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». [Электронный ресурс]: <https://cloud.consultant.ru/cloud/cgi/online.cgi?req=doc&ts=167458134105351193324905263&cacheid=FB51C11FD0D207824133A1BC695560E5&mode=splus&base=LAW&n=327583&rnd=8BA68859A09587839A4467B9A80EA415#3mn9w8u6tak>. Доступ 10.12.2019.
- ГОСТ Р 52051-2003. Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения. – М., 2004. – 12 с.
- Федеральный Закон Российской Федерации от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ (ред. от 30.07.2019 г.) «О безопасности дорожного движения». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/9014765>. Доступ 10.12.2019.
- Официальный сайт Мэра Москвы. Около 400 водителей обучены управлению электробусом. [Электронный ресурс]: <https://www.mos.ru/news/item/48354073/>. Доступ 10.12.2019.
- Налоговый Кодекс Российской Федерации Часть 2 от 5 августа 2019 г. № 117-ФЗ (ред. от 27.12.2019 г.). [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/. Доступ 10.12.2019.
- Закон города Москвы от 5 ноября 2003 г. № 64 (ред. от 20.11.2019 г.) «О налоге на имущество организаций». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/3648902>. Доступ 10.12.2019.
- Закон города Москвы от 9 июля 2008 г. № 33 (ред. от 20.11.2019 г.) «О транспортном налоге». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/3691928>. Доступ 10.12.2019.
- Закон города Москвы от 20 ноября 2019 г. № 29 «О внесении изменений в отдельные законы города Москвы в сфере налогообложения». [Электронный ресурс]: [https://www.mos.ru/upload/documents/docs/Zakon29\(4\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/docs/Zakon29(4).pdf). Доступ 10.12.2019.
- Постановление Правительства Москвы от 2 сентября 2011 г. № 408-ПП (ред. от 26.03.2019 г.) «Об утверждении государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/537907060>. Доступ 10.12.2019.
- Электробус. [Электронный ресурс]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81>. Доступ 10.12.2019.
- Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Перспективы экологической транспортной системы в мегаполисе // Мир транспорта. – 2018. – № 2. – С. 220–232.
- Фролов Д. С. Электробус выбор оптимальной концепции. [Электронный ресурс]: https://city4people.ru/uploads/files/2019/12/26/ciframi-dokazyvaet-effektivnost-dinamicheskoy-zaryadki_1577381773.pdf. Доступ 10.12.2019.
- Поставка городских электробусов и ультрабыстрых зарядных станций к ним с оказанием услуг по их последующему сервисному обслуживанию и ремонту в течение 15 лет для нужд ГУП «Мосгортранс») [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/documents.html?regNum=0173200001417001534>. Доступ 10.12.2019.





On the Issue of Regulatory Support for Passenger Electric Vehicles Operation



Maxim A. KUDRYASHOV

Alexander V. PROKOPENKOV

Radion S. AYRIEV

*Kudryashov, Maxim A., State Unitary Enterprise Mosgortrans, Moscow, Russia.
Prokopenkov, Alexander V., TAMA Association, Moscow, Russia.*

Ayriev, Radion S., State Unitary Enterprise Mosgortrans, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article provides the results of an intermediate stage of research on development of a project to create infrastructure for operation of highly environmentally friendly electric vehicles.

The transition to electric transport is one of the promising methods to solve the problem of emissions and achieve environmental goals. An electric bus is a relatively new type of rolling stock, requiring a balanced and objective justification for selection of certain possible options for technical, technological, economic and other aspects of organisation of its operation.

To achieve the goal of developing a project to create infrastructure for operation of environmentally friendly electric vehicles, an initial analysis of legal acts, technical characteristics of electric buses and the parking and on route infrastructure approaches

to organizing transportation by electric buses with various charging concepts was performed. The analysis of the concepts of charging electric bus batteries allowed to divide them into 5 classes and group into 3 groups according to charging speed. An analysis of the required infrastructure for operation of electric buses showed that conceptually there are 2 types of charging stations.

The calculations and evaluation of various options for organizing operation of electric buses on a fixed route with various concepts of charging were performed. A necessary direction for further research is economic assessment of operation of electric buses with various charging concepts and the necessary transport infrastructure.

The methods used include analysis, evaluation of previously performed analytical studies, legal acts and a synthesis of domestic and foreign experience.

Keywords: electric bus, electric vehicles, charging stations, road transport, public urban passenger transport.

*Information about the authors:

Kudryashov, Maxim A. – Head of the unit of Human Resources Service of Mosgortrans [Moscow City Transport] State Unitary Enterprise, Moscow, Russia, sparky5@yandex.ru.

Prokopenkov, Alexander V. – Project Manager of TAMA Association, Moscow, Russia, prokopenkovaleksandr@gmail.com.

Ayriev, Radion S. – Adviser to Deputy Director General of Mosgortrans [Moscow City Transport] State Unitary Enterprise, Moscow, Russia, ayrievrs@mail.ru.

Article received 20.12.2019, accepted 21.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 196.

Background. The system of urban passenger transport is among the most important social sphere of the city of Moscow. The quality of life of population and productivity of various sectors of the economy depend on effectiveness of its functioning. Improving the system and improving quality of transport services for population requires implementation of comprehensive studies to assess, analyze and identify urgent problems of organization and safety, environmental safety, urban mass transit in the city of Moscow [1–5].

According to the state report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2018» [6] the volume of emissions produced by transport vehicles in Russian Central Federal District is more than twice the volume of emissions from stationary sources (3849 and 1529 thousand tons, respectively).

The analysis of the dynamics of pollutant emissions from 2010 to 2018 shows a general trend towards a decrease of emissions from stationary and an increase from mobile sources [6].

The increase in the number of motor vehicles, particularly characteristic of central part of the city, and of the largest transport hubs, together with the increase in traffic congestion and the decrease in average speeds, lead to a deterioration of the environmental situation. In hot, calm weather, there are cases of formation of tropospheric ozone (smog). Exhaust gas emissions from motor vehicles pose a serious danger to people living in the vicinity of roads.

The transition to electric transport is one of the methods to solve the problem of emissions and achieve environmental goals [7–11].

Improving the legal and methodological regulations of the city of Moscow, including in the field of «greening» procurement for public needs, introducing environmental indicators in assessing the effectiveness of public programs in Moscow, creating standards for «environmentally friendly transport and transport infrastructure» are key principles aimed at qualitative transformation of the transport system. The article analyzes management of ground-based urban electric passenger public transport and related transport infrastructure.

Analysis of regulatory support for organization of transportation by electric buses

The main federal legal act regulating the activity of urban land electric transport is Federal Law No. 259-FZ [12]. That law has

established the basic principles and provisions governing transportation of passengers by buses, trams, trolleybuses and passenger taxi. The analysis showed that Article 2 of this law, devoted to the basic concepts, does not contain information regarding vehicles, their types and classifications. The terminology regarding vehicles is given only when formulating and establishing the terms «Charterer» and «Charter provider».

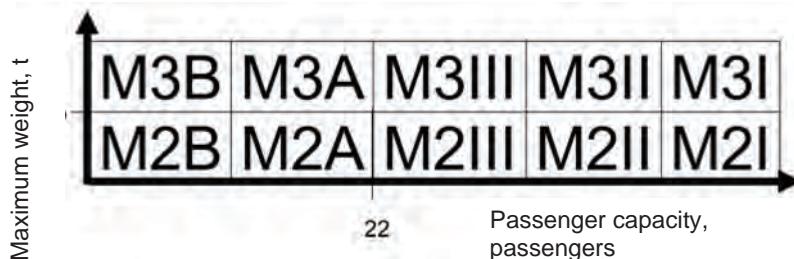
There are references to «buses» throughout the text of this regulatory act, for example, in Article 3.2 on the procedure for licensing passenger transportation. Some articles use the term «vehicles», as well as «tram» and «trolleybus» in the part devoted to urban electric transport. Chapter 3 of this Law is devoted to regular transportation of passengers and baggage. The said chapter of the Law is of a general conceptual nature and, from the point of view of rolling stock, operates with the concept of «vehicles». The situation is similar when establishing principles and provisions for organization of customized transportation of passengers and baggage.

Thus, the analysis of the Charter of road and urban electric land transport [12] shows that at present it does not contain the concept of «electric bus» and mainly operates with the term «vehicle».

On the basis of the current Charter [12], the Resolution of the Government of the Russian Federation [13] approved the rules for transportation of passengers by road and urban land electric transport. In the section of general provisions of this act, concepts describing rolling stock are given. According to the specified document, classification of vehicles is given in the context of their categories. In the context of the subject we are considering, the currently known types of electric buses belong to M3 category. This category includes «vehicles» that are used to transport passengers, which, in addition to the driver's seat, have more than eight seats, and the maximum mass of which exceeds five tons. The document further on and regarding rolling stock operates the concept of «vehicle».

According to the Decision of the Commission of the Customs Union of the Eurasian Economic Community [14], it is possible to determine which category this or that vehicle belongs to. Based on this Decision, Moscow electric buses belong to category M3, class I,





Pic. 1. System of classification of electric buses.

because they are designed to carry passengers and have, in addition to the driver's, more than eight seats, and their technically permissible maximum weight exceeds five tons. Belonging to class I is explained by the fact that capacity of electric buses is over 22 passengers in addition to the driver, and also they have a dedicated area for standing passengers and provide a quick rotation of passengers.

In accordance with GOST [Russian State Standard] R52051-2003 [15] electric buses, which are in operation in Moscow, similarly to [14] belong to category M3.

It should be noted that classifications in accordance with GOST R41.36-2004, GOST R41.52-2005, GOST R41.107-99, GOST R52389-2005, Industry normal ON025 270-66 are currently not valid.

Based on the results of the analysis [14; 15] the following classification system is proposed (Pic. 1).

In the Russian Federation there is Federal Law [16] defining categories of vehicles. According to it, Moscow electric buses belong to D category, as they have more than eight seats, besides the driver's seat.

There are various classifications of vehicles (according to passenger capacity, overall length, environmental class, engine type, layout and arrangement of the compartment, etc.), however the analysis of these classifications and the corresponding categorization is beyond the task of the study.

When the first electric buses were launched in Moscow, about 400 Mosgortrans drivers were trained. For this, it was necessary to undergo special retraining and pass an exam for category D [17]. Thus, it can be noted that electric buses belong to category D, which according to the international classification corresponds to category M3.

According to the Tax Code of the Russian Federation [18] when calculating transport tax,

rolling stock is classified by categories of «vehicles». According to Article 358 of the said Law, cars and buses are recognized as objects of taxation. According to the specified regulatory act, tax rates on vehicles are established by the laws of the constituent entities of the Russian Federation, depending on the power of their engine.

Since 2003, Moscow has a law on property tax [19]. In 2008, a separate law of the city of Moscow on transport tax was enacted [20]. The said Law determined tax rates for buses and cars with different engine power. In the city of Moscow, organizations that provide services for transportation of passengers by passenger public transport are exempted from paying transport tax for vehicles carrying passengers (except taxi). In accordance with Article 3 of the newly adopted law of the city of Moscow dated November 20, 2019 [21], the law of the city of Moscow on transport tax was amended [20]. Persons with vehicles equipped exclusively with electric motors are exempted from paying transport tax.

The measures of public support taken at the legislative level in the city of Moscow for development and use of electric vehicles are a logical continuation of implementation of the state program of the city of Moscow «Development of the transport system» [22]. According to the subprogram «Public transport. Land urban passenger transport», the task was set to introduce only electric buses on city public transport routes since 2021. For this purpose, starting from the indicated date, it is planned to purchase only electric buses for the city, as well as reconstruct existing bus fleets and other transport infrastructure facilities for operating electric buses and create an infrastructure for charging electric buses.

Table 1
Classification of rolling stock*

Normative legal act	Terminology
Federal Law dated 08.11.2007 No. 259-FZ [12]	Vehicles Buses, trolleybuses, trams
Resolution of the Government of the Russian Federation dated 14.02.2009 No. 112 [13]	Vehicle Category «M»
Decision of the Commission of the Customs Union dated 09.12.2011 No. 877 [14]	Vehicle Category «M3», Class I
Federal Law dated 10.12.1995 No. 196-FZ [16]	Vehicle Category «D»
Federal Law dated 19.07.200 No. 117-FZ [18]	Vehicle Cars, buses

Table 2
Infrastructure to support electric buses operation

Charging concept	Required infrastructure in the park	Required infrastructure on the route	Influence on energy system
Slow	It is required to build a charging station with a transformation substation in the park, to lay cables, to connect charging stations.	—	Requires power generation on the park territory.
Ultra-fast	It is required to build a slow charging station to charge electric buses with long idle time and to install an ultra-fast charging station in the park.	Traction substation, charging station. To ensure power supply of charging stations it is required to connect substations through cable networks.	Requires power generation at terminal points. Uneven load.
Dynamic	It is required to build a slow charging station to charge electric buses with long idle time. It is possible to operate trolleybus park infrastructure.	Contact network, supports, cables, special parts and reinforcement, traction substations.	Even load throughout the day. Can use the existing trolleybus network.

General information on the main normative legal acts classifying passenger motor vehicles is summarized in Table 1.

Analysis of classification of electric buses and infrastructure

As noted earlier, the electric bus is a bus using electric traction. The electric power necessary for electric bus movement can be generated both on board the vehicle (for example, a hybrid hydrogen bus), obtained from the battery, or supplied to the vehicle from the contact network.

One of classification parameters of electric buses is the method of charging them. Depending on the concept of charging batteries, electric buses can be divided into the following classes [23]:

1. With power supply in motion.
2. With recharging in motion.
3. With recharging on the route.
4. With recharging at the enterprise (park).
5. With power supply by fuel elements.

According to the charging speed, the electric bus charging system can be grouped into three groups:

1. Slow charging.
2. Ultra-fast charging.
3. Dynamic charging (power supply in motion) [24].

Depending on the system (concept) for charging electric buses, different infrastructure is required. The analysis of the required infrastructure for operation of electric buses on routes, depending on the charging concept, is presented in Table 2 [25].

Charging stations are divided into two types. Table 3 shows the characteristics of both types of charging stations [25].

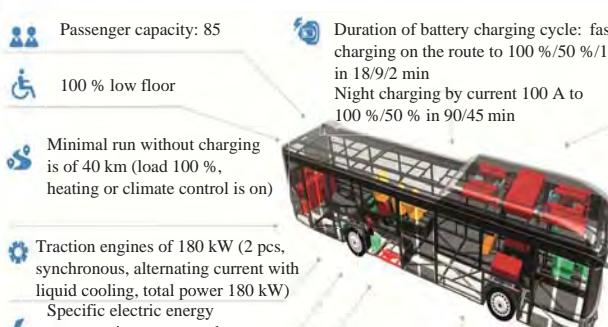
Technical requirements for electric buses

Currently, Moscow Government is implementing measures aimed at development and improvement of land urban passenger transport, reducing traffic



Table 3

Characteristic / Type	Pistol	Ultra-fast
Power	25–150 kW	150–600 kW
Charging time	Up to two hours	2–6 min
Purpose	Charging in the park	Ultra-fast charging at terminal stopping points, in the park and on the route



The diagram shows a cross-section of an electric bus. Callouts from the left side list requirements: passenger capacity (85), 100% low floor, minimal run without charging (40 km load 100%, heating or climate control on), traction engines (180 kW, 2 synchronous, alternating current with liquid cooling, total power 180 kW), specific electric energy consumption (not more than 1.3 kW·h/km), service life of the body's housing (resistance to fatigue damage, leading to emergencies or failures), and ultra-fast charging stations supplied together with electric buses.

Callouts from the right side list requirements: duration of battery charging cycle (fast charging on the route to 100%/50%/10% in 18/9/2 min, night charging by current 100 A to 100%/50% in 90/45 min), minimal operation time per day up to 20 hours, on-board sources of electric energy (should serve not less than 15 years (life cycle contract) (service life/manufacturer's responsibility of manufacturers of high-voltage circuits of traction batteries)), autonomous diesel heater (turn on at temperature +5°C; time of warming of the compartment to normal values is of 15 minutes), two-zone climate-control for driver's cabin and passenger compartment, life cycle contract of 15 years (vehicle should be produced in Russia), and external power supply from direct current voltage 6008.

Pic. 2. Main technical requirements for electric buses.

congestion and improving the environmental situation in the city.

SUE Mosgortrans is the main testing ground in the Russian Federation and is actively testing different models of electric buses on Moscow routes.

At the end of 2017, SUE Mosgortrans with participation of the Transport Industry Development Assistance Association «Transport Association of Moscow Agglomeration» (TAMA Association) developed and published a draft technical specification (TS) for Moscow electric bus [26]. The development of TS draft was preceded by extensive discussions, a scientific and technical council was held with participation of experts, manufacturers of rolling stock and components. Based on this TS [26], a tender was announced for supply of 300 electric buses to Moscow under a life cycle contract.

The main technical requirements for electric buses according to TS by SUE Mosgortrans are presented in Pic. 2.

According to the classification given by us, these types of electric buses belong to

electric buses with the concept of ultra-fast charging.

Together with electric buses, it is planned to supply charging stations capable of charging batteries as fast as possible. These electric charging stations will be located at terminal stations, transport-interchange hubs and directly in fleet parks. Charging stations are also purchased under a life cycle contract. A prerequisite of supply contract is localization of production of rolling stock in the territory of the Russian Federation.

Calculations of organization of route maintenance by electric buses

Initial information when organizing operation of rolling stock on a route and calculating its required amount in addition to data on passenger flow, route parameters, rolling stock capacity, etc. is charging time of an electric bus.

There are various methods for calculating the required amount of rolling stock on a route: according to a passenger flow, according to a given interval of movement, and according to performance of rolling stock.

	Round trip													
Route-10 km R.trip-40 m	From the park	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	To the park
Departure A Arrival B Arrival A	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:40 7:20 8:00	8:02 8:42 9:22	10:22 11:02 11:42	11:44 12:24 13:04	13:06 13:46 14:26	14:40 15:20 16:00	16:02 16:42 17:22	17:24 17:44 18:24	19:24 20:04 20:44	✗	✗	20:46 21:04
Electric bus with slow charging concept	Departure A Arrival B Arrival A	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:18	6:58 7:38 9:40	8:20 9:00 12:00	10:40 11:20 13:22	12:02 12:42 15:02	13:42 14:22 16:24	15:04 15:44 18:44	17:24 18:44 lunch	18:46 20:06 21:46	20:26 21:06 22:28	21:48 23:08 charge	23:28 23:46
Electric bus with ultra-fast charging concept/Li-ion batteries	Departure A Arrival B Arrival A	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:08	6:48 7:28 9:38	8:18 8:58 11:58	10:38 11:18 13:28	12:08 12:48 15:03	13:43 14:23 16:33	15:13 15:53 18:03	16:43 17:23 19:03	19:03 19:43 20:23	20:33 21:13 21:53	22:03 22:43 23:23	23:33 23:51
Electric bus with ultra-fast charging concept. Li-ion batteries	Run, km Departure A Arrival B Arrival A	5 5:00 5:18	25 5:24 6:04	45 6:56 7:36	65 9:22 10:02	85 10:54 11:34	105 12:26 13:06	125 14:07 14:47	145 15:38 16:18	165 17:10 17:50	185 19:36 20:16	205 21:08 21:48	225 23:43 charge	245 23:58
Electric bus with ultra-fast charging concept. Li-ion batteries of smaller amount or super capacitors	Departure A Arrival B Arrival A	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:10 7:42 9:22	6:50 10:08 11:42	7:10 11:40 13:04	10:48 12:20 14:26	13:12 15:32 17:04	14:53 16:24 18:36	17:56 20:22 21:02	185 21:54 22:34	205 21:26 22:06	22:46 23:48 23:28	23:30 23:48 23:28
Electric bus with dynamic charging concept	Departure A Arrival B Arrival A	5:00 5:18 6:38	5:18 5:58 8:00	6:40 7:20 9:22	8:02 8:42 10:02	10:22 11:02 11:42	11:44 12:24 13:04	13:06 15:20 16:00	14:40 16:42 17:22	17:24 17:44 18:24	19:24 20:04 20:44	20:46 21:26 22:06	22:08 22:48 23:28	23:30 23:48 23:28
Bus														

Pic. 3. An example of organization of electric bus operation on the route.



Traffic on the route is organized in accordance with the schedule, which is compiled separately for weekdays and weekends, for autumn-summer and spring-winter periods.

An example of organization of electric bus movement on the route [25] with various charging concepts is given in Pic. 3.

The following data were taken as initial data: length of the route is 10 km; round trip time is of 40 minutes.

Pic. 2 shows that only a bus and an electric bus with dynamic charging ensure the planned compliance with the schedule.

The indicated types of rolling stock carry out 12 trips without additional time costs for recharging at the initial or final stopping points.

Given these parameters, operation of electric buses with the concepts of slow and ultra-fast charging does not ensure the fulfillment of the planned number of trips and, accordingly, the route schedule. In order to respect a given schedule, it will be necessary to release additional electric buses of rolling stock to the route. Electric buses with slow and ultra-fast charging concepts will be able to perform fewer trips due to loss of charging time.

The release of additional units of rolling stock on the route will require purchase of additional electric buses, which will lead to an increase in the costs of purchase and operation of rolling stock.

Due to the above, from the point of view of organizing movement of rolling stock along the route, operation of electric buses with the concept of dynamic charging is preferable.

However, in order to determine the optimal concept for charging electric buses, it is necessary to carry out an economic evaluation of the proposed solutions.

Conclusion. An electric bus is a relatively new type of rolling stock. So, a balanced and objective justification for selection of various possible technical, technological, economic and other aspects of solving the problem of organizing its work on the route is necessary.

The analysis of regulations and legal acts governing organization of passenger transportation by land electric urban transport, approaches to traffic management and infrastructure, as well as the choice of type of electric buses, allowed the following main conclusions to be drawn:

1. At present, various legal acts in force in the Russian Federation use different terms and definitions to classify rolling stock of road and land urban electric transport.

Current regulations regarding electric transport do not contain the category and term «electric bus».

Urban electric vehicles include only trams and trolleybuses.

2. Based on the requirements for admission of drivers to drive electric buses, they consider vehicles of category D, i.e. to buses. At the same time, drivers are required to undergo special additional training with participation of representatives of manufacturers of electric buses.

3. We consider it expedient to file with Moscow City Duma a proposal to initiate at the state level of the Russian Federation the implementation in classifications of vehicles of the term «electric bus» as a separate type of vehicle (amending the Charter of road transport and land urban electric transport).

4. The analysis of the concepts of charging electric bus batteries allowed to divide them into 5 classes and, on the contrary, to combine into 3 groups according to charging speed.

The analysis of the required infrastructure for operation of electric buses showed that conceptually there are 2 types of charging stations.

5. The calculations and evaluation of various options for organizing operation of electric buses on a fixed route with different charging concepts showed that dynamically charged buses are preferred from the point of view of the required number of vehicles.

REFERENCES

1. Bludyan, N. O., Ayriev, R.S., Kudryashov, M. A. Methodological fundamentals of multimodal passenger transportation [*Metodicheskie osnovy upravleniya multimodalnymi passazhirskimi perevozkami*]. V mire nauchnykh otkrytiy, 2015.
2. Bludyan, N. O., Roshchin, A. I., Antonov, M. N. To the issue of minimal social standards of passenger transport service [*K voprosu minimalnykh sotsialykh standartov transportnogo obsluzhivaniya naseleniya*]. VINITI RAS Deposited manuscript No. 754-B2009 30.11.2009. Moscow, 2009, 9 p., No. 10 (3), pp. 1249–1259.
3. Bludyan, N. O., Antonov, M. N. Criterial assessment of transport service availability for passengers [*Kriterialnaya otsenka obespechennosti naseleniya regional transportnym obsluzhivaniem*]. Vestnik MADI (STU), 2009, Iss. 3 (18), pp. 110–113.
4. Bludyan, N.O., Pasynsky, A. A., Mikhailov, E. F. Justification and development of complex quality system of passenger transport service in Moscow agglomeration [*Obosnovanie i razrabotka kompleksnoi sistemy kachestva*

- transportnogo obsluzhivaniya naseleniya v moskovskoi aglomeratsii]. V mire nauchnykh otkrytii, 2015, pp. 251–260.*
5. Ayriev, R. S., Kudryashov, M. A. Quality indices of public transportation services. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 4, pp. 140–149.
6. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Official website. Interactive version of the State report «On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2018». [Electronic resource]: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf>. Last accessed 10.12.2019.
7. Zhang, H., Sheppard, C., Lipman, T., Zeng, T., Moura, S. Charging infrastructure demands of shared-use autonomous electric vehicles in urban areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, Vol. 78, pp. 102210. DOI: 10.1016/j.trd.2019.102210.
8. Lajunen, A., Lipman, T. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy*, 2016, Vol. 106, pp. 329–342.
9. Liberto, C. [et al.]. The impact of electric mobility scenarios in large urban areas: The rome case study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, Vol. 19, Iss. 11, pp. 3540–3549.
10. Adheesh, S. R., Vasishth, M. S., Ramasesha, S. K. Air-pollution and economics: diesel bus versus electric bus. *Current Science*, 2016, pp. 858–862.
11. Meishner, F., Satvat, B., Sauer, D. U. Battery electric buses in European cities: Economic comparison of different technological concepts based on actual demonstrations. 2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). IEEE, 2017, pp. 1–6.
12. Federal Law of the Russian Federation of November 8, 2007 No. 259-FZ (as amended on October 30, 2018) «Charter of road transport and urban land electric transport» [*Federalniy zakon RF ot 8 noyabrya 2007 No. 259-FZ (red. ot 30.10.2018) «Ustav avtomobilnogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta»*]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/. Last accessed 10.12.2019.
13. Decree of the Government of the Russian Federation dated February 14, 2009 No. 112 (as amended on November 10, 2018) «On approval of the rules for transportation of passengers and baggage by road and urban land electric transport» [*Postanovlenie Pravitelstva Rossiiiskoi Federatsii ot 14 fevralya 2009 No. 112 (red. ot 10.11.2018) «Ob utverzhdenii pravil perevozok passazhirov i bagazha avtomobilnym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom»*]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85364/. Last accessed 10.12.2019.
14. Decision of the Commission of the Customs Union of the Eurasian Economic Community dated December 9, 2001 No. 877 (as amended on June 21, 2019) «On adoption of the technical regulation of the Customs Union» On safety of wheeled vehicles» [*Reshenie Komissii tamozhennogo soyuza Evraziiskogo ekonomicheskogo soobshchesvta ot 9 dekabrya 2001 No. 877 (red. ot 21.06.2019) «O priyatiyu tekhnicheskogo reglamenta tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv»*]. [Electronic resource]: <https://cloud.consultant.ru/cloud/cgi/online.cgi?req=do&cts=167458134105351193324905263&cacheid=FB51C11FD0D207824133A1BC695560E5&mode=splus&base=LAW&n=327583&rnd=8BA68859A09587839A4467B9A80EA415#3mn9w8u6tak>. Last accessed 10.12.2019.
15. GOST R52051-2003. Mechanical vehicles and trailers. Classification and definitions [*GOST R52051-2003. Mekhanicheskie transportnie sredstva i pritsepy. Klassifikatsiya i opredeleniya*]. Moscow, 2004, 12 p.
16. Federal Law of the Russian Federation of December 10, 1995 No. 196-FZ (as amended on July 30, 2019) «On Road Traffic Safety» [*Federalniy Zakon Rossiiskoi Federatsii ot 10 dekabrya 1995 No. 196-FZ (red. ot 30.07.2019) «O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya»*]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/9014765>. Last accessed 10.12.2019.
17. The official website of the Mayor of Moscow. About 400 drivers are trained in electric bus driving [*Ofitsialnyi sait Mera Moskvy. Okolo 400 voditelei obucheny upravleniyu elektrobusom*]. [Electronic resource]: <https://www.mos.ru/news/item/48354073/>. Last accessed 10.12.2019.
18. The Tax Code of the Russian Federation Part Two dated August 5, 2019 No. 117-FZ (as amended on December 27, 2019) [*Nalogoviy Kodeks Rossiiskoi Federatsii. Chast' vtoraya ot 5 avgusta 2019 No. 117-FZ (red. ot 27.12.2019)*]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/. Last accessed 10.12.2019.
19. The Law of the city of Moscow dated November 5, 2003 No. 64 (as amended on November 20, 2019) «On corporate property tax» [*Zakon goroda Moskvy ot 5 noyabrya 2003 No. 64 (red. ot 20.11.2019) «O naloge na imushchestvo organizatsii»*]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/3648902>. Last accessed 10.12.2019.
20. The Law of the city of Moscow dated July 9, 2008 No. 33 (as amended on November 20, 2019) «On Transport Tax» [*Zakon goroda Moskvy ot 9 iyulya 2008 No. 33 (red. ot 20.11.2019) «O transportnom naloge»*]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/3691928>. Last accessed 10.12.2019.
21. The Law of the city of Moscow dated November 20, 2019 No. 29 «On amending certain laws of the city of Moscow in the sphere of taxation» [*Zakon goroda Moskvy ot 20 noyabrya 2019 No. 29 «O vnesenii izmenenii v otdelnie zakony goroda Moskvy v sfere nalogooblozheniya»*]. [Electronic resource]: [https://www.mos.ru/upload/documents/docs/Zakon29\(4\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/docs/Zakon29(4).pdf). Last accessed 10.12.2019.
22. Decree of Moscow government dated September 2, 2011 No. 408-PP (as amended on March 26, 2019) «On approval of the state program of the city of Moscow «Development of the transport system» [*Postanovlenie Pravitelstva Moskvy ot 2 sentyabrya 2011 No. 408-PP (red. ot 26.03.2019) «Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy goroda Moskvy «Razvitiye transportnoi sistemy»*]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/537907060>. Last accessed 10.12.2019.
23. Electric bus [*Elektrobus*]. [Electronic resource]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81>. Last accessed 10.12.2019.
24. Ayriev, R. S., Kudryashov, M. A. Outlook on development of ecological transport system in a megapolis. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 2, pp. 220–232.
25. Supply of city electric buses and ultra-fast charging stations to them with provision of services for their subsequent maintenance and repair for 15 years for the needs of SUE Mosgortrans) [*Postavka gorodskikh elektobusov i ultrabystrykh zaryadnykh stantsii k nim s okazaniem uslug po ikh posleduyushchemu servisnomu obsluzhivaniyu i remontu v techenie 15 let dlya nuzhd GUP «Mosgortrans»*]. [Electronic resource]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/documents.html?regNumber=0173200001417001534>. Last accessed 10.12.2019.
26. Frolov, D. S. Electric bus choice of optimal concept [*Elektrobus vybor optimalnoi kontsepsi*]. [Electronic resource]: https://city4people.ru/uploads/files/2019/12/26/ciframi-dokazyvaet-effektivnost-dinamicheskoy-zaryadki_1577381773.pdf. Last accessed 10.12.2019.



НОВЫЙ ТЕРМИНАЛ С В АЭРОПОРТУ ШЕРЕМЕТЬЕВО

17 января 2020 года в Международном аэропорту Шереметьево введён в эксплуатацию новый пассажирский терминал С. Он построен и оборудован по самым высоким мировым стандартам.

В церемонии открытия приняли, в частности, участия заместитель министра транспорта Александр Юрчик, руководитель Росавиации Александр Нерадко, председатель московской областной Думы Игорь Брынцалов, председатель совета директоров АО «МАШ» Александр Пономаренко и гендиректор АО «МАШ» Михаил Василенко.

«Шереметьево в последние годы является лидером в развитии аэропортовой инфраструктуры нашей страны, Европы и мира. Здесь технологии очень гармонично и очень органично соединились с конструктивизмом, с культурными и архитектурными решениями. Аэропорт и его базовый перевозчик «Аэрофлот» – флагманы авиационной отрасли. Это очень нужный и важный симбиоз», – сказал на открытии Александр Юрчик. По его словам, развитие воздушной гавани идёт на основе ГЧП. Это единственный аэропорт, который имеет полноценное концессионное соглашение.

«Шереметьево получит развитие с открытием новой железнодорожной станции. А появление третьей взлётно-посадочной полосы дало возможность реализовывать новейшие технологические решения» – отметил он.

В свою очередь, Александр Нерадко подчеркнул, что граждане и гости Российской Федерации привыкли пользоваться самым удобным и комфорtnым видом транспорта – воздушным. В 2019 году через аэропорты России прошли более 221 млн пассажиров. Из них почти 50 млн обслужили в аэропорту Шереметьево.

«Шереметьево играет особую роль в развитие Московской области, поддерживает деловую активность региона, повышает его инвестиционную и туристическую привлекательность» – отметил Игорь Брынцалов.

По словам Александра Пономаренко, ввод в эксплуатацию терминала является важнейшим шагом в долгосрочной программе развития аэропорта, которая приурочена

NEW TERMINAL C OPENED AT SHEREMETYEVO AIRPORT

A new passenger terminal C was inaugurated at Sheremetyevo airport on January 17, 2020. It was built and equipped to meet the highest world standards.

The opening ceremony was attended by Alexander Yurchik, Deputy Minister of Transport, Alexander Neradko, head of Federal Agency of Air Transport, Igor Bryntsarov, chairman of the Moscow regional Duma, Alexander Ponomarenko, chairman of the board of directors of JAC MASH (Moscow International Sheremetyevo Airport), and Mikhail Vasilenko, CEO of MASH.

«Sheremetyevo has been a leader in the development of airport infrastructure in our country, Europe and the world in recent years. Here the technologies are very harmoniously and very organically combined with constructivism, with cultural and architectural solutions. The airport and the main carrier based here, which is Aeroflot, are the flagships of the aviation industry. This is a very necessary and important symbiosis», Alexander Yurchik said at the opening ceremony. According to him, the development of the air harbor is based on PPP. It is the only airport that has a full concession agreement. «Sheremetyevo will take new development with the opening of a new railway station. And the emergence of the third runway made it possible to implement the latest technological solutions», he said.

In his turn, Alexander Neradko stressed that residents and guests of the Russian Federation have got used to travel by air, the most convenient and comfortable mode of transport. In 2019, more than 221 million passengers passed through Russian airports. Of these, almost 50 million passed by Sheremetyevo airport.

«Sheremetyevo plays a special role in the development of the Moscow region, supports the business activity of the region, increases its investment and tourism attractiveness», Igor Bryntsarov said.

According to Alexander Ponomarenko, the commissioning of the terminal is the most important step in the long-term

to 2030 year. «Opening of Terminal C gives us the opportunity to increase passenger traffic to 80 million passengers per year. We sought to build and equip the terminal as soon as possible so that it met the high standards of passenger and airline service. Our future plans include the construction of the second phase of Terminal C. Also by 2021, our partner company Russian Railways should complete the construction of the Aeroexpress railway station. It will allow our passengers to arrive at the northern terminal complex without transfer directly from the city», he said.

Passenger terminal C is built as part of the long-term development program of Sheremetyevo International Airport and is part of its Northern Terminal Complex comprising terminals B and C. Designed for international airlines, its capacity reaches 20 million passengers annually. It includes the main 7-storey building of the 127,375 sq m terminal complex, a ground operations' control tower, and an indoor six-level parking lot for 2,500 cars connected to the pedestrian gallery terminal. The main task in designing and building Terminal C was to combine the high level of technology and a conceptual architectural and design solution. It inherits the traditions of Russian constructivism. Terminal C is combined with Terminal B. Docking of buildings «under one roof» has become one of the most difficult features of construction. That allows passengers to use the service and technical capabilities of two terminals at once, providing minimum passenger transfer time through the transit zone.

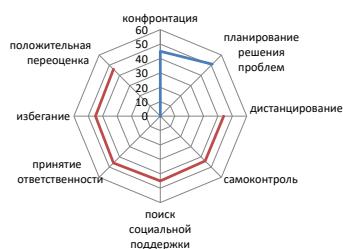
По материалам пресс-центра
Министерства транспорта Российской Федерации:
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9399>



АВИАЦИЯ

214

Безопасность полётов закладывается на земле, один из инструментов – обучение курсантов совладающему поведению.



ДОРОЖНАЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ

230

Навыки оказания первой помощи: критическая значимость при ДТП.

ТРАНСПОРТНАЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ

244

Субъекты, обеспечивающие безопасность транспортной деятельности.

CIVIL AVIATION

222

The flight safety is provided on land, thanks particularly to coping training.

ROAD SAFETY

237

First aid skills are critically significant during road accidents.

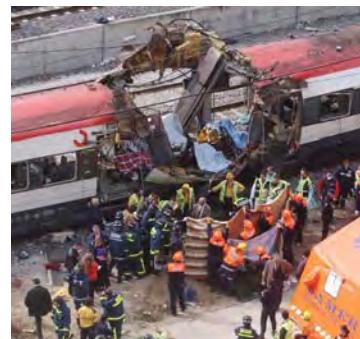
TRANSPORT

SECURITY

251

Stakeholders providing safety and security of transportation process.

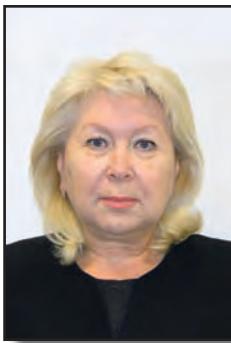
БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY



Исследование особенностей совладающего поведения курсантов-пилотов гражданской авиации



Марина ЕРХОВА



Людмила ШУМКОВА

*Ерхова Марина Викторовна – Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.
 Шумкова Людмила Геннадьевна – Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия*.*

В статье обоснована актуальность изучения и развития совладающего поведения будущих пилотов гражданской авиации в условиях получения ими высшего профессионального образования. Приведены результаты исследования, целью которого стало определение выраженности совладающих стратегий, используемых пилотами-курсантами в сложных жизненных ситуациях, а также характерных для них типов психологических защит, «запускающих» механизм уклонения от оперативного и конструктивного решения личных и профессиональных проблем. Теоретико-методологической основой исследования является стрессо-ориентированный подход к совладанию (Р. Лазарус, С. Фолкман). Данный подход изучает феномен совладания с точки зрения эффективности и неэффективности взаимодействия человека со стрессовыми факторами.

В качестве эмпирического метода исследования было выбрано тестиирование по опроснику «Стратегии совладающего поведения», разработанному группой учёных лаборатории клинической психологии Санкт-Петербургского психоневролого-

гического института им. В. М. Бехтерева, и опроснику типов психологической защиты (Р. Плутчик в адаптации Л. И. Вассермана, О. Ф. Ерышева и др.). Эффективность данных методик подтверждается результатами их применения при обследовании различных контингентов испытуемых, ретестовой надёжностью, внутренней и внешней валидностью.

Для определения наличия или отсутствия линейной связи между рядом значений копинг-стратегии «Конфронтация» (как наиболее, по мнению авторов, деструктивной стратегии в условиях полёта) и рядами значений наиболее выраженных типов психологических защит респондентов, выявленных в исследовании, был применён метод параметрической статистики – расчёт критерия корреляции Пирсона. На основе оценки тесноты корреляционных связей между копинг-стратегией «Конфронтация» и психологическими защитами «Регрессия», «Проекция», «Замещение» была проанализирована степень их влияния на характер взаимодействия пилотов в лётном и кабинном экипажах на безопасность полётов в целом.

Ключевые слова: гражданская авиация, обучение, совладающее поведение, курсант-пилот, психологическая защита, копинг-стратегии, безопасность полётов.

*Информация об авторах:

Ерхова Марина Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия, m.v.erxova@mail.ru.

Шумкова Людмила Геннадьевна – кандидат педагогических наук, декан факультета подготовки авиационных специалистов Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия, fpas-1@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 25.09.2019, принятая к публикации 08.01.2020.

For the English text of the article please see p. 222.

ВВЕДЕНИЕ

Современная профессиональная среда характеризуется увеличением количества ситуативных факторов, оказывающих существенное влияние на психологическое состояние сотрудников и, как следствие, на качество их работы. Разнообразие данных факторов определяется особенностями самой профессиональной деятельности, условиями труда, отношениями в коллективе, социально-экономическими фактами, особенностями семейных отношений, внутриличностными и межличностными конфликтами и др. Каждый из этих факторов требует от человека особого способа реагирования, который выбирается работником как потенциально успешный, снижающий психологическую напряжённость и обеспечивающий оптимальную социальную адаптивность. Расширение числа внешних и внутренних воздействий требует от человека всё большей гибкости, усилий по самоконтролю, аналитических навыков и другое. В связи с этим возникла необходимость определить способность работника справляться с различного рода жизненными ситуациями как некую интегральную особенность личности современного человека. Эта особенность была определена как «совладание», то есть «...поведенческие, когнитивные и эмоциональные действия человека, предпринимаемые им для преодоления трудных ситуаций и адаптации к возникшим обстоятельствам» [1]. Впервые понятие «совладание («coping») было введено Л. Мёрфи в 1962 году и получило своё дальнейшее развитие в эго-ориентированной теории совладания (K. Menninger, V. Vaillant, N. Haan и др.), когнитивно-феноменологической теории совладания со стрессом (R. Lazarus, S. Folkman). В отечественной психологии теоретические, методологические вопросы преодоления стресса нашли отражение в работах Л. И. Анциферовой, В. А. Бодрова, С. К. Нартовой-Бочавер и др.

В настоящее время проблема совладания является предметом большого числа прикладных исследований, отражающих многообразие стрессовых факторов, влияющих на современного человека. К ним можно отнести исследования повседневных, посттравматических стрессоров

и способов их преодоления [2–4]; изучение образовательных стрессов [5], интегральная оценка личности человека, испытывающего различные виды стресса [6–8]; исследование особых видов профессиональной деятельности, протекающей в необычных, напряжённых и стрессовых условиях [9] и др.

Цель статьи – обоснование значимости изучения и развития совладающего поведения будущих пилотов гражданской авиации в условиях получения ими высшего профессионального образования. Для достижения поставленной цели в статье были использованы теоретические методы познания (анализ научной литературы, классификация), а также эмпирические методы (измерение, эксперимент).

Представленное далее исследование совладающего поведения основано на стрессо-ориентированном подходе к совладанию (Р. Лазарус, С. Фолкман). Данный подход изучает феномен совладания с точки зрения эффективности и неэффективности взаимодействия человека со стрессовыми факторами [10].

Р. Лазарус и С. Фолкман выделяют два глобальных типа или стратегии взаимодействия со стрессовой ситуацией, названных проблемно- и эмоционально-ориентированным совладанием. В основе выбора стратегии лежит оценка человеком возможности-невозможности что-либо предпринять с целью изменения стрессовой ситуации. По мнению авторов, проблемно-ориентированное совладание начинает преобладать, если человек способен изменить ситуацию, согласно своей оценке. Эмоционально-ориентированное совладание возникает в том случае, если человек может изменить лишь «способ интерпретации случившегося», но не саму ситуацию [11].

В результате экспериментального исследования (С. Фолкман, 1986) была получена восьмифакторная модель совладания со стрессом, в которую вошли следующие шкалы: 1) конфронтующее поведение (confrontive coping); 2) дистанцирование (distancing); 3) самоконтроль (self-control); 4) поиск социальной поддержки (seeking social support); 5) принятие ответственности (accepting responsibility); 6) уход-избегание (escape-avoidance); 7) запланирован-





Рис. 1. Проблемно-ориентированное и эмоционально-ориентированное совладание [11].

ное разрешение проблемы (planful problem-solving); 8) положительная переоценка (positive reappraisal) [12].

Кратко охарактеризуем обозначенные копинг-стратегии.

1. Конфронтующее совладание описывает агрессивные усилия человека, направленные на изменение ситуации, и предполагает наличие у человека определённой степени враждебности и рискотенности, включает импульсивные действия и необдуманные поступки, осуществляемые ради самих действий.

2. Дистанцирование описывает когнитивные усилия, направленные на отстранение от проблемы.

3. Самоконтроль описывает эмоциональные усилия, направленные на сохранение самообладания и регуляцию собственных чувств и поведения.

4. Поиск социальной поддержки описывает усилия, связанные с поиском информационной и эмоциональной поддержки.

5. Принятие ответственности описывает усилия, касающиеся осознания собственной роли в сложившейся ситуации: включает в себя критику и самообвинение.

6. Уход-избегание описывает мечты о желаемом, включает различные способы самоинтоксикации и способы защитного поведенческого устранения.

7. Запланированное разрешение проблемы описывает действия по изменению ситуации и её разрешению.

8. Положительное переосмысление или переоценка описывает усилия, связанные с созданием позитивного образа случившегося в результате перенесения акцента с проблемы на личностное развитие.

гося в результате перенесения акцента с проблемы на личностное развитие.

По мнению авторов, к эмоционально-ориентированному совладанию относятся шесть стратегий, связанных с сохранением самоконтроля в неразрешимой стрессовой ситуации, а именно:

- дистанцирование;
- самоконтроль;
- поиск социальной поддержки;
- уход-избегание;
- принятие ответственности;
- позитивная переоценка ситуации.

Проблемно-ориентированные стратегии совладания направлены на разрешение ситуации через конфронтующее поведение и запланированное разрешение проблемы. Оценка выраженности данных стратегий можно определить, используя опросник способов копинга (Ways of Coping Questionnaire, WCQ) [7; 9], адаптированный вариант которого мы использовали в ходе представленного исследования [13].

Изучение сложных жизненных ситуаций в концепциях совладания связано не столько с выявлением диапазона выносливости человека, максимального уровня его энергетических и психических затрат, сколько с выбором адекватного, уместного и оптимального способа приложения усилий для успешного разрешения возникшего затруднения [14].

По мнению Нормы Хаан, совладающие стратегии отражают эффективные (с точки зрения результата), оптимальные (с точки зрения внутренних затрат) и конструктивные (с точки зрения целесообразности) способы приложения человеком

усилий для разрешения возникшего затруднения [15].

В противовес совладающим стратегиям защитные стратегии проявляются в неэффективных (с точки зрения результата), неоптимальных (с точки зрения внутренних затрат) и неконструктивных (с точки зрения целесообразности) способах взаимодействия человека со сложными жизненными ситуациями. Защитные тенденции отражаются в импульсивных реакциях человека и в его ожидании устранения внутреннего беспокойства без непосредственного разрешения проблемной ситуации [15].

Таким образом, в отличие от защитного поведения «Копинг-поведение (совладание) – это гибкое, намеренное, ориентированное на реальность и развивающееся поведение» [14].

Профессия пилота гражданской авиации (ГА) предусматривает необходимость развития совладающего поведения как интегральной характеристики психики данной категории специалиста, позволяющей ему не только оптимизировать взаимодействие в кабинном экипаже, но и принимать оптимальные, оперативные решения в стандартных и нестандартных лётных ситуациях.

Когнитивное совладание способствует поддержанию высокой интеллектуальной активности и развитию когнитивной мотивации. Поведенческое совладание помогает человеку в достижении поставленных целей, усиливает уверенность в достижении успеха. Эти качества являются чрезвычайно важными для пилотов ГА. Тренинги CRM (Crew Resource Management), которые являются необходимой составляющей подготовки пилотов ГА, содержат отдельные обучающие блоки, направленные на развитие навыков совладания – блок «Принятия решений», блок «Ситуационной осознанности», блок «Деловой коммуникации» и др. Однако преобладающими формами обучения в рамках данного тренинга является обучение, тренинг умений. Развитие совладающего интеллекта пилота предусматривает ценностно-смысловое погружение, следствием которого является не только изменение отношения к ошибке, что является основным положением концепции CRM, но и оптимальное использо-

вание трёх модальностей стратегий, отражающих специфику предпринимаемых человеком усилий (когнитивную, эмоциональную и поведенческую), трёх векторов направленности стратегий (на других, на себя, на предмет), а также двух характеристик интенсивности стратегий, отражающих либо активный, либо пассивный характер взаимодействия пилота с затруднительной ситуацией. Развитие совладающего интеллекта пилотов ГА целесообразно инициировать в период получения ими высшего профессионального образования.

В связи с этим, на наш взгляд, может стать интересным исследование выраженности основных совладающих стратегий пилотов-курсантов, типов психологических защит, свойственных этой категории респондентов, и связей между ними.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СОВЛАДАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ КУРСАНТОВ-ПИЛОТОВ

В 2019 году в Ульяновском институте гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева было проведено исследование особенностей совладающего поведения курсантов-пилотов 5 курса факультета управления воздушным движением и безопасности полётов. В опросе участвовало 24 курсанта. Цель исследования – определение выраженности совладающих стратегий, используемых пилотами-курсантами, и свойственных им типов психологических защит, «запускающих» механизм защитного поведения в проблемных ситуациях. Следует отметить, что количество респондентов, задействованных в исследовании (24 курсанта), недостаточно для выявления устойчивых связей, заявленных в цели исследования. Однако, полученные результаты могут представлять определённый интерес для более глубокого исследования совладающего поведения пилотов ГА.

В качестве основных методов исследования использовались: теоретические методы (анализ психологической литературы по проблеме развития совладающего поведения и связи совладающих и защитных стратегий поведения человека); эмпирические методы (тестирование по опросникам, отвечающие требованиям обоснованности и надёжности); методы параметрической статистики (расчёт коэффициентов корре-



Таблица 1

Типы копинг-стратегий, используемых пилотами-курсантами [13]

	Типы копинг-стратегий							
	Конфронтация	Дистанционирование	Самоконтроль	Поиск социальной поддержки	Принятие ответственности	Избегание	Планирование решения проблем	Положительная переоценка
Среднее значение	6,8	7	12,6	9,6	6,8	8,1	12,7	10,7
Т-балл	45	44	44	45	46	45	51	46

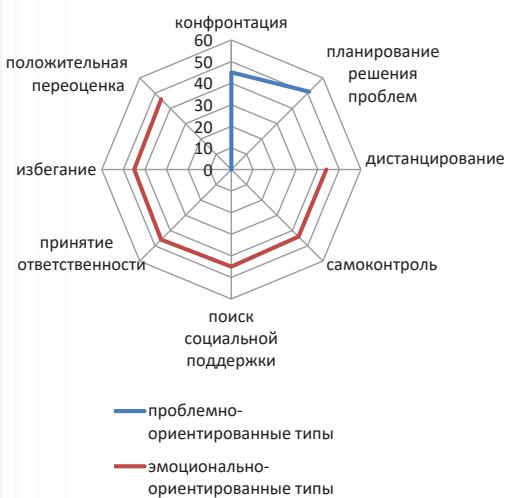


Рис. 2. Выраженность копинг-стратегий пилотов-курсантов [11; 13].

ляции Пирсона). Опросники, используемые в исследовании («Стратегии совладающего поведения» и «Опросник жизненного стиля») были стандартизированы, адаптированы и апробированы на русскоязычной категории респондентов в лаборатории клинической психологии Санкт-Петербургского психоневрологического института им. В. М. Бехтерева [13; 16]. Методики обладают ретестовой надёжностью, внутренней и внешней валидностью и находят широкое применение в восстановительной медицине, профессиональном отборе в стрессогенной профессиональной деятельности.

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе была проведена диагностика курсантов по опроснику «Стратегии совладающего поведения» (ССП) [13]. Опросник включает 50 утверждений, каждое из которых отражает определённый вариант поведения в трудной ситуации. Пункты опросника объединены в восемь шкал, соответствующих основным видам

копинг-стратегий, описанных выше. После расчёта «сырых» показателей по шкалам был осуществлён их перевод в стандартные Т-баллы с использованием разработанных таблиц [13]. Результаты диагностики по опроснику ССП представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Анализ результатов диагностики показал, что в среднем по группе проявляется умеренная выраженность всех копинг-стратегий (от 40 до 60 Т-баллов). Наиболее преобладающей является проблемно-ориентированная стратегия совладания — планирование решения проблем. Это говорит о готовности респондентов воспринимать проблемную ситуацию как разрешимую и моделировать технологию её разрешения.

На втором этапе использовался опросник типов психологической защиты (Р. Плутчик в адаптации Л. И. Вассермана, О. Ф. Ерышева, Е. Б. Клубовой и др.) или, по другому, опросник «Индекс жизненного стиля» [16]. Данный опросник основан на психоэволюционной теории эмоций Р. Плутчика и структурной теории личности Г. Келлермана, предлагающей специфическую взаимосвязь между различными уровнями личности: уровнем эмоций, защитой и диспозицией (наследственные предрасположенности к психическим заболеваниям). Определение преобладающего типа психологической защиты позволяет определить сферу проблем человека, возникновение которых опирается на выявленные защитные установки.

Результаты диагностики типов психологической защиты курсантов представлены в табл. 2 и на рис. 3. Выраженность типа защиты представлена в баллах и сравнивается со средним значением M нормативных данных, выявленных авторами методики.

Таблица 2

Выраженность типов психологических защит пилотов-курсантов

	Типы психологических защит							
	Отрицание A	Вытесне- ние В	Регрессия C	Компенса- ция D	Проекция E	Замеще- ние F	Интеллект G	Реактивные образы H
Среднее значение по группе	5,25	3,7	2,6	3,2	5,8	2,1	6,5	1,7
Норма M	4,5	4	4,7	3,1	8,2	3,8	5,9	3,1

Анализ результатов диагностики показал, что наиболее выраженным в среднем по группе (по сравнению с нормой) стали следующие типы защит респондентов: регрессия, проекция и замещение.

Проявляя защитную реакцию регрессии, человек стремится избежать тревоги, заменяя решение субъективно более сложных задач на более простые и доступные в сложившейся ситуации. Часто это происходит за счёт использования привычных поведенческих стереотипов. Следует отметить, что профессиональное поведение пилотов регламентируется огромным количеством правил: федеральными авиационными правилами (ФАП), стандартными операционными процедурами (SAP), циркулярами ИКАО и др. Это формирует некие стереотипы профессионального поведения, которые помогают пилотам быстро ориентироваться в стандартных и нестандартных ситуациях, обеспечивая безопасность полётов. Возможно, такого рода приверженность регламентам и формирует у пилотов защитный механизм регрессии как обращение к известным и прописанным правилам. Однако, актуализация данного защитного механизма в сложных авиационных ситуациях может значительно осложнить пилоту оперативное принятие решения.

Защитный механизм проекции проявляется в том, что неприемлемые для человека чувства и мысли приписываются другим людям и, таким образом, оправдываются. Актуализация данного механизма усиливает подозрительность, упрямство, несговорчивость, нетерпимость к выражениям, тенденцию к обвинению окружения, поиск недостатков, повышенную чувствительность к критике и замечаниям, требовательность. В отношении пилотов эти качества снижают эффективность взаимо-

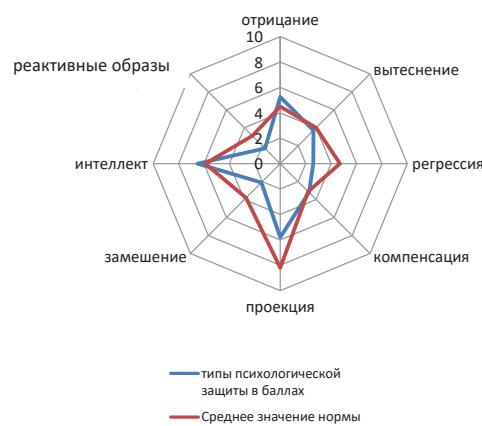


Рис. 3. Выраженность типов психологических защит пилотов-курсантов [16].

действия в кабинном и лётном экипажах, особенно в стрессовых ситуациях, что напрямую влияет на безопасность полётов.

Защитный механизм замещения проявляется в разрядке человеком подавленных эмоций (как правило, враждебности, гнева), которые направляются на объекты, представляющие меньшую опасность или более доступные, чем те, что вызвали отрицательные эмоции и чувства. В этой ситуации человек может совершать неожиданные, даже бессмысленные действия, которые снижают внутреннее напряжение. В ситуациях профессионального взаимодействия пилотов данный механизм может проявиться, когда проблемы, и, как следствие, негативные чувства, возникшие до полёта (семья, задержка вылета, здоровье, общение с коллегами в аэропорту и др.) переносятся на кабинный экипаж во время полёта. Это, безусловно, резко снижает конструктивный характер взаимодействия пилотов и, тем самым, влияет на безопасность полёта.

Описанные выше защитные механизмы достаточно часто встречаются в обычной жизни, но в условиях полёта оказывают





Коэффициент корреляции г-Пирсона

Пилоты-курсанты (24 человека) 32 пилота				
Название первого ряда переменных	Название второго ряда переменных. Индекс контроля	Коэффициент корреляции г-Пирсона	Критическое значение г-Пирсона (вероятность ошибки 0,05)	Критическое значение г-Пирсона (вероятность ошибки 0,01)
Копинг-стратегия «Конфронтация»	Тип псих. защиты «Регрессия»	0,55	0,4	0,52
Копинг-стратегия «Конфронтация»	Тип псих. защиты «Проекция»	0,42	0,4	0,52
Копинг-стратегия «Конфронтация»	Тип псих. защиты «Замещение»	0,32	0,4	0,52

негативное влияние на управление воздушным судном.

На третьем этапе исследования была определена степень согласованности между рядом значений копинг-стратегии «Конфронтация» (как наиболее, на наш взгляд, деструктивной стратегии в условиях полёта) и рядами значений наиболее выраженных типов психологических защит респондентов, а именно, «Регрессия», «Проекция» и «Замещение».

Для исследования взаимосвязи двух переменных, измеренных в метрических шкалах на одной и той же выборке, используется коэффициент корреляции Пирсона (г-Пирсона) [17].

Оценим полученные нами эмпирические значения коэффициента Пирсона, сравнив его с соответствующим критическим значением для заданного уровня значимости из таблицы критических значений коэффициента корреляции Пирсона. Для выборки с числом элементов 24 и уровнем значимости $p = 0,05$ критическое значение коэффициента Пирсона $r_{\text{крит}} = 0,4$, с уровнем значимости $p = 0,01$ и $r_{\text{крит}} = 0,52$.

Анализ табличных данных показывает отсутствие статистически значимой зависимости между выявленной у курсантов копинг-стратегии «Конфронтация» и выраженнойностью их психологической защиты «Замещение».

Коэффициент корреляции между копинг-стратегией «Конфронтация» пилотов и значением выраженности у них психологической защиты «Проекция» больше критического значения с уровнем значимости 0,05 (находится в зоне значимости) свидетельствует о прямой линейной зависимости между данными переменными. То есть, с увеличением выраженности

у респондентов психологической защиты «Проекция» увеличивается вероятность их конфронтационного поведения. Иными словами, наличие у будущих пилотов ГА выраженной тенденции, при которой неприемлемые для них чувства и мысли приписываются другим людям и, таким образом, теряют личностную значимость, снижают уровень критичности к себе, влечёт за собой повышение вероятности импульсивного, враждебного, конфликтного поведения. Такой тип реагирования особенно опасен при взаимодействии лётного экипажа в острых стрессовых ситуациях, в условиях переутомления, общей несработанности экипажа и др. В качестве профилактического способа преодоления конфронтационной копинг-стратегии используется освоение пилотами технологии позитивной настойчивости, прохождение ими тренинга LOFT (Line Oriented Flight Training). Однако, осознание будущими пилотами систематического проявления в своём поведении защитного механизма «Проекция», может дать им возможность изменить отношение к своим личностным ограничениям, уважительно реагировать на критику и, в целом, более профессионально относится к ошибкам, что является системообразующим принципом системы CRM.

Коэффициент корреляции между копинг-стратегией «Конфронтация» пилотов и значением выраженности у них психологической защиты «Регрессия» больше критического значения с уровнем значимости 0,01 (находится в зоне значимости) свидетельствует о прямой линейной зависимости между данными переменными. То есть с увеличением выраженности у респондентов психологической защиты «Ре-

грессия» увеличивается вероятность их конфронтационного поведения. Это означает, что будущий пилот при этой форме защитной реакции в стрессовой ситуации может заменить решение субъективно более сложных задач на более простые в сложившейся ситуации. Это формирует у пилота необъективный образ полёта и, как следствие, провоцирует конфликты и конфронтацию в лётном и кабинном экипажах.

Таким образом, выявленные в результате исследования наиболее выраженные у пилотов-курсантов типы психологических защит «Проекция» и «Регрессия» оказались в линейной зависимости (статистически значимой) от копинг-стратегии «Конфронтация». Данная стратегия преодоления стресса слабо выражена у респондентов. Однако наличие выявленной связи демонстрирует возможные риски взаимодействия лётного экипажа, вероятность которых может усиливаться в условиях полёта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало значимость более глубокого изучения психологических механизмов, формирующих профессиональный стиль поведения будущих пилотов ГА. Внедрение во всех авиационных компаниях системы CRM (Crew Resources Management), развитие культуры безопасности как приоритетной организационной ценности требуют от пилотов особого стиля профессионального поведения, воспитание которого должно начинаться уже при получении ими профессионального образования. Этот процесс должен быть основан на комплексном изучении не только особенностей когнитивных процессов курсантов, но также эмоциональных, поведенческих, личностно-смысловых особенностей будущих пилотов ГА.

ЛИТЕРАТУРА

- Хачатурова М. Н. Совладающий репертуар личности: обзор зарубежных исследований // Психология. Журнал ВШЭ. – 2013. – Т. 10. – № 3. – С. 160–169.
- Нартова-Бочавер С. К. Жизненная среда как источник стресса и ресурс его преодоления: возвращаясь к психологии повседневности // Психологический журнал. – 2019. – № 5. – С. 15–26.
- Стрижицкая О. Ю., Головей Л. А. Дифференциально-психологические аспекты восприятия повседневных стрессоров // Психологический журнал. – 2018. – Т. 39. – № 5. – С. 15–25.
- Харламенкова Н. Е. Психология посттравматического стресса: итоги и перспективы исследований // Психологический журнал. – 2017. – № 1. – С. 60–30.
- Баранов А. А., Жученко О. А. Стрессоустойчивость и самооценка академических достижений // Психологический журнал. – 2015. – Т. 36. – № 4. – С. 16–22.
- Битюцкая Е. В. Факторная структура русскоязычной версии методики «Опросник способов копинга» // Вопросы психологии. – 2014. – № 5. – С. 138–150.
- Рассказова Е. И., Гордеева Т. О., Осин Е. Н. Копинг-стратегии в структуре деятельности и саморегуляции: психометрические характеристики и возможности применения методики COPE // Психология. Журнал ВШЭ. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 82–118.
- Шейнов В. П. Детерминанты асертивного поведения // Психологический журнал. – 2015. – № 3. – С. 28–37.
- Городецкий И. Г., Трофимов Е. А. Индекс когнитивной работоспособности операторов в эргатических системах // Психологический журнал. – 2016. – Т. 37. – № 5. – С. 22–31.
- Lazarus, R. S., Folkman, S. Stress, Appraisal and Coping. N.Y.: Springer Publishing Company, 1984, pp. 376–436. [Электронный ресурс]: https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=i-ySQQuUp8C&oi=fnd&pg=PR5&ots=DfLQiqjkQc&sig=rCtiGtyAQaVx5_ hpf3WqoRjHYm8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Доступ 15.01.2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9_215.
- Folkman, S., Lazarus, R. S. If it changes it must be a process: Study of emotion and coping during three stages of a college examination. J. of Pers. and Soc. Psychol, 1985, Vol. 48, Iss. 1, pp. 150–170. [Электронный ресурс]: <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.48.1.150>. Доступ 15.01.2020.
- Folkman, S., Lazarus, R. S. Manual for the Ways of Coping Questionnaire. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1988, p. 33. [Электронный ресурс]: https://openlibrary.org/books/OL18290760M/Ways_of_coping_questionnaire. Доступ 15.01.2020.
- Вассерман Л. И., Ерышев О. Ф., Клубова Е. Б. Методика для психологической диагностики совладающего поведения в стрессовых и проблемных для личности ситуациях: Пособие для врачей и медицинских психологов. – СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В. М. Бехтерева, 2008. – 35 с.
- Либина А. В. Совладающий интеллект: человек в сложной жизненной ситуации. – М.: Эксмо, 2008. – 247 с.
- Haan, N. Coping and defending. Processes of self-environment organization. New York-San Francisco-London: Academic Press, 1977, p. 360. [Электронный ресурс]: https://books.google.ru/books?id=rvQgBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Доступ 15.01.2020. DOI:10.1016/0277-9536(82)90118-6.
- Вассерман Л. И., Ерышев О. Ф., Клубова Е. Б. Психологическая диагностика индекса жизненного стиля: Пособие для психологов и врачей. – СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В. М. Бехтерева, 2005. – 54 с.
- Наследов А. Д. Математические методы психолого-исследования. Анализ и интерпретация данных: Учеб. пособие. – СПб.: Речь, 2006. – 392 с.
- Крюкова Т. Л. Человек как субъект совладающего поведения // Психологический журнал. – 2008. – № 2. – С. 88–94.

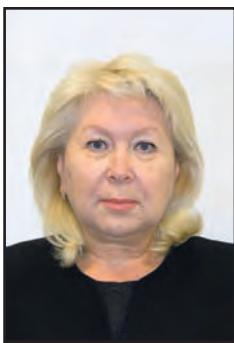




Study of Peculiarities of Coping Behavior of Cadets-Pilots of Civil Aviation



Marina V. ERKHOVA



Lyudmila G. SHUMKOVA

ABSTRACT

The article substantiates the relevance of the study and development of coping behavior of future civil aviation pilots in the context of their higher professional education. The results of the study are presented, the purpose of which was to determine strength of coping strategies used by cadet pilots in difficult life situations, as well as their types of psychological defenses that «trigger» the mechanism of evading prompt and constructive solutions to personal and professional problems. The theoretical and methodological basis of the study is a stress-oriented approach to coping (R. Lazarus, S. Folkman). This approach studies the phenomenon of coping in terms of effectiveness and inefficiency of human interaction with stress factors.

As an empirical research method, testing was selected according to the questionnaire «Strategies for coping behavior» developed by a group of scientists from the laboratory of clinical psychology of St. Petersburg Psychoneurological Institute named after V. M. Bekhterev, and the questionnaire of types

*Erkhova, Marina V., Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.
Shumkova, Lyudmila G., Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia*.*

of psychological defense (R. Plutchik in adaptation of L. I. Wasserman, O. F. Eryshev [et al]). The effectiveness of these methods is confirmed by the results of their application in examination of various categories of tested persons, by retest reliability, internal and external validity.

To determine presence or absence of a linear relationship between a number of values of «Confrontation» coping strategy (as, in our opinion, the most destructive strategy in flight conditions) and a series of values of the most pronounced types of psychological defenses of the respondents identified in the study, the method of parametric statistics was applied, calculation of the Pearson correlation criterion. Based on assessment of strength of the correlation between the coping strategy «Confrontation» and psychological defenses «Regression», «Projection», and «Substitution», the degree of their influence on the nature of interaction of pilots in the flight and cabin crew and on flight safety in general was analyzed.

Keywords: civil aviation, training, coping, coping behavior, psychological defense, coping strategies, flight safety.

*Information about the authors:

Erkhova, Marina V. – Ph.D. (Pedagogics), Associate Professor at the Department of Humanities and Socio-Economic Disciplines of Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia, m.v.erhova@mail.ru.

Shumkova, Lyudmila G. – Ph.D. (Pedagogics), Dean of the Faculty of Training of Aviation Specialists of Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia, fpas-1@yandex.ru.

Article received 25.09.2019, accepted 08.01.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 214.

Background. The modern professional environment is characterized by an increase in the number of situational factors that have a significant impact on the psychological state of employees and, as a result, on quality of their work. The variety of these factors is determined by the characteristics of professional activity itself, job conditions, team relationships, socio-economic factors, the characteristics of family relations, intrapersonal and interpersonal conflicts, etc. Each of these factors requires a person to have a special response method that the employee selects as potentially successful, reducing psychological tension and providing optimal social adaptability. The expansion of the number of external and internal influences requires a person to apply more flexibility, self-control efforts, analytical skills and more. In this regard, it became necessary to determine the ability of an employee to cope with various kinds of life situations as a kind of integral personality trait of a modern person. This feature was defined as «coping», that is, «...behavioral, cognitive and emotional actions of a person taken to overcome difficult situations and adapt to the circumstances» [1]. The concept of «coping» was first introduced by L. Murphy in 1962 and was further developed in the ego-oriented theory of coping (K. Menninger, V. Vaillant, N. Haan, etc.), the cognitive-phenomenological theory of coping with stress (R. Lazarus, S. Folkman). In Russian psychology, theoretical, methodological issues of stress

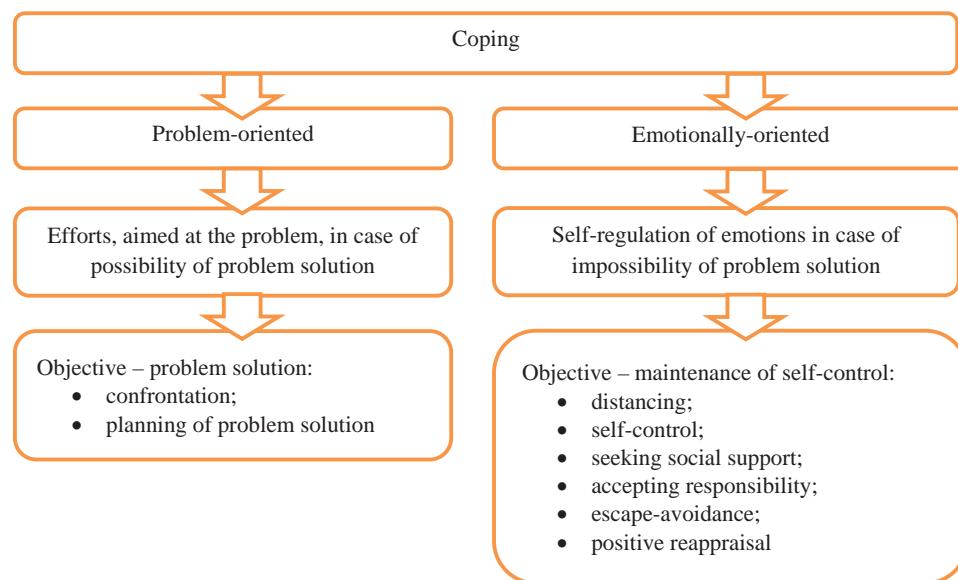
management are reflected in the works of L. I. Antsiferova, V. A. Bodrov, S. K. Nartova-Bochaver [*et al*].

Currently, the problem of coping is the subject of a large number of applied research, reflecting the variety of stress factors affecting a modern man. These include studies of everyday, post-traumatic stressors and ways to overcome them [2–4]; the study of educational stress [5], integrated assessment of the personality of a person experiencing various types of stress [6–8]; the study of special types of professional activity occurring in unusual, intense and stressful conditions [9] and others.

The *objective* of the article is to substantiate importance of studying and developing the coping behavior of future civil aviation pilots in the context of their higher professional education. To achieve this objective, the research has used theoretical *methods* of cognition (analysis of scientific literature, classification), as well as empirical methods (measurement, experiment).

Results. The study of coping behavior presented below is based on a stress-oriented approach to coping (R. Lazarus, S. Folkman). This approach studies the phenomenon of coping in terms of effectiveness and inefficiency of human interaction with stress factors [10].

R. Lazarus and S. Folkman distinguish two global types, or strategies for interacting with a stressful situation, called problem-and emotionally-oriented coping. The choice of a



Pic. 1. Problem-oriented and emotionally-oriented coping [11].



strategy is based on a person's assessment of possibility-impossibility of undertaking something to change a stressful situation. According to the authors, problem-oriented coping begins to prevail if a person is able to change the situation, according to his assessment. Emotionally oriented coping occurs if a person can only change the «way of interpreting what happened», but not the situation itself [11].

As a result of an experimental study (S. Folkman, 1986), an eight-factor model of coping with stress was obtained, which included the following scales:

- 1) confrontive coping;
- 2) distancing;
- 3) self-control;
- 4) seeking social support;
- 5) accepting responsibility;
- 6) escape-avoidance;
- 7) planful problem-solving;
- 8) positive reappraisal [12].

Let's describe briefly the designated coping strategies.

1. *Confrontive coping* describes a person's aggressive efforts aimed at changing the situation and assumes that a person has a certain degree of hostility and risk-taking, includes impulsive actions and rash acts carried out for the sake of the actions themselves.

2. *Distancing* describes cognitive efforts to escape a problem.

3. *Self-control* describes emotional efforts aimed at maintaining self-control and regulating one's own feelings and behavior.

4. *Seeking social support* describes efforts related to the search for informational and emotional support.

5. *Accepting responsibility* describes efforts related to recognition of one's own role in the current situation: it includes criticism and self-incrimination.

6. *Escape-avoidance* describes dreams of what is desired, includes various methods of self-intoxication and methods of protective behavioral elimination.

7. *Planned resolution of the problem* describes the actions to change the situation and to solve it.

8. *Positive rethinking, or reappraisal*, describes the efforts involved in creating a positive image of what happened as a result of shifting the emphasis from the problem to personal development.

According to the authors, six strategies related to maintaining self-control in an unsolvable stressful situation are related to emotionally-oriented coping, namely:

- distancing;
- self-control;
- seeking social support;
- escape-avoidance;
- accepting responsibility;
- positive reappraisal of the situation.

Problem-oriented coping strategies are aimed at resolving the situation through confrontive behavior and planned resolution of the problem. Assessment of severity of these strategies can be determined using Ways of Coping Questionnaire (WCQ) [7; 9], an adapted version of which we used in the course of the present study [13].

The study of complex life situations in concepts of coping is associated not so much with identifying a person's endurance range, maximum level of his energy and mental costs, but rather with choosing an adequate, appropriate and optimal way to apply efforts for successful resolution of the difficulty [14].

According to Norma Haan, coping strategies reflect effective (from the point of view of the result), optimal (from the point of view of internal costs) and constructive (from the point of view of expediency) ways for a person to make efforts to resolve the difficulty [15].

In contrast to coping strategies, defensive strategies are manifested in ineffective (from the point of view of the result), non-optimal (from the point of view of internal costs) and non-constructive (from the point of view of expediency) ways of human interaction with difficult life situations. Protective trends are reflected in impulsive reactions of a person and in his expectation of eliminating internal anxiety without directly resolving the problem situation [15].

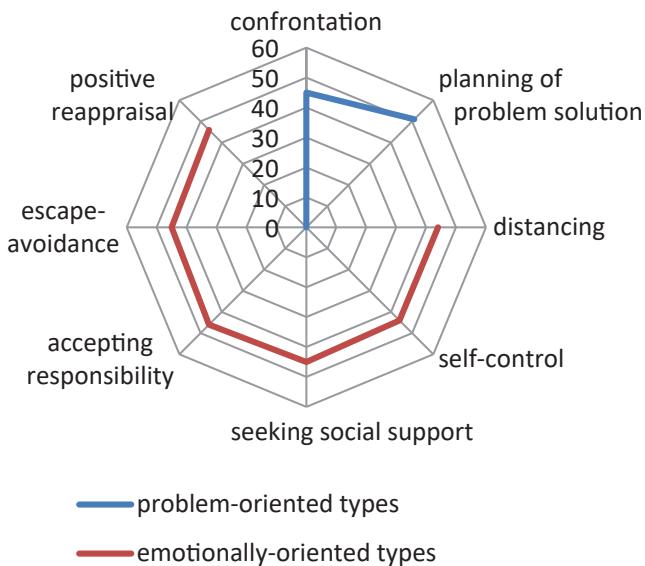
Thus, unlike defensive behavior, «Coping behavior (coping) is flexible, intentional, reality-oriented and evolving behavior» [14].

The profession of a civil aviation (CA) pilot requires development of coping behavior as an integral characteristic of the psyche of this category of specialist, allowing him not only to optimize interaction in the cockpit, but also to make optimal, operational decisions in standard and non-standard flight situations.

Cognitive coping contributes to maintaining high intellectual activity and

Table 1
Types of coping strategies used by cadet pilots [13]

Types of coping strategies	Confrontation	Distancing	Self-control	Seeking social support	Accepting responsibility	Escape-avoidance	Planning of problem solution	Positive reappraisal
Av. value	6,8	7	12,6	9,6	6,8	8,1	12,7	10,7
T-score	45	44	44	45	46	45	51	46



Pic. 2. Severity of coping strategies of cadet pilots [11; 13].

development of cognitive motivation. Behavioral coping helps a person to achieve his goals, strengthens confidence in achieving success. These features are extremely important for CA pilots. CRM trainings (Crew Resource Management), which are a necessary component of CA pilot training, contain separate training blocks aimed at developing coping skills: «Decision Making» block, «Situational Awareness» block, «Business Communication» block, etc. However, the prevailing forms of training in the framework of this training is learning, skills training. Development of pilot coping intelligence involves a value-semantic immersion, the result of which is not only a change in attitude to error, which is the main point of CRM concept, but also the optimal use of three modalities of strategies that reflect the specifics of a person's efforts (cognitive,

emotional and behavioral), three vectors of orientation of strategies (on others, on themselves, on the subject), as well as two characteristics of intensity of strategies, reflecting either the active or passive nature of the pilot's interaction with the difficult situation. It is advisable to initiate development of coping intelligence of CA pilots during the period of their higher professional education.

In this regard, in our opinion, it may be interesting to study severity of main coping strategies of cadet pilots, the types of psychological defenses inherent in this category of respondents and the relationships between them.

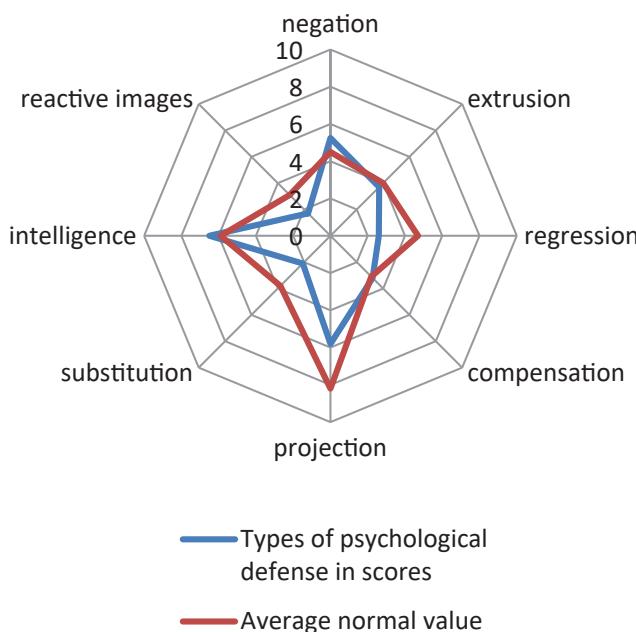
Study of the characteristics of coping behavior of cadets-pilots

In 2019, at Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of



Table 2**Severity of types of psychological defense of cadet pilots**

	Types of psychological defense							
	Negation A	Extrusion B	Regression C	Compensation D	Projection E	Substitution F	Intelligence G	Reactive images H
Average value in the group	5,25	3,7	2,6	3,2	5,8	2,1	6,5	1,7
Norm M	4,5	4	4,7	3,1	8,2	3,8	5,9	3,1

**Pic. 3. Severity of types of psychological defense of cadet pilots [16].**

Aviation B. P. Bugaev a study of the peculiarities of coping behavior of 5th-year pilot cadets of the faculty of air traffic control and flight safety was carried out. The survey involved 24 cadets. The objective of the study was to determine severity of coping strategies used by cadet pilots and their characteristic types of psychological defenses that «trigger» the mechanism of protective behavior in problem situations. It should be noted that the number of respondents involved in the study (24 cadets) is not enough to identify sustainable relationships stated for the purpose of the study. However, the results obtained may be of some interest for a deeper study of coping behavior of CA pilots.

The main research methods used were: theoretical methods (analysis of psychological literature on the problem of development of

coping behavior and the relationship of coping and protective strategies for human behavior); empirical methods (testing with questionnaires that meet the requirements of validity and reliability); methods of parametric statistics (calculation of Pearson correlation coefficients). The questionnaires used in the study («Strategies for coping behavior» and «Life style questionnaire») were standardized, adapted and tested for the Russian-speaking category of respondents in the Clinical Psychology Laboratory of St. Petersburg Psychoneurological Institute named after V. M. Bekhterev [13; 16]. The methods have retest reliability, internal and external validity and are widely used in restorative medicine, professional selection in stressful professional activities.

The study was conducted in three stages. At the first stage, cadets were diagnosed using

Table 3

r-Pearson correlation coefficient

Cadet pilots (24 persons)				
Name of the first row of variables	Name of the second row of variables control index	r-Pearson correlation coefficient	Critical value of r-Pearson (error probability 0,05)	Critical value of r-Pearson (error probability 0,01)
Coping strategy «Confrontation»	Type of psychological defense «Regression»	0,55	0,4	0,52
Coping strategy «Confrontation»	Type of psychological defense «Projection»	0,42	0,4	0,52
Coping strategy «Confrontation»	Type of psychological defense «Substitution»	0,32	0,4	0,52

the questionnaire «Strategy for coping behavior» (SCB) [13]. The questionnaire includes 50 statements, each of which reflects a specific version of behavior in a difficult situation. The questionnaire items are combined into eight scales corresponding to the main types of coping strategies described above. After calculating the «raw» indicators using the scales, they were converted to standard T-points using the developed tables [13]. Diagnostic results for the SCB questionnaire are shown in Table 1 and in Pic. 2.

The analysis of the diagnostic results showed that on average the group shows moderate severity of all coping strategies (from 40 to 60 T-scores). The most predominant is the problem-oriented coping strategy: problem solving planning. This indicates the willingness of respondents to perceive the problem situation as solvable and to model the technology for resolving it.

At the second stage, a questionnaire of types of psychological defense was used (developed by R. Plutchik and adapted by L. I. Wasserman, O. F. Eryshev, E. B. Klubova [*et al.*]) or, in another way, the questionnaire «Life Style Index» [16]. This questionnaire is based on the psycho-evolutionary theory of emotions of R. Plutchik and the structural theory of personality [Ego Defenses and Emotions] by H. Kellerman, which offers a specific relationship between different levels of personality: level of emotions, protection and disposition (hereditary predispositions to mental illnesses). Determining the predominant type of psychological defense allows to determine the scope of human problems, the occurrence of which is based on the identified protective settings.

Diagnostic results of the types of psychological defense of cadets are shown in Table 2 and in Pic. 3. The severity of the type of defense is presented in points and is compared with the average value M of regulatory data identified by the authors of the methodology.

The analysis of the diagnostic results showed that the following types of respondents' defense became the most pronounced on average for the group (compared to the norm): regression, projection, and substitution.

Manifesting a defensive reaction of regression, a person seeks to avoid anxiety by replacing the solution of subjectively more complex tasks with simpler and more accessible ones in the current situation. Often this occurs through the use of familiar behavioral stereotypes. It should be noted that the professional behavior of pilots is regulated by a huge number of rules: federal aviation rules (FAR), standard operating procedures (SAP), ICAO documents, etc. This forms some stereotypes of professional behavior that help pilots quickly navigate in standard and non-standard situations, providing flight safety. Perhaps this kind of adherence to regulations also forms a protective regression mechanism among pilots as an appeal to well-known and prescribed rules. However, updating this protective mechanism in complex aviation situations can significantly complicate the pilot's operational decision making.

The defensive mechanism of projection is manifested in the fact that feelings and thoughts that are unacceptable to a person are attributed to other people and, thus, are justified. The actualization of this mechanism enhances suspicion, stubbornness, intransigence, intolerance to objections, a tendency to blame the environment, search for flaws,



increased sensitivity to criticism and remarks, and exactingness. In relation to pilots, these features reduce effectiveness of interaction in the cockpit and flight crews, especially in stressful situations, which directly affects flight safety.

The defensive mechanism of substitution is manifested in discharge by a person of suppressed emotions (usually hostility, anger), which are addressed to objects that are less dangerous or more accessible than those that caused negative emotions and feelings. In this situation, a person can perform unexpected, even meaningless actions that reduce internal stress. In situations of professional interaction between pilots, this mechanism may manifest itself when problems, and, as a result, negative feelings that arose before the flight (family, flight delay, health, communication with colleagues at the airport, etc.) are transferred to the cabin crew during the flight. This, of course, dramatically reduces the constructive nature of interaction of pilots and, thus, affects flight safety.

The protective mechanisms described above are quite common in everyday life, but in flight conditions have a negative impact on control of the aircraft.

At the third stage of the study, the degree of consistency was determined between a number of values of «Confrontation» coping strategy (as, in our opinion, the most destructive strategy in flight conditions) and a series of values of the most pronounced types of psychological defenses of respondents, namely, «Regression», «Projection» and «Substitution».

To study the relationship of two variables measured in metric scales on the same sample, the Pearson (r-Pearson) correlation coefficient is used [17].

Let's evaluate the empirical values of the Pearson coefficient obtained by us, comparing it with the corresponding critical value for a given level of significance from the table of critical values of the Pearson correlation coefficient. For a sample with 24 elements and a significance level of $p = 0,05$, the critical value of the Pearson coefficient is $r_{crit} = 0,4$, with a significance level of $p = 0,01$, $r_{crit} = 0,52$.

The analysis of tabular data shows the absence of a statistically significant relationship between «Confrontation» coping strategy revealed by cadets and severity of their «Substitution» psychological defense.

The correlation coefficient between the coping strategy «Confrontation» of pilots and severity of their psychological defense «Projection» if greater than the critical value with a significance level of 0,05 (located in the significance zone) indicates a direct linear relationship between these variables. That is, with an increase in severity of «Projection» psychological defense by respondents, the likelihood of their confrontational behavior increases. In other words, presence of a pronounced tendency among future CA pilots in which feelings and thoughts unacceptable to them are attributed to other people and, thus, lose their personal significance, reduce their level of criticality, and entail an increase in the likelihood of impulsive, hostile, conflict behavior. This type of response is especially dangerous when the flight crew interacts in acute stressful situations, in conditions of overwork, general crew unworkfulness, etc. As a preventive way to overcome the confrontational coping strategy, the pilots master the technology of positive persistence and undergo LOFT (Line Oriented Flight Training) training. However, future pilots' awareness of the systematic manifestation of «Projection» defensive mechanism in their behavior can enable them to change their attitude to their personal constraints, respectfully criticize and, more generally, treat errors more professionally, which is the backbone principle of CRM system.

The correlation coefficient between the coping strategy «Confrontation» of pilots and severity of their psychological defense «Regression» if greater than the critical value with a significance level of 0,01 (located in the significance zone) indicates a direct linear relationship between these variables. That is, with an increase in severity of the respondents of the psychological defense «Regression», the likelihood of their confrontational behavior increases. This means that a future pilot with this form of defensive reaction in a stressful situation can replace the solution of subjectively more complex tasks with simpler ones in the current situation. This forms a biased image of the flight for the pilot and, as a result, provokes conflicts and confrontation in the flight and cockpit crews.

Thus, the types of psychological defenses «Projection» and «Regression» that were identified as a result of the study and were most pronounced among cadets-pilots turned out to be in a linear (statistically significant) dependence on «Confrontation» coping strategy. This stress management strategy is poorly expressed among respondents. However, the presence of the identified relationship demonstrates possible risks of interaction between the flight crew, the probability of which may increase in flight conditions.

Conclusion. The study showed the importance of a deeper study of the psychological mechanisms that shape the professional behavior of future CA pilots. The implementation of CRM (Crew Resources Management) system in all aviation companies, development of a safety culture as a priority organizational value, requires that pilots have a special style of professional behavior, upbringing of which should begin when they are getting their professional education. This process should be based on a comprehensive study of not only the cognitive processes of cadets, but also of the emotional, behavioral, personality and semantic characteristics of future CA pilots.

REFERENCES

- Khachaturova, M. N. The coping personality repertoire: a review of foreign studies [Sovladayushchiy repertuar lichnosti: obzor zarubezhnykh issledovanii]. *Psychology. Journal of Higher School of Economics*, 2013, Vol. 10, Iss. 3, pp. 160–169.
- Nartova-Bochaver, S. K. Life environment as a source of stress and a resource for overcoming it: returning to the psychology of everyday life [Zhiznennaya sreda kak istochnik stresса i resurs ego preodoleniya: vozvrashchayash's k psichologii povedeniyu]. *Psychological Journal*, 2019, Iss. 5, pp. 15–26.
- Strizhetskaya, O. Yu., Golovey, L. A. Differential-psychological aspects of perception of everyday stressors [Differentsialno-psichologicheskie aspekty vospriyatiya povedenivnykh stressorov]. *Psychological Journal*, 2018, Vol.39, Iss. 5, pp. 15–25.
- Kharlamenkova, N. E. Psychology of post-traumatic stress: results and prospects of research [Psichologiya posttraumaticeskogo stressa: itogi i perspektivi issledovani]. *Psychological journal*, 2017, Iss. 1, pp. 60–30.
- Baranov, A. A., Zhuchenko, O. A. Stress resistance and self-assessment of academic achievements [Stressoustoichivost' i samootsvenka akademicheskikh dostizhenii]. *Psychological Journal*, 2015, Vol. 36, Iss. 4, pp. 16–22.
- Bityutskaya, E. V. Factor structure of the Russian-language version of the methodology «Ways of Coping Questionnaire» [Faktornaya struktura russkoyazychnoi versii metodiki «Oprosnik sposobov kopininga】. *Psychology Issues*, 2014, Iss. 5, pp. 138–150.
- Rasskazova, E. I., Gordeeva, T. O., Osin, E. N. Coping strategies in the structure of activity and self-regulation: psychometric characteristics and the possibilities of using COPE method [Koping-strategii v strukture deyatelnosti i samoregulyatsii: psichometricheskie kharakteristiki i vozmozhnosti primeneniya metodiki COPE]. *Psychology. Journal of HSE*, 2013, Vol. 10, Iss. 1, pp. 82–118.
- Sheinov, V. P. Determinants of assertive behavior [Determinanty assertivnogo povedeniya]. *Psychological journal*, 2015, Iss. 3, pp. 28–37.
- Gorodetsky, I. G., Trofimov, E. A. The cognitive performance index of operators in ergodic systems [Indeks kognitivnoi rabotosposobnosti operatorov v ergaticheskikh sistemakh]. *Psychological Journal*, 2016, Vol. 37, Iss. 5, pp. 22–31.
- Lazarus, R. S., Folkman, S. Stress, Appraisal and Coping. N. Y.: Springer Publishing Company, 1984, pp. 376–436. [Electronic resource]: https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=i-ySQQuUp8C&oi=fnd&pg=PR5&ots=DfLQiQjkQc&sig=rCtiGtyAQaVx5_hpf3WqoRjHYm8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Last accessed 15.01.2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9_215.
- Folkman, S., Lazarus, R. S. If it changes it must be a process: Study of emotion and coping during three stages of a college examination. *J. of Pers. And Soc. Psychol.*, 1985, Vol. 48, Iss. 1, pp. 150–170. DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.48.1.150>. Last accessed 15.01.2020.
- Folkman, S., Lazarus, R. S. Manual for the Ways of Coping Questionnaire. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1988, p. 33. [Electronic resource]: https://openlibrary.org/books/OL18290760M/Ways_of_coping_questionnaire. Last accessed 15.01.2020.
- Wasserman, L. I., Eryshev, O. F., Klubova, E. B. Methodology for the psychological diagnosis of coping behavior in stressful and problematic situations for a person: A manual for doctors and medical psychologists [Metodika dlya psichologicheskoi diagnostiki sovladayushchego povedeniya v stressovykh i problemnykh dlya lichnosti situatsiyakh. Posobie dlya vrachei i meditsinskikh psichologov]. St. Petersburg, St. Petersburg Psychoneurological Research Institute named after V. M. Bekhterev, 2008, 35 p.
- Libina, A. V. Coping intelligence: a person in a difficult life situation [Sovladayushchiy intellect: chelovek v slozhnoi zhiznennoi situatsii]. Moscow, Eksmo publ., 2008, 247 p.
- Haan, N. Coping and defending. Processes of self-environment organization. New York–San Francisco–London: Academic Press, 1977, p. 360. [Electronic resource]: https://books.google.ru/books?id=rvQgBQAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Last accessed 15.01.2020. DOI: [10.1016/0277-9536\(82\)90118-6](https://doi.org/10.1016/0277-9536(82)90118-6).
- Wasserman, L. I., Eryshev, O. F., Klubova, E. B. Psychological diagnosis of the index of life style: A manual for psychologists and doctors [Psichologicheskaya diagnostika indeksa zhiznennogo stilya. Posobie dlya psichologov i vrachei]. St. Petersburg, St. Petersburg Research Psychoneurological Institute named after V. M. Bekhterev, 2005, 54 p.
- Nasledov, A. D. Mathematical methods of psychological research. Analysis and interpretation of data: Study guide [Matematicheskie metody psichologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh. Ucheb. posobie]. St. Petersburg, Rech' publ., 2006, 392 p.
- Kryukova, T. L. Man as a subject of coping behavior [Chelovek kak sub'ekt sovladayushchego povedeniya]. *Psychological Journal*, 2008, Iss. 2, pp. 88–94.





Уровень владения навыками первой помощи среди водителей в России и Европейском Союзе



Александр ПОПОВ



Ульяна КАЙМАКОВА



Николай СТЕЦКИЙ

Попов Александр Владимирович – Волжский политехнический институт, филиал Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия.

Каймакова Ульяна Михайловна – Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград, Россия.

Стецкий Николай Петрович – Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград, Россия.

Российская Федерация занимает одно из первых мест по показателям дорожно-транспортной смертности, тогда как страны Европейского союза играют значительную роль в снижении общемировых показателей дорожно-транспортной смертности. Целью исследования является сравнение уровня знаний приёмов первой помощи среди водителей в Российской Федерации и странах ЕС. В продолжение предыдущей работы, в рамках которой проведено исследование методом опроса граждан РФ по разработанной авторами анкете, количество опрошенных увеличено со 107 до 403 человек. Для сравнения показателей были опрошены граждане Европейского Союза в количестве 402 человек. Опрос проводился в мае–сентябре 2018 года и январе и июне 2019 г. Применялся непосредственный опрос, проводимый силами студентов ВГИ (филиал) ВолГТУ и ВолГМУ. Также использовалась платформа <https://docs.google.com/forms>, ссылка на анкету размещалась в наиболее активных сообществах водителей в социальных сетях «Вконтакте» и «Facebook». Согласно полученным данным, российские автошколы значительно чаще пренебрегают проведением занятий по оказанию первой помощи, чем европейские. Респонденты из ЕС гораздо реже сталкивались с необходимостью оказания первой помощи, что может быть связано с меньшим временем прибытия на место ДТП бригады врачей. Наиболее значительные расхождения – в знаниях водителей в вопросах, касающихся времени наложения кровоостанавливающего жгута, показаний начала сердечно-легочной реанимации и её методах, действий при переломах конечностей, т.е. критически важных именно в случаях ДТП. Сделан общий, подлежащий уточнению вывод, что вопросам первой помощи в ЕС уделяется больше внимания. Для улучшения ситуации в России предложен ряд мер: обязательное проведение занятий по медицинским вопросам в автошколах медицинским работником, удлечение большего внимания обучению приёмам оказания первой помощи в образовательных учреждениях, обучение сотрудников специальных служб навыкам оказания первой помощи и содействие обучению рядовых граждан.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, смертность в ДТП, первая помощь.

*Информация об авторах:

Попов Александр Владимирович – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, alexandrus238@yandex.ru.

Каймакова Ульяна Михайловна – клинический ординатор кафедры кардиологии с функциональной диагностикой факультета усовершенствования врачей Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград, Россия, ulyana.kaimakova@gmail.com.

Стецкий Николай Петрович – клинический ординатор кафедры кардиологии с функциональной диагностикой факультета усовершенствования врачей Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград, Россия, epifen1996@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 12.11.2019, актуализирована 01.02.2020, принята к публикации 28.02.2020.

For the English text of the article please see p. 237.

Общемировая статистика показывает, что число погибших в результате ДТП продолжает расти, составляя более 1,3 млн человек ежегодно, хотя уровень смертности относительно численности населения в мире в последние годы стабилизировался. Сокращение смертности наблюдается, как правило, в тех государствах, которые ВОЗ традиционно относит к странам с высоким уровнем дохода. На их долю приходится 40 % транспортных средств и лишь 7 % от общемировой смертности в результате ДТП [1, с. 7]. Значительную роль в снижении глобальных показателей дорожно-транспортной смертности играют страны Европейского союза. Россия же среди государств Европейского региона ВОЗ занимает одно из первых мест по показателям дорожно-транспортной смертности [2, с. 3].

Тем не менее в последние годы наметилась положительная тенденция. Что свидетельствует о грамотных действиях правительственные институтов в рамках Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 гг.» и Стратегии безопасности

дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы. С 2009 по 2014 гг. показатели смертности и аварийности держались примерно на одном уровне, но начиная с 2014 г. наблюдается стабильное снижение (рис. 1) [3].

С чем могут быть связаны столь высокие показатели смертности в РФ по сравнению с другими странами региона? Во многом это объясняется пренебрежением гражданами основными поведенческими факторами риска, к которым ВОЗ относит: скорость, управление транспортным средством в состоянии опьянения, игнорирование мотоциклетных шлемов, ремней безопасности, использование мобильного телефона при управлении автомобилем [2, с. 7–15]. Российское законодательство предусматривает схожие со странами ЕС ограничения, но многие водители пренебрегают данными правилами ввиду относительно невысоких штрафов (за исключением езды в пьяном виде) и возможности быть не пойманными за нарушения. Опыт показывает, что стабильное снижение скорости до требуемых правилами и знаками значений наблюдается в местах установки

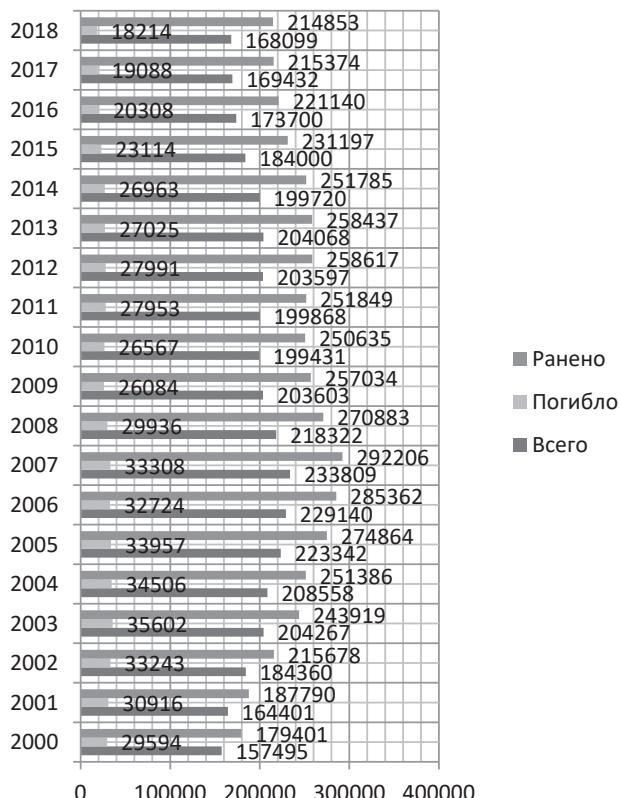


Рис. 1. Количество ДТП в период 2000–2018 гг. Авторский рисунок по материалам источника [3].



стационарных камер фиксации нарушений. Кроме того, в России существует категория водителей, практически неподвластных контролю со стороны ГИБДД – судьи и прокуроры, в отношении которых продолжает действовать особый порядок мер обеспечения производства по делам об административном правонарушении [4].

Особое пренебрежение к правилам дорожного движения проявляют водители в возрасте 18–25 лет, когда активно проявляется жажда «острых ощущений» и самоуверенность [5]. Как было установлено в [6; 7], значительное количество молодых водителей (15 %) имеют повышенную склонность к риску, что наряду с распространённым в молодёжной среде представлении о своём превосходстве в работоспособности и скорости реакции, познаниях в технической области автомобилей приводит к высоким аварийности и смертности в данной возрастной категории. Установлено, что присутствие пассажиров в салоне автомобиля приводит к более быстрой езде, чем вождение в одиночку [8]. Отсутствие поэтапного доступа к управлению транспортным средством, показавшего свою эффективность в Канаде, США, Новой Зеландии, некоторых странах ЕС, отрицательно оказывается на аварийности. Введение ряда ограничительных мер (количество пассажиров, скорость) для неопытных водителей могло бы во многом изменить ситуацию.

Помимо вышесказанного, крайне важным фактором в снижении дорожно-транспортной смертности является своевременное и качественное оказание первой помощи. Эффективное оказание экстренной помощи начинается на месте аварии с действий свидетелей произошедшего [9]. Даже самая современная система экстренной помощи неэффективна, если очевидцы срочно не вызовут медицинскую помощь, не распознают серьёзную травму, и не применяют элементарные приёмы первой помощи [10]. После того как произошла авария, своевременность помощи пострадавшим имеет решающее значение: минутное промедление нередко определяет границу между выживанием и гибелью [11].

Самыми распространёнными травмами при ДТП являются ушибы, переломы и другие повреждения костей. Часто пере-

ломам сопутствуют кровотечения. При существенной потере крови резко падает артериальное давление, и, если пострадавшему не будет максимально быстро оказана первая медицинская помощь, он может погибнуть от потери крови [12].

Во всем мире уделяется значительное внимание обучению и популяризации знаний по оказанию первой помощи. Однако уровень знаний граждан в разных странах отличается. Так, в Европе Национальные общества Красного Креста и Красного Полумесяца только за 2014 год обучили этим навыкам 4161366 человек. В странах Западной Европы доля граждан, обученных приёмам первой помощи, может достигать 95 % [13]. В опросе, проведённом в 2010 году в Стокгольме (Швеция) по приёмам первой помощи, показатель успешности составил 52 % [14]. Опрошенные граждане Норвегии смогли бы остановить кровотечение в 81 % случаев [15]. В Манчестере (Великобритания) свидетели оказывают помощь при травмах в 75 % случаев [16]. Значительное улучшение навыков оказания первой помощи после соответствующего обучения и его бесспорная полезность подтверждены исследованиями в Иране и Нигерии [17; 18].

В данной работе представлено продолжение нашего исследования [19]. Поставлена цель: сравнить уровень знаний приёмов первой помощи среди водителей в Российской Федерации и странах ЕС. Исследование проводилось методом опроса граждан РФ, имеющих водительское удостоверение и опыт управления транспортным средством, в разных регионах страны о медицинской подготовке в автошколах, участии в ДТП, приёмах оказания первой помощи, для чего использовалась разработанная авторами анкета. Количество опрошенных увеличено со 107 до 403 человек. Для сравнения показателей были опрошены граждане Европейского Союза (Великобритания, Чешская Республика, Дания, Германия, Италия, Королевство Нидерландов) в количестве 402 человек. Опрос проводился в мае–сентябре 2018 года и январе и июне 2019 г. Применялся непосредственный опрос, проводимый силами студентов ВПИ (филиал) ВолГТУ и ВолГМУ. Также использовалась платформа <https://docs.google.com/forms>, ссыл-



Рис. 2. Распределение ответов на вопрос «Как остановить кровотечение при ранении вены и некрупных артерий?». Авторский рисунок.

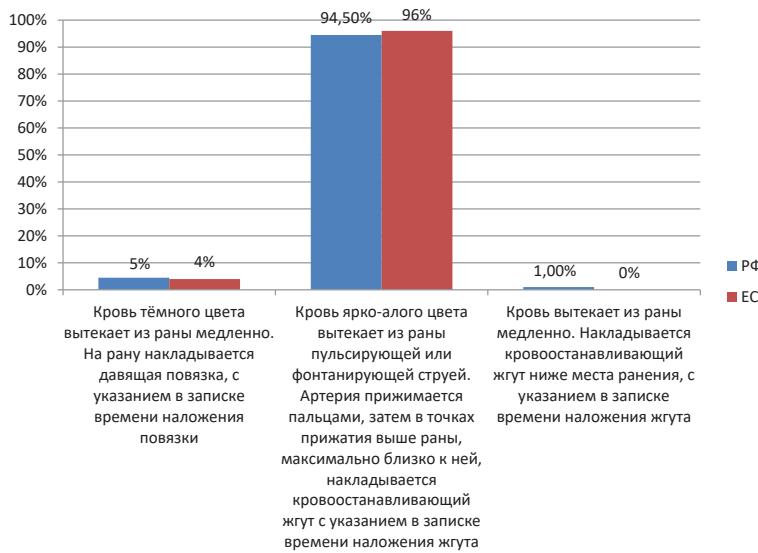


Рис. 3. Распределение ответа на вопрос «Каковы признаки кровотечения из крупной артерии и с чего начинается первая помощь при её ранении?». Авторский рисунок.

ка на анкету размещалась в наиболее активных сообществах водителей в социальных сетях «Вконтакте» и «Facebook».

Занятия по оказанию первой медицинской помощи в автошколах, являющиеся обязательной частью программы, у большинства анкетируемых в РФ (63 %) проводил сотрудник автошколы и только у 17 % – человек с медицинским образованием. А у 23 % опрошенных таких занятий не было вовсе. В Европейском Союзе доля опрошенных, у которых занятия проводил медицинский работник, значительно выше – 36 %. Кроме того, у 68 % опрошенных в РФ и 48 % в ЕС не было практических занятий по оказанию первой медицинской помощи с использованием манекенов.

Около 17 % в РФ и 7 % в ЕС сталкивались с ситуацией необходимости оказания первой помощи и оказывали её. Около 14 %

в РФ и 11 % в ЕС не могли оказать помощь по причине боязни навредить пострадавшему и стрессовой обстановки.

Далее рассмотрим ряд вопросов, касающихся непосредственных приёмов первой медицинской помощи.

На вопрос «Как остановить кровотечение при ранении вены и некрупных артерий?» правильный ответ (наложить давящую повязку) дали лишь 42 % (РФ) и 39 % (ЕС) опрошенных (рис. 2).

Признаки кровотечения из крупной артерии и с чего начинается первая помощь при её ранении могут определить 94,5 % (РФ) и 96 % (ЕС) опрошенных (рис. 3).

На какой срок может быть наложен кровоостанавливающий жгут, знают 71 % (РФ) и 78 % (ЕС) респондентов (рис. 4).

Признаки для начала сердечно-лёгочной реанимации могут назвать 95 %



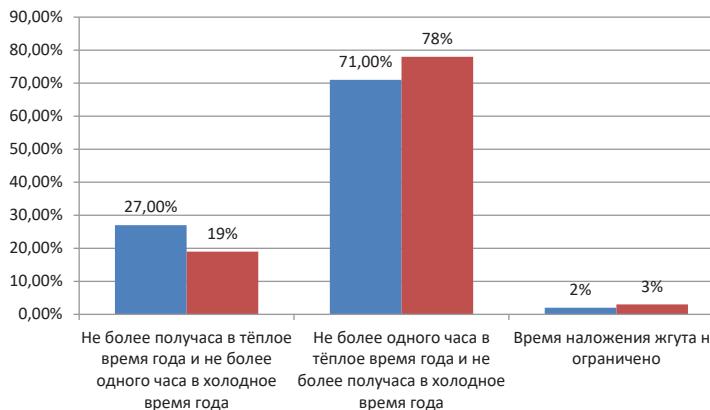


Рис. 4. Распределение ответа на вопрос «На какой срок может быть наложен кровоостанавливающий жгут?». Авторский рисунок.

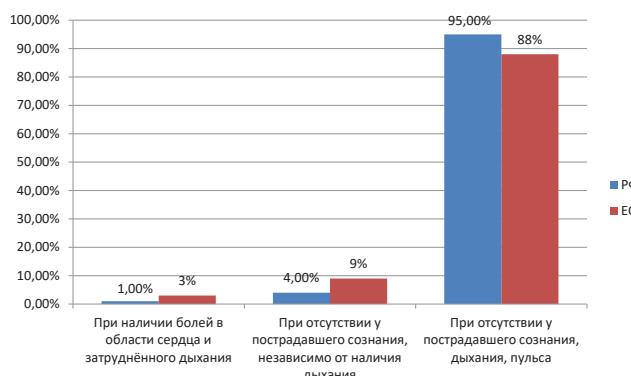


Рис. 5. Распределение ответа на вопрос «В каких случаях следует начинать сердечно-лёгочную реанимацию пострадавшего?». Авторский рисунок.



Рис. 6. Распределение ответа на вопрос «Каким образом проводится сердечно-лёгочная реанимация пострадавшего?». Авторский рисунок.

(РФ) и 88 % (ЕС), а вот правильно её оказать способны лишь 38 % (РФ) и 44 % (ЕС) (рис. 5, 6).

Оказать первую помощь при ожогах способны 91,5 % (РФ) и 95 % (ЕС) опрошенных (рис. 7).

Правильно оказать помощь при переломах конечностей смогут 53,8 % (РФ) и 42,5 % (ЕС) анкетируемых (рис. 8).

Согласно указанным данным российские автошколы значительно чаще пренебрегают проведением занятий по оказанию первой помощи, чем европейские. Респонденты из ЕС гораздо реже сталкивались с необходимостью оказания первой помощи, что может быть связано с меньшим временем прибытия на место ДТП бригады врачей. В целом, различия

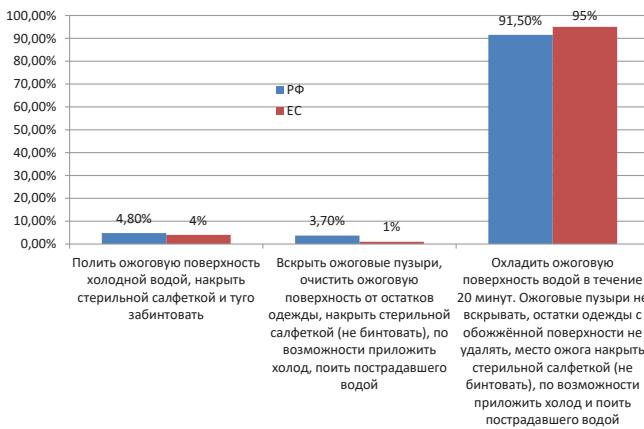


Рис. 7. Распределение ответа на вопрос «Какова первая помощь при наличии признаков поверхностного термического ожога?». Авторский рисунок.

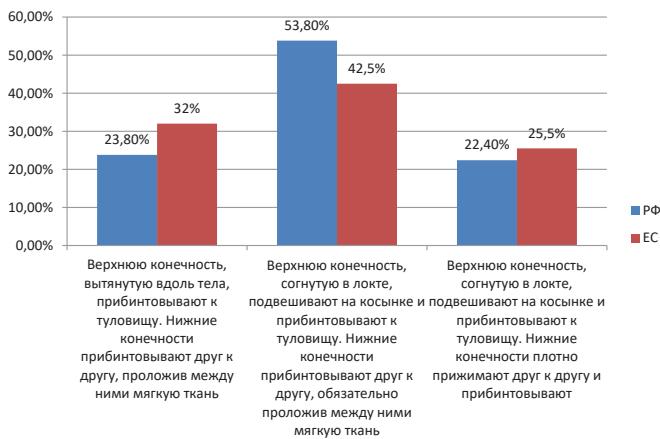


Рис. 8. Распределение ответа на вопрос «Как оказывается первая помощь при переломах конечностей, если отсутствуют транспортные шины и подручные средства для их изготовления?». Авторский рисунок.

в знаниях об оказании первой помощи не так велики. Наибольшее расхождение имеет место по вопросам времени наложения кровоостанавливающего жгута, показаний начала сердечно-лёгочной реанимации и её методах, действий при переломах конечностей. Жизненно важными можно назвать вопросы о сердечно-лёгочной реанимации и остановке артериального кровотечения, где счёт идёт на минуты. Именно в этих вопросах процент ответивших верно ниже, чем в ЕС. Если учесть, что в масштабах страны за каждым процентом неправильных ответов могут стоять сотни неспасённых жизней, то различия покажутся не такими незначительными. Можно сделать общий вывод, что вопросам первой помощи в ЕС уделяется больше внимания. Что одновременно с такими мероприятиями

как высокие штрафы, поэтапный допуск к управлению автомобилем, равенство в ответственности для всех граждан, привело к снижению аварийности и смертности.

Для улучшения ситуации в России видится необходимым: обязательное проведение занятий по медицинским вопросам в автошколах медицинским работником, уделение большего внимания обучению приемам оказания первой помощи в образовательных учреждениях, обучение сотрудников специальных служб, которые могут прибыть на место ДТП раньше врачей, навыкам оказания первой помощи и содействие обучению рядовых граждан, в том числе более тесному сотрудничеству федеральных, региональных и местных властей с Обществом Красного Креста и Красного Полумесяца.



В то же время проблема снижения аварийности и смертности предполагает комплексный подход. Повышение общей культуры вождения, установка стационарных камер фиксации опасных нарушений, отмена особого порядка административного производства для судей и прокуроров, снижение влияния основных поведенческих факторов риска посредством усиления штрафных санкций за наиболее опасные нарушения (например, недавно введённый штраф за «опасное вождение»), введение поэтапного доступа к управлению автомобилем при получении водительского удостоверения.

Указанные меры, применяемые совместно, позволяют достичь существенного снижения как общего количества ДТП, так и тяжких последствий от них, что установлено Стратегией безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization, 2018. [Электронный ресурс]: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/. Доступ 06.11.2019.
2. Европейские факты и доклад о состоянии безопасности дорожного движения в мире. – Всемирная организация здравоохранения. – 2015. [Электронный ресурс]: HYPERLINK http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/298386/European-facts-Global-Status-Report-road-safety-ru.pdf. Доступ 07.02.2019.
3. Показатели состояния безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс]: <http://stat.gibdd.ru/>. Доступ 28.10.2019.
4. Приказ МВД России от 23.08.2017 г. № 664 (ред. от 21.12.2017 г.) «Об утверждении Административного регламента исполнения Министерством внутренних дел Российской Федерации государственной функции по осуществлению федерального государственного надзора за соблюдением участниками дорожного движения требований законодательства Российской Федерации в области безопасности дорожного движения». [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_280037/. Доступ 28.10.2019.
5. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма / Пер. с англ. – М.: Весь Мир, 2004. – 280 с.
6. Попов А. В., Гончаревич Д. В., Соколов Р. О. Проблемы молодёжной аварийности // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 5. – С. 14–17.
7. Попов А. В., Соколов Р. О. К вопросу о молодёжной аварийности в Российской Федерации // Журнал автомобильных инженеров. – 2017. – № 2. – С. 32–35.
8. Rhodes, N., Pivik, K., Sutton, M. Risky driving among young male drivers: The effects of mood and passengers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, January 2015, Vol. 28, pp. 65–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.005>. Доступ 28.10.2019.
9. Save LIVES – A road safety technical package. Geneva: World Health Organization, 2017. [Электронный ресурс]: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255199/9789241511704-eng.pdf?sequence=1>. Доступ 28.10.2019.
10. World Health Organization. Post-crash response: Supporting those affected by road traffic crashes. Geneva, 2016. [Электронный ресурс]: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/post-crash-response/en/. Доступ 28.10.2019.
11. Информационный бюллетень ВОЗ: дорожно-транспортные травмы. [Электронный ресурс]: <http://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Доступ 07.02.2019.
12. Dhondt, S., Macharis, C., Terryn, N., van Malderen, F., Putman, K. Health burden of road traffic accidents, an analysis of clinical data on disability and mortality exposure rates in Flanders and Brussels. *Accident Analysis and Prevention*, July 2012, Vol. 50, pp. 659–666. DOI: [10.1016/j.aap.2012.06.019](https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.019). Доступ 28.10.2019.
13. Международное руководство по первой помощи и реанимации. – 2016. [Электронный ресурс]: https://www.redcross.ru/sites/default/files/books/mezhdurodonoe_rukovodstvo_po_pervoy_pomoshchi_reanimacii_2016.pdf. Доступ 07.10.2019.
14. Nordberg, M., Castrén, M., Lindström, V. Primary Trauma Triage Performed by Bystanders: An Observation Study. *Prehospital and Disaster Medicine*, August 2016, Vol. 31, Iss. 4, pp. 353–357. DOI: [10.1017/s1049023x1600039x](https://doi.org/10.1017/s1049023x1600039x).
15. Bakke, H. K., Steinvik, T., Eidissen, S.-I., Gilbert, M., Wisborg, T. Bystander first aid in trauma – prevalence and quality: a prospective observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, June 2015, Vol. 59, Iss. 9, pp. 1187–1193. DOI: [10.1111/aas.12561](https://doi.org/10.1111/aas.12561).
16. Oliver, G. J., Walter, D. P., Redmond, A. D. Prehospital deaths from trauma: Are injuries survivable and do bystanders help? *Injury*, May 2017, Vol. 48, Iss. 5, pp. 985–991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.02.026>.
17. Ali Vakili, M., Mohjervatan, A., Taghi Heydari, S., Akbarzadeh, A., Sadat, N., Farideh, H., Peyman, A., Mohammad, A., Moghasemi, J. The efficacy of a first aid training course for drivers: an experience from Northern Iran. *Chinese Journal of Traumatology*, October 2014, Vol. 17, Iss. 5, pp. 289–292. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2014.05.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2014.05.008).
18. Olumide, A. O., Asuzu, M. C., Kale, O. O. Effect of First Aid Education on First Aid Knowledge and Skills of Commercial Drivers in South West Nigeria. *Prehospital and Disaster Medicine*, December 2015, Vol. 30, Iss. 6, pp. 579–585. DOI: <https://doi.org/10.1017/S10>.
19. Попов А. В., Каймакова У. М., Стецкий Н. П. Высокая смертность при ДТП в Российской Федерации: возможные причины и пути снижения // Мир транспорта. – 2019. – № 3. – С. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-192-205>.

ОТ РЕДАКЦИИ

Сделанный авторами акцент на недостаточность навыков оказания водителями первой помощи как на фактор, ведущий к росту числа жертв ДТП, безусловно актуален. Вместе с тем некоторые выводы относительно причин такой ситуации и предложения по её изменению в лучшую сторону являются не бесспорными. Дальнейшее развитие этой темы потребует проведения более широких исследований, в том числе и опросов, и несомненно может стать предметом дискуссии на страницах журнала.



Level of First Aid Skills Among Drivers in Russia and the European Union



Alexander V. POPOV



Ulyana M. KAIMAKOVA



Nikolay P. STETSKY

*Popov, Alexander V., Volzhsky Polytechnic Institute, branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.
Kaimakova, Ulyana M., Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Volgograd, Russia.*

Stetsky, Nikolay P., Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Volgograd, Russia.*

ABSTRACT

The Russian Federation occupies one of the first places in terms of road transport mortality. While the countries of the European Union play a special and significant role in reducing global indicators of road traffic mortality. The objective of the study is to compare the level of knowledge on first aid techniques among drivers in the Russian Federation and EU countries. In continuation of the previous work, in the framework of which a study was conducted by interviewing citizens of the Russian Federation according to the questionnaire developed by the authors, the number of respondents increased from 107 to 403 people. To compare the indicators, 402 European Union citizens were surveyed. The survey was conducted in May–September 2018 and in January and June 2019. A direct survey was conducted by the students of VPI (branch) of VolSTU and Volgograd State Medical University. The platform <https://docs.google.com/forms> was also used, a link to the questionnaire was posted in the most active driver communities in the

social networks *Vkontakte* and *Facebook*. According to the data received, Russian driving schools are much more likely to neglect conducting first aid classes than European ones. EU respondents were much less likely to encounter the need for first aid, which may be due to the shorter time for arrival of a team of doctors at the scene of an accident. The most significant discrepancies were revealed in drivers' knowledge regarding issues related to application of a hemostatic tourniquet, indications of beginning of cardiopulmonary resuscitation and its methods, and actions in case of fractures of the extremities, i.e. critical in cases of traffic accidents. The general preliminary conclusion, subject to further detailing, is drawn that more attention is paid to first aid issues in the EU. To improve the situation in Russia, a number of measures have been proposed: compulsory medical classes at driving schools by a medical professional, greater attention to training in first aid techniques in educational institutions, training of special services for first aid skills and facilitating the training of ordinary citizens.

Keywords: traffic accident, mortality in road accidents, first aid.

*Information about the authors:

Popov, Alexander V. – Senior Lecturer at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, alexandrus238@yandex.ru.

Kaimakova, Ulyana M. – resident physician at the Department of Cardiology and Functional Diagnostics of Department of Continuous Medical Training of Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Volgograd, Russia, ulyana.kaimakova@gmail.com.

Stetsky, Nikolay P. – resident physician at the Department of Cardiology and Functional Diagnostics of Department of Continuous Medical Training of Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Volgograd, Russia, epifen1996@gmail.com.

Article received 12.11.2019, revised 01.02.2020, accepted 28.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 230.

Global statistics show that the number of deaths from road accidents continues to grow, reaching more than 1,3 million people annually, though the mortality rate relative to the world population has stabilized in recent years. A reduction in mortality is observed, as a rule, in those states that WHO traditionally classifies as high-income countries. They account for 40 % of vehicles and only 7 % of the global mortality due to traffic accidents [1, p. 7]. The countries of the European Union play a particularly significant role in reducing global indices of road transport mortality. Russia, among the countries of WHO European Region, occupies one of the lower places in terms of road transport mortality [2, p. 3].

Nevertheless, in recent years there has been a positive trend. This indicates the competent actions of government institutions in the framework of the Federal target program «Improving road safety in 2013–2020» and Road Safety Strategy in the Russian Federation for 2018–2024. From 2009 to 2014, mortality and accident rates remained at approximately the same level, but since 2014, a steady decrease has been observed (Pic. 1) [3].

What can be associated with such high mortality rates in the Russian Federation in comparison with other countries of the region? This is largely due to neglect by citizens of the main behavioral risk factors, which are according to WHO: speed, driving while intoxicated, neglecting motorcycle helmets, seat belts, and using mobile phone when driving a car [2, pp. 7–15]. Russian legislation provides for restrictions similar to EU countries, but many drivers neglect these rules because of the relatively low fines (except for driving while drunk) and the possibility of not being caught for violations. Experience shows that a steady decrease in speed to the values required by the rules and signs is observed in the places of installation of stationary cameras for recording violations. In addition, in Russia there is a category of drivers that are practically beyond the control of the traffic police – judges and prosecutors, in respect of whom a special procedure for ensuring the proceedings in an administrative case continues to be applied [4].

Particular disregard for traffic rules is shown by drivers aged 18–25 years, when thirst for «thrills» and self-confidence are actively manifested [5]. As it was established

in [6; 7], a significant number of young drivers (15 %) have an increased tendency to risk that along with the widespread perception among youth of their superiority in performance and speed of reaction, knowledge in the technical field of cars leads to high accident and mortality rates in this age category. It is established that the presence of passengers in the car leads to faster driving than driving alone [8]. The lack of gradual access to driving, shown to be effective in Canada, the USA, New Zealand and some EU countries, adversely affects the accident rate. The introduction of a number of restrictive measures (number of passengers, speed) for inexperienced drivers might greatly change the situation.

In addition to the above, the timely and high-quality first aid is an extremely important factor in reducing road traffic deaths. Effective emergency assistance begins at the scene of the accident with the actions of witnesses of the incident [9]. Even the most modern emergency care system is ineffective unless eyewitnesses urgently call for medical help, do recognize a serious injury, and do master basic first-aid methods [10]. After an accident has occurred, timely assistance to victims is crucial: a minute delay often define the border between survival and death [11].

The most common injuries in road accidents are bruises, fractures, and other bone injuries. Often fractures are accompanied by bleeding. With a significant loss of blood, blood pressure drops sharply, and if the first medical aid is not provided to the victim as quickly as possible, he may die from blood loss [12].

Significant attention is being given throughout the world to training and promotion of first aid knowledge. However, the level of knowledge of citizens in different countries is different. So, in Europe, the National Red Cross and Red Crescent Societies in 2014 alone taught 4161366 people these skills. In Western Europe, the proportion of citizens trained in first aid can reach 95 % [13]. In a 2010 survey in Stockholm (Sweden) on first-aid measures, the success rate was 52 % [14]. Surveyed Norwegian citizens were able to stop the bleeding in 81 % of cases [15]. In Manchester (UK), witnesses provide first aid in 75 % of cases of injuries [16]. A significant improvement in first aid skills after appropriate training and its undeniable

usefulness have been confirmed by studies in Iran and Nigeria [17; 18].

This paper presents the continuation of our study [19]. The *objective* is to compare the level of knowledge of first aid techniques among drivers in the Russian Federation and EU countries. The study was conducted by interviewing citizens of the Russian Federation with a driver's license and driving experience a vehicle in different regions of the country about medical training in driving schools, participation in road accidents, first aid methods, for which the questionnaire developed by the authors was used. The number of respondents increased from 107 to 403 people. For comparison of indicators, citizens of the European Union (Great Britain, Czech Republic, Denmark, Germany, Italy, the Kingdom of the Netherlands) in the amount of 402 people were interviewed. The survey was conducted in May-September 2018 and in January and June 2019. A direct survey was conducted by the students of VPI (branch) of VolSTU and Volgograd State Medical University. The platform <https://docs.google.com/forms> was also used, a link to the questionnaire was posted in the most active drivers' communities in the social networks Vkontakte and Facebook.

First aid classes in driving schools, which are a mandatory part of the program, were conducted by a driving school employee for the majority of respondents in the Russian Federation (63 %), and only 17 % had a person with medical education. And 23 % of the respondents did not have such classes at all. In the European Union, the percentage of respondents whose classes were conducted by a medical professional is much higher – 36 %. In addition, 68 % of respondents in the Russian Federation and 48 % in the EU did not have practical training in providing first aid using dummies.

About 17 % of respondents in the Russian Federation and 7 % in the EU faced the situation of the need for first aid and provided it. About 14 % of respondents in the Russian Federation and 11 % in the EU could not help because of fear of doing harm to the victim and stressful conditions.

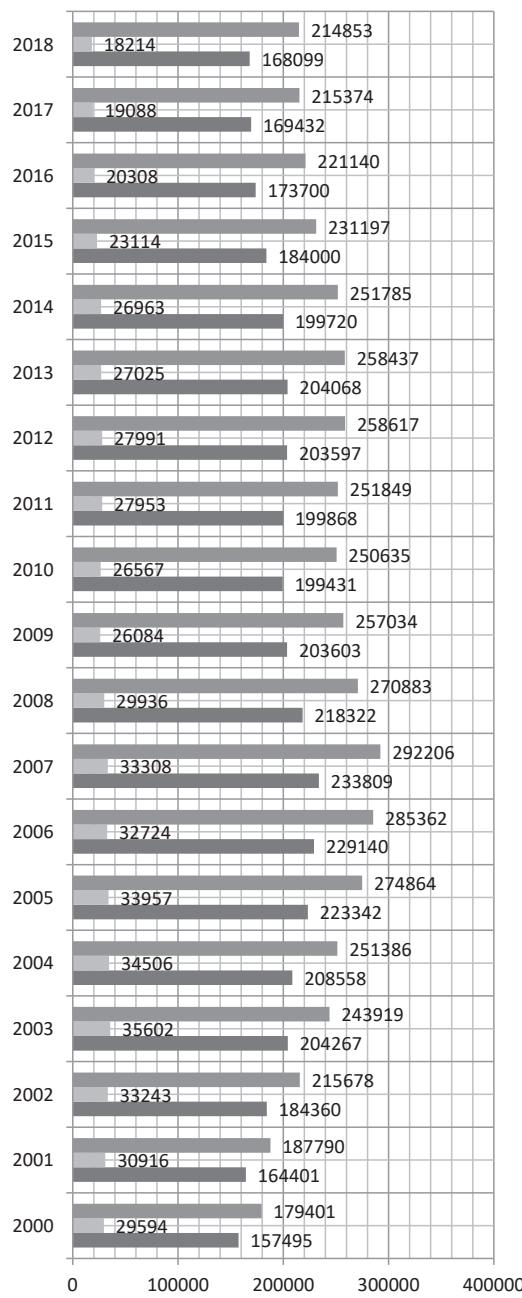
Next, let us consider a number of issues related to direct first aid.

To the question «How to stop bleeding in injured veins and small arteries?» only 42 % (RF)

and 39 % (EU) of the respondents gave the correct answer (to apply a pressure bandage) (Pic. 2).

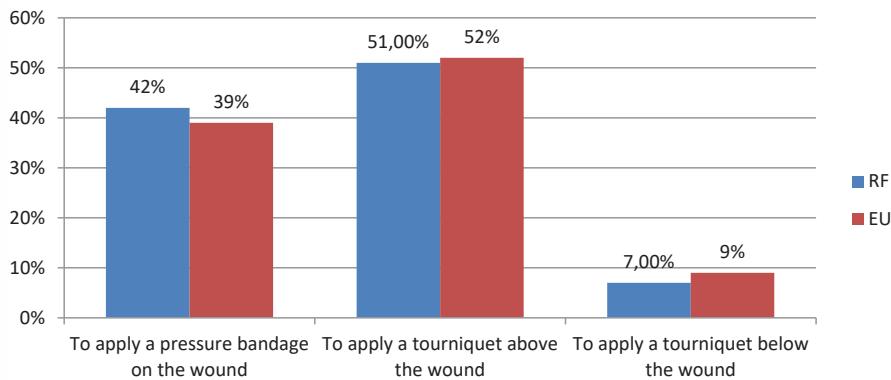
94,5 % (RF) and 96 % (EU) of the respondents can identify signs of bleeding from a large artery and with what the first aid begins when it is wounded (Pic. 3).

71 % (RF) and 78 % (EU) of respondents know for how long a hemostatic tourniquet can be applied (Pic. 4).

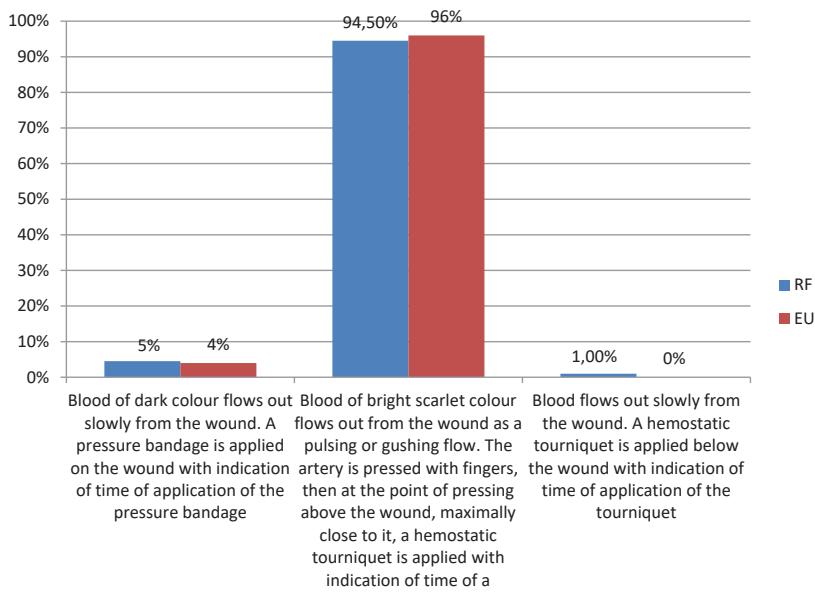


Pic. 1. Number of traffic accidents in the period 2000–2018. Authors' drawing based on the materials of the source [3].

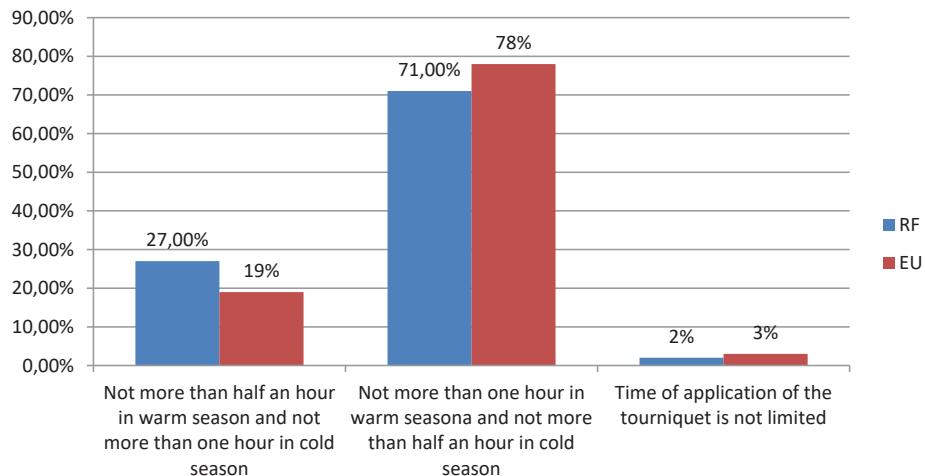




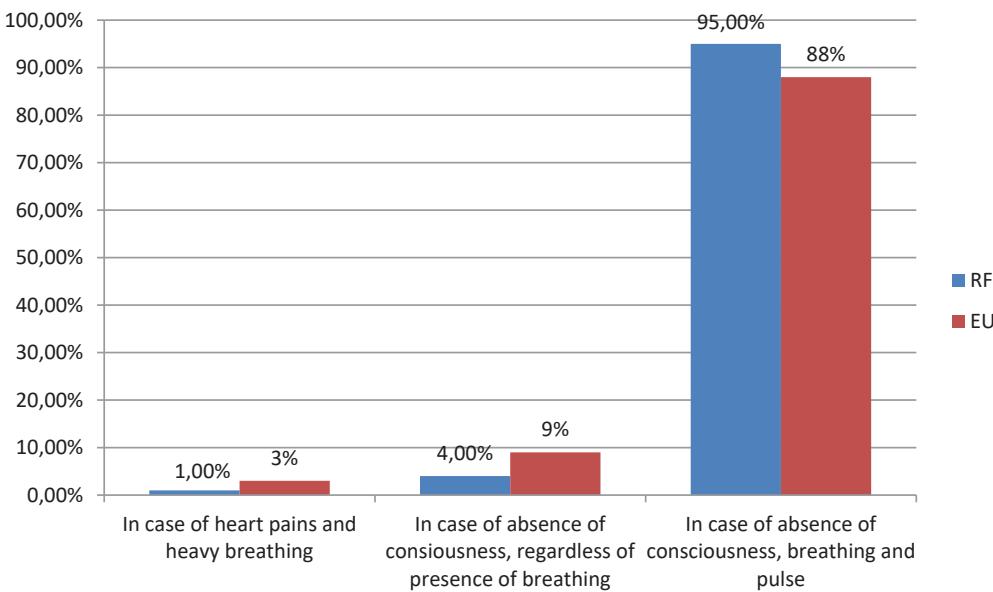
Pic. 2. Distribution of the answers to the question «How to stop bleeding in case of injured veins and small arteries?». Authors' drawing.



Pic. 3. Distribution of the answers to the question «What are the signs of bleeding from a large artery and what does first aid for when it is wounded?». Authors' drawing.



Pic. 4. Distribution of the answers to the question «For how long can a hemostatic tourniquet be applied?». Authors' drawing.



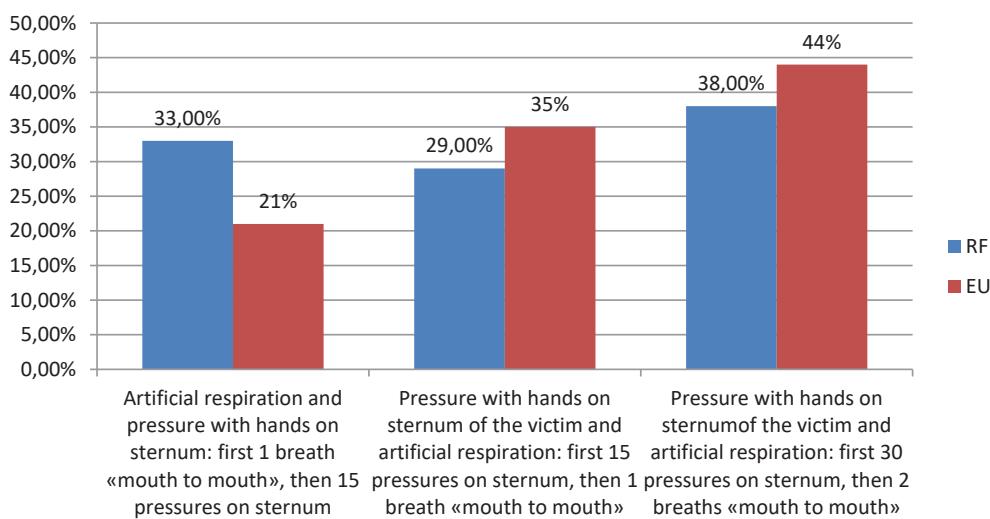
Pic. 5. Distribution of the answers to the question «In what cases should the cardiopulmonary resuscitation of the victim begin?». Authors' drawing.

The signs for the start of cardiopulmonary resuscitation can be called by respectively 95 % (RF) and 88 % (EU) respondents, but only 38 % (RF) and 44 % (EU) of respondents were able to provide it correctly (Pics. 5, 6).

91,5 % (RF) and 95 % (EU) of those surveyed are able to provide first aid in case of burns (Pic. 7).

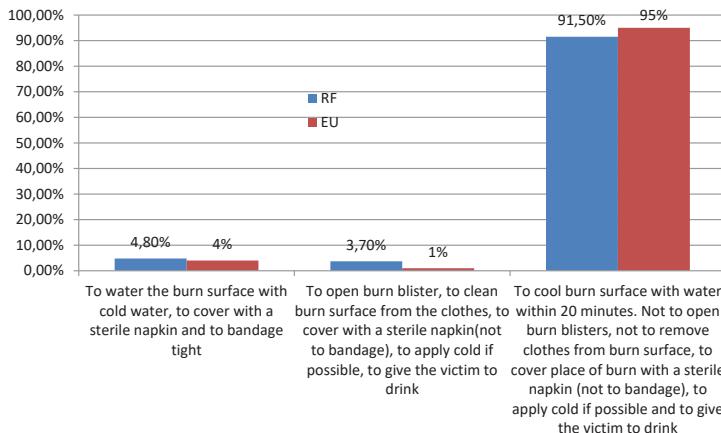
53,8 % (RF) and 42,5 % (EU) of those surveyed will be able to properly help with fractures of the limbs (Pic. 8).

According to the indicated data, Russian driving schools are much more likely to neglect conducting first aid classes than European ones. EU respondents were much less likely to encounter the need for first aid, which may be due to the shorter time for arrival of a team of doctors at the scene of an accident. In general, the differences in knowledge about first aid are not so great. The greatest discrepancy takes place regarding timing of application of a hemostatic



Pic. 6. Distribution of the answers to the question «How is cardiopulmonary resuscitation of the victim carried out?». Authors' drawing.





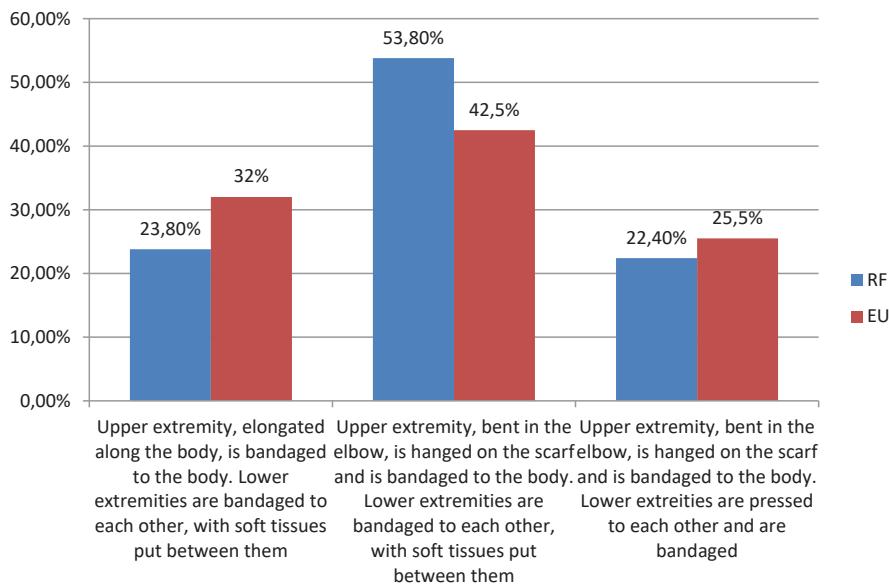
Pic. 7. Distribution of the answers to the question «What is first aid with the signs of surface thermal burn?». Authors' drawing.

tourniquet, the indications of onset of cardiopulmonary resuscitation and its methods, and actions in case of fractures of the extremities. Vital questions include questions about cardiopulmonary resuscitation and stopping arterial bleeding, when each minute counts. It is in these questions that the percentage of correct answers of Russian respondents is truly lower than in the EU. Given that, nationwide, for every percentage of incorrect answers there may be hundreds of unsaved lives, the differences will seem less insignificant. It can be concluded that first aid issues are given more attention in the EU. At the same time with events such as high fines, phased access to driving, equality of

responsibility for all citizens, it led to a decrease in accident rate and mortality.

To improve the situation in Russia, it seems necessary to proceed with: compulsory conduct of medical classes at driving schools by a medical professional, paying more attention to training in first aid methods in educational institutions, training of special services which may arrive at the scene of an accident earlier than doctors, first aid skills and facilitating the training of ordinary citizens, including closer cooperation between federal, regional and local authorities with Red Cross and Red Crescent Society.

At the same time, the problem of reducing accidents and mortality suggests an integrated



Pic. 8. Distribution of the answers to the question «How is first aid provided for fractures of the extremities if there are no transport tires and improvised tools for their manufacture?». Authors' drawing.

approach. Improving the general driving culture, installing stationary cameras for recording dangerous violations, abolishing the special administrative procedure for judges and prosecutors, reducing the influence of the main behavioral risk factors by increasing penalties for the most dangerous violations (for example, the recently introduced fine for «dangerous driving»), introduction of phased access to driving while obtaining a driver's license.

These measures, applied together, will allow to achieve a significant reduction in both the total number of accidents and grave consequences from them, which is provided for by the Road Safety Strategy in the Russian Federation for 2018–2024.

REFERENCES

1. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization, 2018. [Electronic resource]: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/. Last accessed 06.11.2019.
2. European facts and report on the state of road safety in the world [*Європейські факти I доклад о стоянії безпеки дорожнього руху в світі*]. World Health Organization, 2015. [Electronic resource]: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/298386/European-facts-Global-Status-Report-road-safety-ru.pdf. Last accessed 07.02.2019.
3. Indicators of the state of road safety [*Показатели стояння безпеки дорожнього руху*]. [Electronic resource]: <http://stat.gibdd.ru/>. Last accessed 28.10.2019.
4. Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia dated August 23, 2017 No. 664 (as amended on December 21, 2017) «On approval of the Administrative Rules for the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation to exercise the state function to carry out federal state supervision of compliance by road users with the requirements of the legislation of the Russian Federation in the field of road safety» [*Prikaz MVD Rossii ot 23.08.2017 № 664 (ред. от 21.12.2017) «Об утверждении Административного регламента исполнения Министерством внутренних дел Российской Федерации государственными функциями по осуществлению федерального государственного надзора за соблюдением участниками дорожного движения требований законодательства Российской Федерации в области безопасности дорожного движения»*]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_280037/. Last accessed 28.10.2019.
5. Worldwide report on the prevention of road traffic injuries [*Vsemirnyj doklad o preduprezhdenii dorozhno-transportnogo travmatizma*. Transl. from English]. Moscow, Ves' Mir publ., 2004, 280 p.
6. Popov, A. V., Goncharevich, D. V., Sokolov, R. O. Problems of youth accident rate [*Problemy molodezhnoi avariinosti*]. Avtotransportnoe predpriyatie, 2016, Iss. 5, pp. 14–17.
7. Popov, A. V., Sokolov, R. O. To the issue of youth accident rate in the Russian Federation [*K voprosu o molodezhnoi avariinosti v Rossijskoj Federatsii*]. Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov, 2017, Iss. 2, pp. 32–35.
8. Rhodes, N., Pivik, K., Sutton, M. Risky driving among young male drivers: The effects of mood and passengers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, January 2015, Vol. 28, pp. 65–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.005>.
9. Save LIVES – A road safety technical package. Geneva: World Health Organization, 2017. [Electronic resource]: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255199/9789241511704-eng.pdf?sequence=1>. Last accessed 28.10.2019.
10. World Health Organization. Post-crash response: Supporting those affected by road traffic crashes Geneva, 2016. [Electronic resource]: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/post-crash-response/en/. Last accessed 28.10.2019.
11. WHO Newsletter: Road traffic injuries [*Informacionnyj byulleten' VOZ: dorozhno-transportnie travmy*]. [Electronic resource]: <http://www.who.int/rus/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Last accessed 07.02.2019.
12. Dhondt, S., Macharis, C., Terryn, N., van Malderen, F., Putman, K. Health burden of road traffic accidents, an analysis of clinical data on disability and mortality exposure rates in Flanders and Brussels. *Accident Analysis and Prevention*, July 2012, Vol. 50, pp. 659–666. DOI: [10.1016/j.aap.2012.06.019](https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.019).
13. International first aid and resuscitation guidelines [*Международное руководство по первоначальной реанимации*]. 2016. [Electronic resource]: https://www.redcross.ru/sites/default/files/books/mezhdunarodnoe_rukovodstvo_po_pervoy_popomoshchi_reanimacii_2016.pdf. Last accessed 07.10.2019.
14. Nordberg, M., Castrén, M., Lindström, V. Primary Trauma Triage Performed by Bystanders: An Observation Study. *Prehospital and Disaster Medicine*, August 2016, Vol. 31, Iss. 4, pp. 353–357. DOI: [10.1017/s1049023x1600039x](https://doi.org/10.1017/s1049023x1600039x).
15. Bakke, H. K., Steinvik, T., Eidissen, S.-I., Gilbert, M., Wisborg, T. Bystander first aid in trauma – prevalence and quality: a prospective observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, June 2015, Vol. 59, Iss. 9, pp. 1187–1193. DOI: [10.1111/aas.12561](https://doi.org/10.1111/aas.12561).
16. Oliver, G. J., Walter, D. P., Redmond, A. D. Prehospital deaths from trauma: Are injuries survivable and do bystanders help? *Injury*, May 2017, Vol. 48, Iss. 5, pp. 985–991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.02.026>.
17. Ali Vakili, M., Mohjervatan, A., Taghi Heydari, S., Akbarzadeh, A., Sadat, N., Farideh, H., Peyman, A., Mohammad, A., Moghasemi, J. The efficacy of a first aid training course for drivers: an experience from Northern Iran. *Chinese Journal of Traumatology*, October 2014, Vol. 17, Iss. 5, pp. 289–292. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2014.05.008](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2014.05.008).
18. Olumide, A. O., Asuzu, M. C., Kale, O. O. Effect of First Aid Education on First Aid Knowledge and Skills of Commercial Drivers in South West Nigeria. *Prehospital and Disaster Medicine*, December 2015, Vol. 30, Iss. 6, pp. 579–585. DOI: <https://doi.org/10.1017/S10>.
19. Popov, A. V., Kaimakova, U. M., Stetsky, N. P. High Mortality Rates from Road Traffic Accidents in the Russian Federation: Possible Causes and Ways to Overcome Challenges. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3, pp. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-192-205>.

EDITORIAL NOTE

The focus on insufficient drivers' first aid skills highlighted by the authors within the context of the factors resulting in increased road accidents fatality rate is of high topicality. Nevertheless, some conclusions on the causes of the situation and suggestions regarding measures towards positive changes are to some extent disputable. Further development of the topic requires broader research, comprising more representative surveys, but it is no doubt that it might be subject to efficient journal's discussion.



Субъект транспортной инфраструктуры как элемент системы обеспечения транспортной безопасности



Швецов Алексей Владиславович – Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия; Северо-Восточный федеральный университет (СВФУ), Якутск, Россия*.

Алексей ШВЕЦОВ

В статье с применением методов системного и сравнительного анализа были систематизированы задачи, основные этапы и участники процесса обеспечения транспортной безопасности, проанализирована роль субъекта транспортной инфраструктуры в данном процессе, сформирована в виде соответствующей схемы функциональная структура деятельности субъекта транспортной инфраструктуры в рамках обеспечения транспортной безопасности. Определена основная составляющая системы управления обеспечения транспортной безопасности.

Результаты исследования, кроме развития существующего методологического аппарата в сфере обеспечения транспортной безопасности, могут быть использованы в следующих областях: при органи-

зации процесса управления обеспечением транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств различных видов транспорта, в учебном процессе высших и средних учебных заведений, а также учебном процессе специализированных учебных центров по подготовке специалистов в сфере обеспечения транспортной безопасности. Результаты исследования также могут представлять интерес для должностных лиц, ответственных за обеспечение транспортной безопасности, прежде всего в таких компаниях, как ОАО «Российские железные дороги», ПАО «Аэрофлот» и ГУП «Московский метрополитен», являющихся крупнейшими субъектами транспортной инфраструктуры в Российской Федерации.

Ключевые слова: транспортная безопасность, субъект транспортной инфраструктуры, акт незаконного вмешательства.

*Информация об авторе:

Швецов Алексей Владиславович – кандидат технических наук, доцент Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия, доцент Северо-Восточного федерального университета (СВФУ), Якутск, Россия, zit-otb@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.08.2019, актуализирована 12.12.2019, принята к публикации 28.02.2020.

For the English text of the article please see p. 251.

В XXI веке транспорт остаётся одной из основных целей современного терроризма как в России, так и в мире [1–12]. В актах незаконного вмешательства* (АНВ), совершаемых на транспорте, количество погибших и пострадавших исчисляется десятками, а в отдельных случаях сотнями [7; 13].

Так, 11 марта 2004 г. в Мадриде (Испания) в четырёх пригородных поездах, прибывших в утренние часы пик на станцию Atocha, практически одновременно был совершён ряд АНВ с применением взрывных устройств (рис. 1), в результате чего погибло 192 человека, ранено 1856 человек [7; 13].

Крупнейший теракт в истории человечества, в Нью-Йорке (США, 2001 г.), в результате которого были полностью разрушены два небоскрёба [14; 15], также является примером возможных последствий при АНВ на транспорте (рис. 1). В данном инциденте в результате несоблюдения правил безопасности были захвачены авиалайнеры, которые и стали инструментом совершения АНВ (рис. 2).

В Российской Федерации в настоящее время для защиты объектов транспорта от АНВ реализуется комплекс мероприятий по обеспечению транспортной безопасности**.

Обеспечение транспортной безопасности (ОТБ) – «реализация определяемой государством системы правовых, экономических, организационных и иных мер в сфере транспортного комплекса, соответствующих угрозам совершения актов незаконного вмешательства» [16].

«Целями обеспечения транспортной безопасности являются устойчивое и безопасное функционирование транспортного комплекса, защита интересов личности, общества и государства в сфере транспортного комплекса от актов незаконного вмешательства» [16].

Транспортная безопасность на современном этапе – это сложнейшая социально-

* Акт незаконного вмешательства (АНВ) – «противоправное действие (бездействие), в том числе террористический акт, угрожающее безопасной деятельности транспортного комплекса, повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо создавшее угрозу наступления таких последствий» [16].

** Транспортная безопасность (ТБ) – «состояние защищённости объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) и транспортных средств (ТС) от актов незаконного вмешательства» [16].



Рис. 1. Последствия АНВ на железной дороге в Мадриде (2004 г., Испания) [13].



а)



б)

Рис. 2. Теракт в Нью-Йорке (США, 2001 г.): а) подлёт захваченного авиалайнера [14]; б) таран второго небоскрёба захваченным авиалайнером [15].





Рис. 3. Задачи обеспечения транспортной безопасности в РФ.



Рис. 4. Принципы обеспечения транспортной безопасности в РФ.

политическая и научно-техническая задача, сущность и содержание которой остаются теоретически неисследованными.

В настоящее время процесс обеспечения транспортной безопасности включает значительное число операций правового, материального и информационного характера, выполняемых как государственными органами, так и субъектами транспортной инфраструктуры. При этом постоянно растёт количество нормативно-правовых актов, регулирующих область обеспечения транспортной безопасности, в числе которых Федеральные законы, указы Президента, распоряжения Правительства, приказы Минтранса и других федеральных ведомств.

Цель настоящего исследования — провести анализ и систематизацию существующего положения в сфере обеспечения транспортной безопасности в Российской Феде-

ратации, сложившегося в результате принятия и введения в действие Федерального закона от 09.02.2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности», в том числе выявить основную составляющую системы управления обеспечением транспортной безопасности.

Основные задачи обеспечения транспортной безопасности, определённые Федеральным законом № 16-ФЗ «О транспортной безопасности», систематизированы автором в рис. 3.

Основные принципы обеспечением транспортной безопасности в соответствии с [16] показаны на рис. 4.

Процесс обеспечения транспортной безопасности в соответствии с Федеральным законом № 16-ФЗ состоит из шести основных этапов (рис. 5).

Рассмотрим более подробно основные этапы обеспечения транспортной безопасности.



Рис. 5. Процесс обеспечения транспортной безопасности. *ОТИ – объекты транспортной инфраструктуры, **ТС – транспортные средства, ***ОТБ – обеспечение транспортной безопасности.

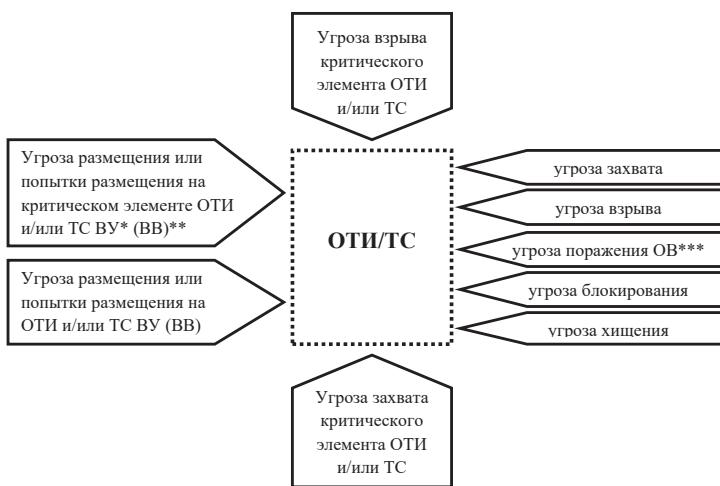


Рис. 6. Потенциальные угрозы совершения АНВ в деятельность ОТИ и ТС. *ВУ – взрывное устройство, **ВВ – взрывчатые вещества, ***ОВ – отправляющие вещества.

Определение угроз совершения АНВ. Совместным Приказом (Минтранс РФ, ФСБ РФ, МВД РФ) от 05.03.2010 г. № 52/112/134 [17] определены девять потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность ОТИ и ТС (рис. 6).

Категорирование объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Количество категорий и критерии категорирования ОТИ и ТС устанавливаются в порядке, определяемом Минтрансом РФ, по согласованию с ФСБ РФ, МВД РФ, и Минэкономразвития РФ [16].

Категорирование объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств осуществляется компетентными органами*

* Федеральные органы исполнительной власти, уполномоченные Правительством РФ осуществлять функции по оказанию государственных услуг в области обеспечения транспортной безопасности.

в области обеспечения транспортной безопасности (по видам транспорта):

- ОТИ и ТС авиационного транспорта: Росавиацией;
- ОТИ и ТС железнодорожного транспорта: Росжелдором;
- ОТИ и ТС автомобильного транспорта: Росавтодором;
- ОТИ и ТС морского и речного транспорта: Росморречфлотом.

Оценка уязвимости (ОУ) ОТИ и ТС проводится специализированными организациями в области ОТБ, организациями и подразделениями ФСБ РФ и МВД РФ, с учётом требований по обеспечению транспортной безопасности на основе публичного договора по тарифам, устанавливаемым ФСТ РФ [16].

Заказчиком в договоре на проведение ОУ является собственник ОТИ или ТС, т.е.





субъект транспортной инфраструктуры (СТИ)*.

Результаты проведённой оценки уязвимости ОТИ и ТС утверждаются компетентными органами (по видам транспорта).

Разработка и реализация планов ОТБ. На основании результатов проведённой оценки уязвимости ОТИ и ТС, субъект транспортной инфраструктуры разрабатывает план обеспечения транспортной безопасности (ПОТБ) ОТИ или ТС. План ОТБ предусматривает систему мер по обеспечению ТБ. Порядок разработки ПОТБ устанавливается Министерством транспорта РФ, по согласованию с ФСБ РФ и МВД РФ [16].

Планы обеспечения транспортной безопасности ОТИ и ТС утверждаются компетентными органами.

В соответствии с Федеральным законом № 16-ФЗ от 09.02.2007 г. «О транспортной безопасности» обеспечение транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств возлагается на субъекты транспортной инфраструктуры, если иное не установлено законодательством Российской Федерации**, в том числе и обязанность по реализации ПОТБ ОТИ и ТС.

При разработке и реализации планов обеспечения транспортной безопасности СТИ необходимо:

- разработать и согласовать с уполномоченными государственными органами комплекс организационно-распорядительных документов, в числе которых: документы, регламентирующие пропускной режим, порядок передачи в силовые структуры информации об угрозах АНВ на ОТИ и ТС и т.д.;
- оснастить ОТИ и ТС техническими средствами обеспечения транспортной безопасности, в том числе: интраскопами, рамками металлоискателей, заграждениями, системами контроля доступа и т.д.;

* Субъектом транспортной инфраструктуры является юридическое или физическое лицо — собственник объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств или использующее их на ином законном основании.

** Объекты транспортной инфраструктуры и транспортные средства, обеспечение транспортной безопасности которых осуществляется исключительно федеральными органами исполнительной власти, определяются федеральными законами, нормативными правовыми актами Правительства Российской Федерации.

• назначить лиц ответственных за обеспечение транспортной безопасности в СТИ, а также на ОТИ и ТС, провести обучение и аттестацию сотрудников, в чьи служебные обязанности входят функции, связанные с обеспечением ТБ, а также реализовать широкий перечень других мер направленных на ОТБ ОТИ и ТС принадлежащих СТИ.

При реализации ПОТБ СТИ вправе привлекать на договорной основе внешние организации, аттестованные компетентным органом в качестве сил транспортной безопасности для обеспечения транспортной безопасности на своих объектах.

Обеспечение надзора и контроля в области обеспечения транспортной безопасности. Субъекты транспортной инфраструктуры и перевозчики несут ответственность за неисполнение требований по обеспечению транспортной безопасности в соответствии с законодательством Российской Федерации. В соответствии с Приказом Минтранса России от 13 декабря 2011 г. № 313, обеспечение надзора и контроля в области обеспечения транспортной безопасности возложено на Федеральную службу по надзору в сфере транспорта (Ространснадзор).

Системный анализ существующего положения в сфере ОТБ, сложившегося в результате принятия и введения в действие Федерального закона «О транспортной безопасности», позволяет сделать вывод, что основная роль в планировании и реализации мер, направленных на обеспечение транспортной безопасности ОТИ и ТС транспортного комплекса Российской Федерации, в настоящее время отводится субъектам транспортной инфраструктуры. Необходимо отметить, что в соответствии с [16] СТИ, участвует в управлении обеспечением транспортной безопасности не только собственных транспортных средств, но и ТС, принадлежащих на праве собственности другим субъектам транспортной инфраструктуры, в момент нахождения (прохождения) данных транспортных средств через территорию ОТИ субъекта.

Сравнительный анализ законодательных требований в области ОТБ в различных странах мира, показывает, что становление процесса ОТБ происходит везде по-своему, однако наблюдается общая тенденция по возложению определённой части функций по обеспечению транспортной безопасности на субъекты транспортной инфраструктуры

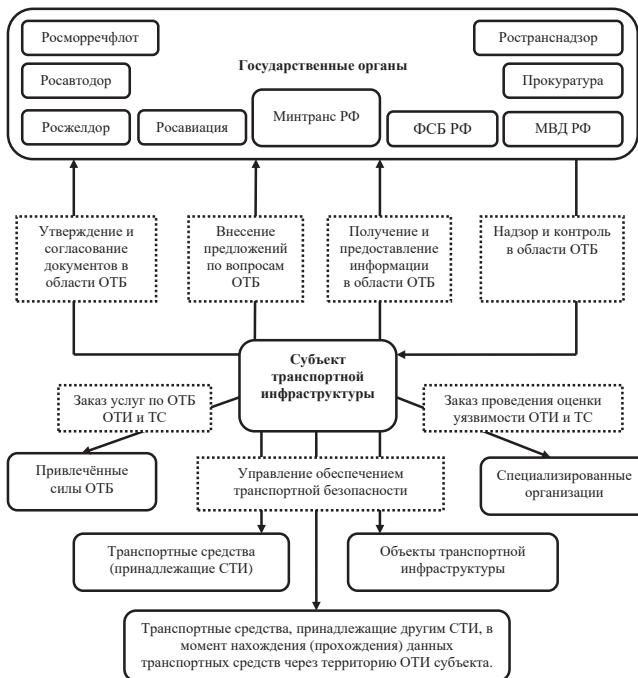


Рис. 7. Функциональная структура деятельности СТИ в рамках ОТБ.

[1–7; 16]. Например, в Великобритании и Франции выполнение функций по ОТБ распределяется между государственными и негосударственными структурами. Так, в метрополитене Лондона, обеспечением транспортной безопасности занимаются три структуры: Британская транспортная полиция, Департамент транспорта Лондона и операционные компании [8]. В США после терактов 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке при Министерстве внутренней безопасности была создана Администрация транспортной безопасности (Transportation security administration (TSA)) – государственный орган, обеспечивающий транспортную безопасность на большей части объектов транспорта США, в том числе принадлежащих и частным компаниям [12].

Систематизировать функциональную структуру деятельности СТИ в рамках ОТБ можно следующими взаимосвязанными блоками (рис. 7).

Взаимоотношения между субъектом транспортной инфраструктуры, компетентными органами, контролирующими органами, привлечёнными силами ОТБ, перевозчиками и т.д., как элементами системы ОТБ имеют свою специфику. С одной стороны, управление ОТБ в рамках страны осуществляется государственными орга-

ми, в то же время непосредственное управление обеспечением транспортной безопасности ОТИ и ТС осуществляют именно субъект транспортной инфраструктуры. Эта особенность определяет необходимость выделения понятия управления ОТБ на уровне СТИ как основной составляющей системы управления ОТБ. Управление ОТБ на уровне СТИ «включает в свой состав достаточно много звеньев, выполняющих различные функции, но объединённых общей интегративной целью» [18] – обеспечение состояния защищённости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от АНВ.

В Российской Федерации в тройку крупнейших субъектов транспортной инфраструктуры по таким оценочным факторам, как количество ОТИ и ТС, а также объём финансовых затрат на обеспечение транспортной безопасности, в настоящий момент входят ОАО «Российские железные дороги», ПАО «Аэрофлот» и ГУП «Московский метрополитен» [19].

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование позволяет сделать вывод, что в настоящее время субъекту транспортной инфраструктуры принадлежит особая роль в обеспечении



транспортной безопасности. СТИ связывает воедино все элементы системы обеспечения транспортной безопасности, обеспечивая процесс управления ОТБ объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. Функциям СТИ при ОТБ присущи черты, свойственные любой другой производственной деятельности. Однако, по сравнению с остальными видами деятельности, обеспечение транспортной безопасности обладает целым рядом специфических черт, порождаемых характером процесса обеспечения транспортной безопасности. По мнению автора, управление ОТБ на уровне СТИ является основной составляющей системы управления обеспечением транспортной безопасности в Российской Федерации.

Полученные результаты исследования могут быть использованы в следующих областях: при организации процесса управления обеспечением транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств различных видов транспорта, в учебном процессе высших и средних учебных заведений, а также учебном процессе специализированных учебных центров по подготовке специалистов в сфере обеспечения транспортной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Setola, R., De Porcellinis, S., Sforza, M. Critical infrastructure dependency assessment using the input–output inoperability model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, December 2009, Vol. 2, Iss. 4, pp. 170–178. DOI: 10.1016/j.ijcip.2009.09.002.
2. Polunsky, S. M. Homeland security and Texas' high-speed rail. *Journal of Transportation Security*, June 2017, Vol. 10, Iss. 4, pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12198-017-0180-y>.
3. Matsika, E., O'Neill, C., Battista, U., Khosravi, M., Laporte, A., Munoz, E. Development of risk assessment specifications for analysing terrorist attacks vulnerability on metro and light rail systems. *Transportation Research Procedia*, December 2016, Vol. 14, pp. 1345–1354. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.207.
4. Ackerman, G. Comparative Analysis of VNSA Complex Engineering Efforts. *Journal of Strategic Security*, March 2016, Vol. 9, pp. 119–133. DOI: 10.5038/1944-0472.9.1.1511.
5. De Cillis, F., De Maggio, M. C., Pragliola, C., Setola, R. Analysis of criminal and terrorist related episodes in railway infrastructure scenarios. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, October 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 1–30. DOI: 10.1515/jhsem-2013-0003.
6. Edwards, F. L., Goodrich, D. C., Griffith, J. Emergency management training for transportation agencies. *Mineta Transportation Institute Report*, San

Jose, California, 2016, Vol. 12 (70), pp. 137–156. [Электронный ресурс]: <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/2910%20-%20Emergency%20Management%20%287.23.2010%29.pdf>. Доступ 22.08.2019.

7. Fiumara, F. The railway security: methodologies and instruments for protecting a critical infrastructure. In: Setola, R., Sforza, A., Vittorini, V., Pragliola, C. (eds.). *Railway infrastructure security. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality*, Book series, 2015, Vol. 27, pp. 25–63. DOI: 10.1007/978-3-319-04426-2_3.

8. Швецов А. В., Швецова С. В., Балалаев А. С. Направление реформирования системы обеспечения транспортной безопасности в Российской Федерации // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2018. – № 3 – С. 81–87.

9. Швецова С. В., Швецов А. В., Балалаев А. С. Предупреждение актов незаконного вмешательства на объектах инфраструктуры // Мир транспорта. – 2018. – № 6. – С. 178–182.

10. Швецова С. В., Швецов А. В. Тенденции современного терроризма на метрополитене // Мир транспорта. – 2018. – № 1. – С. 200–210.

11. Швецов А. В., Громов В. Н. Аспекты технического оснащения зон досмотра на станциях метрополитена // Транспорт России: проблемы и перспективы-2018: материалы Международной научно-практ. конф. – СПб.: Институт проблем транспорта РАН, 2018. Том 2. – С. 28–31.

12. Швецов А. В., Швецова С. В. Регулирование в сфере транспортной безопасности // Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы: матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. – Хабаровск: ДВГУПС, 2015. – С. 268–273.

13. Larcher, M., Forsberg, R., Björnstad, U. [et al]. Effectiveness of finite-element modelling of damage and injuries for explosions inside trains. *Journal of Transportation Safety and Security*, June 2015, Vol. 8, pp. 83–100. DOI: 10.1080/19439962.2015.1046619.

14. September 11th Attacks. [Электронный ресурс]: <https://thoseconspiracyguys.com/september-11th-attacks/>. Доступ 22.08.2018.

15. '9/11' Attacks – Security Chief. [Электронный ресурс]: <http://frontnews.eu/news/en/15837>. Доступ 22.08.2019.

16. О транспортной безопасности: Федеральный закон от 09.02.2007 г. № 16-ФЗ. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2007/02/14/transport-bezopasnost-dok.html>. Доступ 22.08.2018.

17. Об утверждении перечня потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств: Приказ Министерства транспорта РФ, Федеральной службы безопасности РФ, Министерства внутренних дел РФ от 05.03.2010 г. № 52/112/134. [Электронный ресурс]: http://bpsgroup.ru/documents/veddoc/mintrans_52_05032010/. Доступ 10.06.2019.

18. Transportation security administration. [Электронный ресурс]: <https://www.tsa.gov>. Доступ 07.08.2019.

19. Балалаев А. С. Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках // Дис... докт. техн. наук: 05.22.01. – Москва, 2010. – 280 с.

20. Швецов А. В., Швецова С. В. Повышение эффективности обеспечения транспортной безопасности в Российской Федерации // «Современные технологии управления транспортным комплексом России: Инновации, эффективность, результативность»: Матер. перв. нац. научно-практ. конф. – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – С. 226–232.



The Stakeholders of Transport Infrastructure as an Element of the Transport Security System



Shvetsov, Alexey V., Far Eastern State Transport University (FESTU), Khabarovsk, Russia; Northeastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia.*

Alexey V. SHVETSOV

ABSTRACT

Using the methods of systematic and comparative analysis, the article systematized the tasks, main stages and participants in the transport security process, analyzed the role of the transport infrastructure stakeholders in this process, and formulated the functional structure of the activity of the transport infrastructure stakeholder in the form of an appropriate scheme in the framework of ensuring transport security. The main component of the transport security management system is determined. The results of the study, in addition to development of the existing methodological apparatus in the field of transport security, can be used in

the following areas: in organizing the process of managing transport security of transport infrastructure facilities and vehicles of various types of transport, in the educational process of higher and secondary educational institutions, as well as educational process of specialized training centers for training of specialists in the field of transport security. The results of the study may also be of interest to officials responsible for ensuring transport security, especially in such companies as JSC Russian Railways, PJSC Aeroflot and State Unitary Enterprise Moscow Metro, which are the largest stakeholders of transport infrastructure in the Russian Federation.

Keywords: *transport security, transport infrastructure entity, act of unlawful interference.*

*Information about the author:

Shvetsov, Alexey V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Far Eastern State Transport University (FESTU), Khabarovsk, Russia; Associate Professor of Northeastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia, zit-otb@mail.ru.

Article received 20.08.2019, revised 12.12.2019, accepted 28.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 244.

In 21st century, transport remains one of the main goals of modern terrorism both in Russia and in the world [1–12]. In acts of unlawful interference* (AUI) in transportation activite, the number of victims, dead and injured is in the tens, and in some cases hundreds [7; 13].

So, on March 11, 2004, in Madrid (Spain), in four commuter trains arriving at Atocha station in the morning rush hours, a number of AUI using explosive devices were committed almost simultaneously (Pic. 1), as a result of which 192 people were killed and 1856 people were injured [7; 13].

The largest terrorist attack in the history of mankind, in New York (USA, 2001) as a result of which two skyscrapers were completely destroyed [14; 15], is also an example of the possible consequences of AUI in transport activity (Pic. 1). In this incident, as a result of non-compliance with safety rules, airliners were seized, becoming the instrument for committing AUI (Pic. 2).

In the Russian Federation, a set of measures to ensure transport security** is currently being implemented to protect transport facilities from AUI.

Ensuring transport security (ETS) is «implementation of a state-determined system of legal, economic, organizational and other measures in the field of the transport complex, corresponding to the threats of acts of unlawful interference» [16].

«The objectives of ensuring transport security are stable and safe functioning of the transport complex, protecting the interests of individuals, society and the state in the field of the transport complex from acts of unlawful interference» [16].

Transport security at the present stage is a very complicated socio-political and scientific-technical task, the essence and content of which remain theoretically unexplored.

Currently, the process of ensuring transport security includes a significant number of operations of a legal, material and informational nature, performed by both government bodies



Pic. 1. Consequences of AUI on the railway in Madrid (2004, Spain) [13].



a)

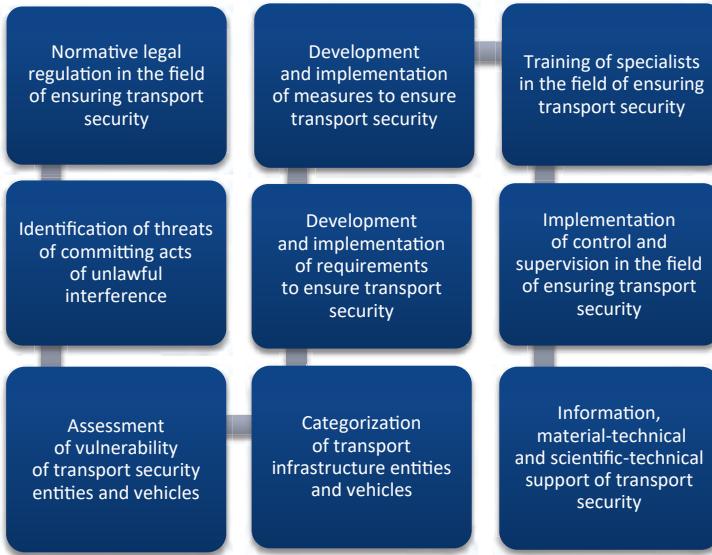


b)

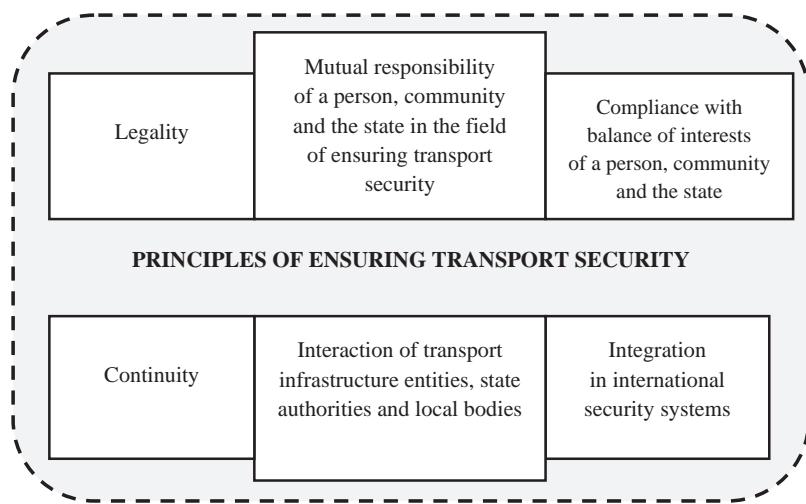
Pic. 2. Terrorist attack in New York (USA, 2001): a) approach of a captured airliner [14]; b) ram of the second skyscraper by a captured airliner [15].

* Act of unlawful interference (AUI) – «unlawful act (inaction), including a terroristic act, posing threat to safe activity of the transport complex, causing harm to life and health of people, material damage or posing threat to occurrence of these consequences» [16].

** Transport security (TS) – «state of protectability of transport infrastructure entities (TIE) and vehicles from acts of unlawful interference» [16].



Pic. 3. Tasks of ensuring transport security in the Russian Federation.



Pic. 4. Principles of ensuring transport security in the Russian Federation.

and transport infrastructure entities. At the same time, the number of legal acts regulating the field of ensuring transport security is constantly growing, including federal laws, decrees of the President, government orders, orders of the Ministry of Transport and other federal departments.

The objectives of this study are to analyze and systematize the existing situation in the field of ensuring transport security that has developed in the Russian Federation as a result of adoption and enactment of the Federal Law of 09.02.2007 No. 16-FZ «On Transport Security», including identification of the main components of the transport security management system.

The main tasks of ensuring transport security defined by Federal Law No. 16-FZ «On Transport Security» are systematized by the author in Pic. 3.

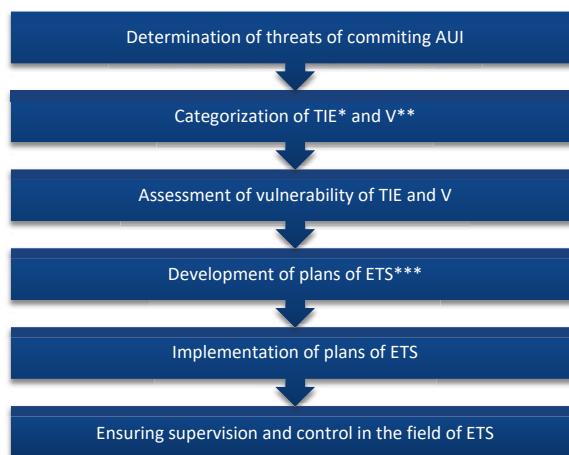
The basic principles of ensuring transport safety in accordance with [16] are shown in Pic. 4.

The process of ensuring transport security in accordance with Federal Law No. 16-FZ consists of six main stages (Pic. 5).

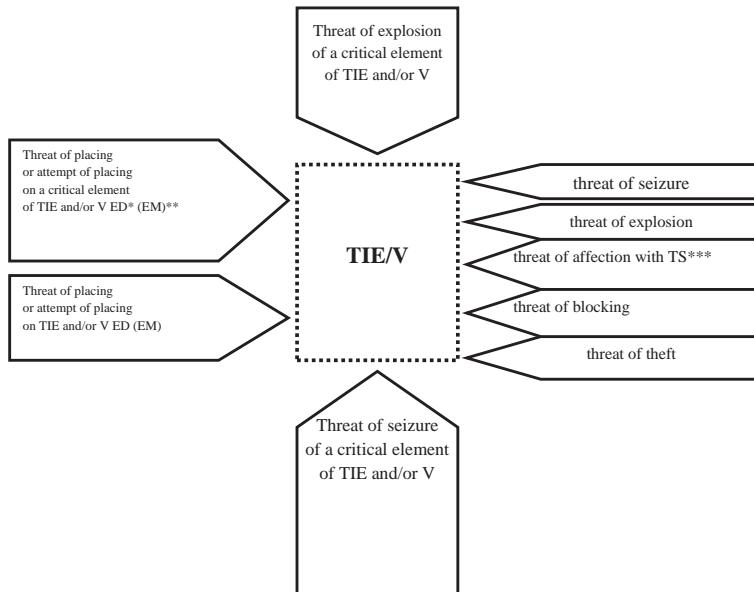
Let us consider in more detail the main stages of ensuring transport security:

Identification of threats to commit AUI. By a joint Order (Ministry of Transport of the Russian Federation, Federal Security Service of the Russian Federation, Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation) dated March





Pic. 5. The process of ensuring transport security. *TIE – transport infrastructure entities,
** V – vehicles, *** ETS – ensuring transport security.



Pic. 6. Potential threats of committing AUI with the activity of TIE and V. *ED – explosive device,
EM – explosive materials, *TS – toxic substances.

5, 2010 No. 52/112/134 [17], nine potential threats of acts of unlawful interference with the activities of TIE and V were identified (Pic. 6).

Categorization of objects of transport infrastructure and vehicles. The number of categories and categorization criteria for TIE and V are established in the manner determined by the Ministry of Transport of the Russian Federation, in agreement with the Federal Security Service of the Russian Federation, the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, and the Ministry

of Economic Development of the Russian Federation [16].

The categorization of transport infrastructure entities and vehicles is carried out by the competent authorities* in the field of ensuring transport security (by mode of transport):

- TIE and V of air transport: Rosaviation;
- TIE and V of railway transport: Roszheldor;

* Federal executive authorities, authorized by the Russian Government to carry out functions to render state services in the field of ensuring transport security.

- TIE and V of road transport: Rosavtodor;
- TIE and V of sea and river transport: Rosmorrechflot [the abridged names of Federal Agencies in the field of, respectively, civil aviation, railway, road, sea and river transport].

The vulnerability assessment (VA) of TIE and V is carried out by specialized organizations in the field of ETS, organizations and units of the FSS of the Russian Federation and the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, taking into account the requirements for ensuring transport security on the basis of a public agreement at the rates established by the Federal Tariff Service of the Russian Federation [16].

The customer in the contract for VA is the owner of TIE or V, i.e. stakeholder of transport infrastructure (STI)*.

The results of the vulnerability assessment of TIE and V are approved by the competent authorities (by mode of transport).

Development and implementation of ETS plans. Based on the results of the vulnerability assessment of ETS and V, the stakeholder of transport infrastructure develops a plan of ensuring transport security (PETS) of TIE or V. ETS plan includes a system of measures to ensure TS. The procedure for development of PETS is established by the Ministry of Transport of the Russian Federation, in agreement with the Federal Security Service and the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation [16].

Plans to ensure transport security of TIE and V are approved by the competent authorities.

In accordance with Federal Law No. 16-FZ dated February 2, 2007 «On Transport Security», transport security of transport infrastructure entities and vehicles is entrusted to the stakeholders of transport infrastructure, unless otherwise provided by the legislation of the Russian Federation**, including the obligation to implement PETS of TIE and V.

In the development and implementation of plans to ensure transport security, STI must:

- develop and coordinate with the authorized state bodies a set of organizational

and administrative documents, including: documents governing access control, the procedure for transferring information about the threats of AUI to TIE and V to the security forces, etc;

- equip TIE and V with technical means of ensuring transport safety, including: introsopes, metal detector frames, barriers, access control systems, etc.;

- appoint persons responsible for ensuring transport security in STI, as well as at TIE and V, conduct training and certification of employees whose job responsibilities include the functions related to providing TS, and also implement a wide range of other measures aimed at ETS of TIE and V belonging to STI.

When implementing PETS, STI has the right to engage external organizations on a contractual basis, certified by the competent authority as transport security forces to ensure transport security at his facilities.

Ensuring supervision and control in the field of ensuring transport security. Stakeholders of transport infrastructure and carriers are responsible for failure to comply with transport security requirements in accordance with the legislation of the Russian Federation. In accordance with the Order No. 313 of the Ministry of Transport of Russia dated December 13, 2011, supervision and control in the field of ensuring transport security is entrusted to the Federal Service for Supervision in the Field of Transport (Rostransnadzor).

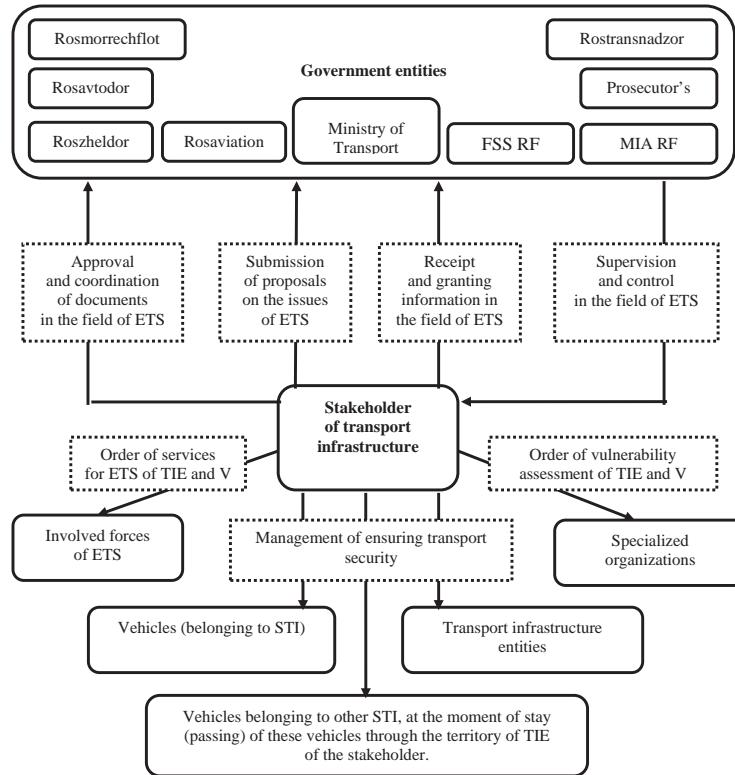
System analysis of the existing situation in the field of ETS that has developed as a result of adoption and enactment of the Federal Law «On Transport Security» allows us to conclude that the main role in planning and implementing measures aimed at ensuring transport security of TIE and V of the transport complex of the Russian Federation, is allocated currently to stakeholders of transport infrastructure. It should be noted that in accordance with [16] STI is involved in management of ensuring transport security not only of its own vehicles, but also vehicles owned by other stakeholders of transport infrastructure, at the time of stay (passing) of these vehicles through the territory of TIE of the stakeholder.

Comparative analysis of the legislative requirements in the field of ETS in different countries of the world shows that formation of ETS process takes place everywhere in its own

* Stakeholder of transport infrastructure is a legal entity or an individual, owing transport infrastructure and vehicles or using them on other legal basis.

** Transport infrastructure entities and vehicles, ensuring transport security of which is carried out exclusively by the federal executive authorities, are defined by the federal laws, normative legal acts of the Government of the Russian Federation.





Pic. 7. Functional structure of STI activity within ETS.

way, however, there is a general tendency to assign a certain part of the functions to ensure transport security to the stakeholders of transport infrastructure [1–7; 16]. For example, in the United Kingdom and France, performance of ETS functions is distributed between state and non-state actors. So, in the London Underground, three structures are involved in ensuring transport security: the British Transport Police, the London Department of Transportation and operating companies [8]. In the USA, after the September 11 attacks in New York, the Transportation Security Administration (TSA) was created under the Department of Homeland Security, a government agency that provides transport security for most of the US transportation facilities, including those belonging to private companies [12].

It is possible to systematize the functional structure of the activity of STI within the framework of ETS with the following interconnected blocks (Pic. 7).

The relationships between the stakeholder of transport infrastructure, competent authorities, regulatory authorities, involved safety department, carriers, etc., as elements of the security system have their own specifics. On

the one hand, ETS management within the country is carried out by state bodies, at the same time the stakeholder of transport infrastructure is directly responsible for ensuring transport security of TIE and V. This feature determines the need to highlight the concept of *ETS management at the level of STI* as the main component of ETS management system. ETS management at STI level «includes a lot of links that perform various functions, but are united by a common integrative goal» [18]: ensuring the state of protectability of transport infrastructure objects and vehicles from AUI.

In the Russian Federation, the three largest stakeholders of transport infrastructure for such estimated factors as the number of TIE and V, as well as the amount of financial costs for ensuring transport security, currently include: JSC Russian Railways, PJSC Aeroflot and State Unitary Enterprise Moscow Metro [19].

Conclusions. The study allows us to conclude that at present, the stakeholder of transport infrastructure has a special role in ensuring transport security, STI combines all the elements of the transport security system, providing the process of managing ETS of the transport infrastructure entities and vehicles.

The STI functions in case of ETS are inherent to the features characteristic of any other production activity. However, in comparison with other types of activities, ensuring transport security has a number of specific features generated by the nature of the process of ensuring transport security. According to the author, ETS management at the STI level is the main component of the transport security management system in the Russian Federation.

The results of the study can be used in the following areas: in organizing the process of managing transport security of transport infrastructure entities and vehicles of various modes of transport, in the educational process of higher and secondary educational institutions, as well as in the educational process of specialized training centers for training specialists in the field of ensuring transport security.

REFERENCES

1. Setola, R., De Porcellinis, S., Sforza, M. Critical infrastructure dependency assessment using the input-output inoperability model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, December 2009, Vol. 2, Iss. 4, pp. 170–178. DOI: 10.1016/j.jcip.2009.09.002.
2. Polunsky, S. M. Homeland security and Texas' high-speed rail. *Journal of Transportation Security*, June 2017, Vol. 10, Iss. 4, pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12198-017-0180-y>.
3. Matsika, E., O'Neill, C., Battista, U., Khosravi, M., Laporte, A., Munoz, E. Development of risk assessment specifications for analysing terrorist attacks vulnerability on metro and light rail systems. *Transportation Research Procedia*, December 2016, Vol. 14, pp. 1345–1354. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.207.
4. Ackerman, G. Comparative Analysis of VNSA Complex Engineering Efforts. *Journal of Strategic Security*, March 2016, Vol. 9, pp. 119–133. DOI: 10.5038/1944-0472.9.1.1511.
5. De Cillis, F., De Maggio, M. C., Pragliola, C., Setola, R. Analysis of criminal and terrorist related episodes in railway infrastructure scenarios. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, October 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 1–30. DOI: 10.1515/jhsem-2013-0003.
6. Edwards, F. L., Goodrich, D. C., Griffith, J. Emergency management training for transportation agencies. Mineta Transportation Institute Report, San Jose, California, 2016, Vol. 12(70), pp. 137–156. [Electronic resource]: <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/2910%20-%20Emergency%20Management%20%287.23.2010%29.pdf>. Last accessed 22.08.2019.
7. Fiumara, F. The railway security: methodologies and instruments for protecting a critical infrastructure. In: Setola, R., Sforza, A., Vittorini, V., Pragliola, C. (eds.). Railway infrastructure security. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality, Book series, 2015, Vol. 27, pp. 25–63. DOI: 10.1007/978-3-319-04426-2_3.
8. Shvetsov, A. V., Shvetsova, S. V., Balalaev, A. S. Direction of reforming the system for ensuring transport security in the Russian Federation [*Napravleniya reformirovaniya sistemy obespecheniya transportnoi bezopasnosti v Rossiisko Federatsii*]. *Problemy bezopasnosti i chrezychainykh situatsii*, 2018, Iss. 3, pp. 81–87.
9. Shvetsova, S. V., Shvetsov, A. V., Balalaev, A. S. Prevention of acts of unlawful interference at infrastructure facilities. *World of Transport and Transpotation*, 2018, Vol. 16, Iss. 6, pp. 178–182.
10. Shvetsova, S. V., Shvetsov, A. V. Tendencies of modern terrorism on the subway. *World of Transport and Transpotation*, 2018, Vol. 16, Iss. 1, pp. 200–210.
11. Shvetsov, A. V., Gromov, V. N. Aspects of technical equipment of inspection zones at subway stations [*Aspekty tekhnicheskogo osnashcheniya zon dosmota na stantsiyakh metropolitena*]. *Transport of Russia: Problems and Prospects – 2018: Proceedings of international scientific and practical conference*. St. Petersburg: Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 2018, Vol. 2, pp. 28–31.
12. Shvetsov, A. V., Shvetsova, S. V. Regulation in the field of transport security [*Regulirovanie v sfere transportnoi bezopasnosti*]. *Improving the efficiency of the regional transport system: problems and prospects: Proceedings of All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Khabarovsk: FESTU, 2015, pp. 268–273.
13. Larcher, M., Forsberg, R., Björnstrig, U. [et al.]. Effectiveness of finite-element modelling of damage and injuries for explosions inside trains. *Journal of Transportation Safety and Security*, June 2015, Vol. 8, pp. 83–100. DOI: 10.1080/19439962.2015.1046619.
14. September 11th Attacks. [Electronic resource]: <https://thoseconspiracyguys.com/september-11th-attacks/>. Last accessed 22.08.2018.
15. '9/11' Attacks – Security Chief. [Electronic resource]: <http://frontnews.eu/news/en/15837>. Last accessed 22.08.2019.
16. On Transport Security [*O transportnoi bezopasnosti*]: Federal Law dated 09.02.2007. No. 16-FZ. [Electronic resource]: <https://rg.ru/2007/02/14/transport-bezopasnost-dok.html>. Last accessed 22.08.2018.
17. On approval of the list of potential threats of acts of unlawful interference with the activities of transport infrastructure entities and vehicles: Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation, the Federal Security Service of the Russian Federation, and the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation dated 05.03.2010. No. 52/112/134 [*Ob utverzhdenii perechnya potentsialnykh ugroz soversheniya aktov nezakonnogo vmeshatelstva v deyatelnosti ob'ektov transportnoi infrastruktury i transportnykh sredstv: Prikaz Ministerstva transporta RF, Federalnoi sluzhby bezopasnosti RF, Ministerstva vnutrennikh del RF ot 05.03.2010 № 52/112/134*]. [Electronic resource]: http://bpsgroup.ru/documents/veddoc/mintrans_52_05032010/. Last accessed 10.06.2019.
18. Transportation security administration [Electronic resource]: <https://www.tsa.gov>. Last accessed 07.08.2019.
19. Balalaev, A. S. Methodology of transport and logistics interaction in multimodal transportation: D.Sc. (Eng) thesis: 05.22.01 [*Metodologiya transportno-logisticheskogo vzaimodeistviya pri multimodalnykh perevozках* // Dis... dokt. tekh. nauk: 05.22.01]. Moscow, 2010, 280 p.
20. Shvetsov, A. V., Shvetsova, S. V. Improving the efficiency of ensuring transport security in the Russian Federation [*Povyshenie effektivnosti obespecheniya transportnoi bezopasnosti v Rossiiskoi Federatsii*]. Modern technologies for managing the transport complex of Russia: Innovation, efficiency, effectiveness: Proceedings of the first national scientific-practical conference. Moscow, RUT (MIIT), 2018, pp. 226–232.



БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

На состоявшемся в начале февраля 2020 года в Кигали (Руанда) Африканском форуме по дронам представители ИКАО подчеркнули важность использования беспилотных авиационных систем (БАС) для устойчивого развития.

Это мероприятие было организовано правительством Руанды в сотрудничестве со Всемирным банком и Всемирным экономическим форумом (ВЭФ) в свете быстрого расширения использования дронов в регионе и с учётом преобразующей и важной роли этих технологий для целого ряда секторов, включая сельское хозяйство, медицину, горное дело, зондирование, научные исследования, гуманитарную деятельность, а также другие сферы и приложения.

Все эти новые возможности играют важную роль в содействии достижению многих целей в области устойчивого развития, сформулированных в Повестке дня до 2030 года, что особенно актуально с учётом начала серьёзной работы по реализации ЦУР в рамках «Десятилетия действий» ООН.

Г-жа Лесли Кери, руководящая в ИКАО работой по дистанционно пилотированным авиационным системам, открыла это мероприятие от имени Генерального секретаря ИКАО д-ра Фан Лю. Г-жа Кери подчеркнула, что «на первый взгляд беспилотные авиационные системы (БАС) выглядят чем-то новым и отличающимися от традиционной авиации. Однако у них одинаковые фундаментальные основы: мы рассчитываем, что воздушное судно сможет летать, будет функционировать, как запланировано, и не будет падать, а также будет создавать минимальные неудобства людям, не участвующим в этом процессе».

Работа ИКАО в этой области помогает научно-исследовательской деятельности в области требуемых технологий и методов сертификации, и уже осуществляется разработка нормативно-правовой базы для организации движения беспилотных авиационных систем (UTM), — добавила г-жа Кери. «В то же время здесь в Африке ведётся работа по решению проблем, которые должны быть преодолены, а энтузиазм и решимость добиться успехов в этой новой области очевид-

ны всем».

Выступая перед регуляторами и другими заинтересованными сторонами, представленными на форуме, г-жа Кери отметила, что отрасль предстоит решить непростую задачу по адаптации традиционных систем управления воздушным движением к новой реальности.

«Нам необходимы нормы для беспилотной авиации, согласованные на глобальном уровне», — заявила г-жа Кери. «Ожидается, что всё большее количество воздушных судов, как пилотируемых, так и беспилотных, будет выполнять полёты на небольших высотах в городских и не городских районах, и это потребует новых подходов к управлению воздушным движением. Так же предстоит решить вопрос нахождения, выделения и возмещения финансовых средств, требуемых для разработки и внедрения физической инфраструктуры.

И наконец, чтобы эти технологии были приняты регуляторами и широкой общественностью, потребуется решить такие вызывающие обеспокоенность вопросы, как шум, неприкосновенность частной жизни и защита данных. Некоторые из этих решений будет необходимо разработать на национальном или местном уровне».

В ходе мероприятия директор Аэронавигационного управления ИКАО г-н Стивен Кример принял участие в экспертном обсуждении вопроса о регулировании БАС в Африке. Он подчеркнул, что для безопасности авиации и общества чрезвычайно важно значение имеет выработка таких подходов к созданию нормативно-правовых баз для дронов, которые бы учитывали, прежде всего, технические аспекты и риски, а также отметил необходимость обеспечить их согласованность с региональными и глобальными подходами к управлению традиционным воздушным движением.

По материалам ИКАО: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/RU/Kigali-Forum-highlights-importance-of-drone-operations-to-sustainable-development-in-Africa.aspx> ●

DRONE OPERATIONS: SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND REGULATION ISSUES

Stressing the importance of Unmanned Aircraft Systems (UAS) operations to sustainable development, ICAO highlighted the significance of Africa's global leadership in this area during last week's African Drone Forum in Kigali, Rwanda during the first days of February, 2020.

The event was convened by the Government of Rwanda in collaboration with the World Bank and the World Economic Forum (WEF), in light of the rapid expansion of drone use in the region and the transformative importance of these technologies to a vast array of sectors. These include agricultural, medical, mining, survey, scientific, humanitarian, and other operations and applications.

All of these new contributions are playing an important role in supporting the attainment of many Agenda 2030 Sustainable Development Goal (SDG) benefits, and notably as the United Nations' «Decade of Action» toward realizing the SDGs begins in earnest.

ICAO Remotely Piloted Aircraft Systems Chief, Ms. Leslie Cary opened the event on behalf of ICAO Secretary General Dr. Fang Liu. Cary underscored that «on the surface, unmanned aviation systems (UAS) appear new and different from traditional aviation. However the fundamentals underneath are the same — we expect the aircraft to be airworthy, to operate as intended and not crash, and to create minimal disruption to people not participating in the operation».

«ICAO's work in this area is helping focus research and development activities for required technologies and certification methods, and the development of a framework for UAS traffic management, UTM, is well underway», Cary added. «Meanwhile, the challenges that need to be overcome are being addressed here

in Africa, and the enthusiasm and determination to succeed in this new arena is clear to see».

Preparing the regulators and other aviation stakeholders in attendance for their discussions, Cary noted that the industry would face challenges to address new realities as they adapt to traditional air traffic systems.

«We need globally harmonized provisions for unmanned aviation», Cary said. «Meanwhile, the increasing numbers of aircraft, whether manned or unmanned, planned to operate at low level simultaneously within urban and non-urban areas, will require new approaches to air traffic management. The identification, allocation and recovery of costs for the development and deployment of physical infrastructure remain to be addressed.

And finally, acceptance of these technologies by regulators and by the public at large will require solutions for concerns such as noise, privacy, and data protection. Some of these will need to be developed on a national or local basis».

ICAO Air Navigation Bureau Director, Mr. Stephen Creamer, took part in a panel during the event which addressed UAS regulations in Africa. He strongly underscored the inherent aviation and societal safety value of establishing operation-centric, risk-based approaches to new drone regulatory frameworks, and the need for those to be further aligned and harmonized with regional and global approaches to managing traditional air traffic.

Compiled based on ICAO information:
<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Kigali-Forum-highlights-importance-of-drone-operations-to-sustainable-development-in-Africa.aspx> ●



ОБРАЗОВАНИЕ 260

Правовые знания для студентов-транспортников.
Рассматриваем новое издание учебника.



АВТОРЕФЕРАТЫ 265

- Идентификация металлополимерных трибосистем.
- Влияние низких температур на рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при ТО автомобилей.
- Ходовые испытания грузовых вагонов с применением тензометрической колёсной пары.
- Интеллектуализация методов и алгоритмов управления технологическими процессами на сортировочных горках.
- Автоматическая система регулирования температуры силовых полупроводниковых приборов тяговых преобразователей локомотивов.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 271

Научные и учебные издания российских и международных издательств.

EDUCATION 263

Legal knowledge for transport students: reviewing new edition of a textbook.

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESIS 268

- Identification of metal-polymer tribosystems.
- Influence of low temperatures on the rational choice and frequency of replacement of engine oils in maintenance of cars.
- Running tests of freight cars using a tensometric wheel set.
- Intellectualization of methods and algorithms for controlling technological processes on hump yards.
- Automatic temperature control system of power semiconductor devices of traction converters of locomotives.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 272

New manuals and scientific editions offered by Russian and international publishing houses.





Правовые знания для будущих транспортников



Иван ХОЛИКОВ

Холиков Иван Владимирович – Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Научно-экспертный совет Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия*.

**Правоведение для студентов транспортных вузов: Учебник для вузов / Под общ. ред. А. И. Землина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – 421 с.
 ISBN 978-5-534-13560-2.**

Представлена рецензия на учебник «Правоведение для студентов транспортных вузов», подготовленный коллективом кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта.

В учебнике в систематизированной форме изложены дидактические блоки, включенные в курс «Правоведение», ориентированный на специалистов транспортных вузов и содержащий материал, необходимый и достаточный для формирования у будущих

специалистов в области транспорта компетенций правовой направленности, позволяющих обеспечить успешное выполнение ими в последующем обязанностей по предстоящему должностному предназначению в условиях цифровизации экономики и транспортной логистики. Представленный материал отражает все современные тенденции динамично развивающегося российского законодательства, последние изменения в нормативных правовых актах, регулирующих деятельность в сфере транспорта.

Издание может представлять интерес не только для студентов, но и для научных работников, преподавателей, специалистов и всех, кто интересуется вопросами права и его связями с функционированием транспортной системы.

Ключевые слова: транспорт, право, законодательство, обучение, студенты, правовое регулирование.

*Информация об авторе:

Холиков Иван Владимирович – доктор юридических наук, профессор кафедры международного и европейского права Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, заместитель руководителя направления «Транспортная безопасность» Научно-экспертного совета Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия, iv_kholik@mail.ru.

Рецензия поступила в редакцию 15.02.2020, принятая к публикации 27.02.2020.

For the English text of the article please see p. 263.

Транспортная деятельность представляет собой одну из базовых основ экономики и является основным связующим звеном территориальной целостности Российской Федерации. Постоянное совершенствование и развитие транспортной инфраструктуры обусловливается нарастающими темпами социально-экономического развития страны, её обширной территорией и географическими особенностями, а также вступлением России в новый этап государственного строительства, сопряжённого с мобилизацией усилий по защите национальных интересов и безопасности в условиях обострения экономических, политических и иных проблем в современном трансформирующемся мире. Важно отметить, что транспорт является не только средством связи, но и занимает промежуточное положение между производством и потреблением товаров. От того, каким образом выполняется работа перевозчика, во многом зависит эффективная работа промышленности, торговли, прочих отраслей экономики, а также удобство и жизненный комфорт граждан [1, с. 4].

Век информационных технологий побуждает человека к постоянному обновлению знаний, и, ощущая эту потребность, транспортник обязан постоянно обновлять их, чтобы совершенствовать профессиональные компетенции. Ключевым звеном в цепи профессиональных компетенций транспортника являются правовые знания. Вместе с тем очевидна необходимость формирования у студентов транспортных специальностей не только непосредственно правовых знаний, но и высокой правовой культуры, развитого профессионального правосознания, гражданской зрелости и общественной активности. Не только сами законы и иные нормативные правовые акты нужны для успешного функционирования транспортной системы, требуется, например, надлежащий прокурорский надзор, чтобы торжествовала законность и укреплялся правопорядок на транспорте, необходима реализация мероприятий по обеспечению безопасности транспортной инфраструктуры на основе доктринальных подходов [2, с. 14], комп-

лекса медицинских и медико-социальных мероприятий, направленных на снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, на минимизацию медико-санитарных последствий, на сохранение здоровья людей и уменьшение ущерба окружающей природной среде [3, с. 185], и многое другое. Выполнение международно-правовых обязательств нашего государства в транспортной сфере также представляется крайне важной задачей, что нашло отражение в Транспортной стратегии Российской Федерации [4, с. 98].

При низкой правовой культуре законы останутся не тронутыми, в лучшем случае их прочитают, получив первичные знания для лёгкого представления о том, что в них прописано. Но знание о законе невозможно отнести к тому уровню правового знания, с позиций которого только и возможно постичь смысл законов и стать способным воплощать их в правопорядок.

В системе подготовки специалистов транспорта особое значение занимает правовое обучение. Правовые знания крайне необходимы всем работникам транспортной системы, для того чтобы каждый из них при выполнении возложенных обязанностей осознанно осуществлял свою деятельность в том порядке, какой определён нормативными правовыми актами. При осуществлении любой деятельности – инженерной, технической, организационной или иной – сотруднику транспорта следует руководствоваться правовыми нормами, где прописан порядок деятельности, указаны нормативы, которые требуется соблюдать, определён порядок предотвращения опасности. Правовые знания формируют умения давать верную оценку законам и иным нормативным правовым актам, обеспечивая возможность воплощения правовых норм в транспортную практику. Отсутствие у работников транспорта правовых знаний повышает вероятность того, что осуществляя ими деятельность окажется противоправной и создаст угрозу для безопасного функционирования транспортной системы [5, с. 6–8].

Исходя из вышеизложенного, авторы учебника сконцентрировались на задаче



обучения студентов навыкам анализа законодательства в сфере транспорта, умению соотносить положения тех или иных нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность транспортных организаций и функционирования транспортного комплекса, с общеправовыми категориями и институтами. В целях решения указанной задачи в учебнике освещаются особенности правового регулирования транспортной деятельности каждой отраслью права с учётом требований правовых норм, регулирующих отношения на транспорте.

Издание подготовлено коллективом преподавателей кафедры «Транспортное право» Юридического института Российского университета транспорта, являющегося головным транспортным вузом России, интегрирующим общесистемные задачи в рамках единой транспортной системы, и выполняющим функции учебно-методического центра отрасли.

Учебник представляет собой четвёртое издание, существенно дополненное и переработанное, которое посвящено рассмотрению всех тем, изучаемых в рамках учебной дисциплины «Правоведение» студентами транспортных образовательных организаций. В данном издании представлен достаточный объём материала, позволяющий обеспечить формирование у первокурсников правозначимых компетенций, необходимых для успешного обучения на последующих курсах в рамках дисциплины «Правовое обеспечение профессиональной деятельности». Таким образом, рецензируемый учебник призван заложить фундамент для формирования системы знаний, необходимых для успешного исполнения будущими специалистами-транспортниками обязанностей по предстоящему должностному назначению.

Материал, изложенный в учебнике, носит авторский и законченный характер и представляет собой убедительную концепцию транспортного правопонимания. Он отражает все современные тенденции динамично развивающегося российского законодательства, последние изменения в нормативных правовых актах, регулирующих деятельность в сфере транспорта.

В учебнике в доступной форме представлены знания об общей теории права, а также сведения из области основных отраслей современного права: конституционного, гражданского, административного, трудового, семейного, уголовного и др. Издание в необходимой и достаточной степени отражает особенности правового регулирования отношений в сфере транспорта. В то же время практика правоприменения показывает наличие многочисленных пробелов и коллизий в системе правового регулирования и законодательного обеспечения функционирования транспортной инфраструктуры. По мнению авторов, наличие пробелов и противоречий правового регулирования не в последнюю очередь обусловлено неоднозначностью понимания базовых категорий, в той или иной степени соотносимых с рассматриваемой проблематикой.

Учебник полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта по юриспруденции, написан простым и понятным, юридически грамотным литературным языком, и, несомненно, будет представлять интерес не только для студентов, но и для научных работников, преподавателей, специалистов и всех, кто интересуется вопросами права и его связями с транспортом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Землин А. И., Холиков И. В., Мельникова А. А. Актуальные проблемы правового обеспечения безопасности транспортной инфраструктуры: Монография. — М.: Юридический институт МИИТ, 2019. — 92 с.
2. Землин А. И. Актуальные вопросы обеспечения транспортной безопасности в современной России // Транспортное право и безопасность. — 2017. — № 1 (13). — С. 7–14.
3. Клёнов М. В., Холиков И. В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России // Мир транспорта. — 2019. — № 3. — С. 180–191.
4. Холиков И. В. Международно-правовые аспекты реализации Транспортной стратегии Российской Федерации в сфере медицинского обеспечения на транспорте // Транспортное право и безопасность. — 2018. — № 4 (28). — С. 93–99.
5. Духно Н. А. [и др.] Правовые проблемы обеспечения транспортной безопасности: Монография. — М.: Юридический институт МИИТ, 2018. — 120 с.
6. Землин А. И. [и др.] Правоведение для студентов транспортных вузов: Учебник для вузов / Под общ. ред. А. И. Землина. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2020. — 421 с.



Legal Knowledge for Future Transport Employees



Ivan V. KHOLIKOV

Kholikov, Ivan V., Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Scientific and Expert Council of the Center for the Study of Security Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.*

Jurisprudence for students of transport universities: Textbook for universities. Ed. by A. I. Zemlin. 4th ed., rev. and enl. Moscow, Yurayt publ., 2020, 421 p. ISBN 978-5-534-13560-2.

A suggested review is devoted to the textbook «Jurisprudence for students of transport universities» prepared by the staff of the department «Transport Law» of the Law Institute of Russian University of Transport.

The textbook in a systematic form sets out the didactic blocks included in the course «Jurisprudence», aimed at specialists of transport universities and containing material

necessary and sufficient to build legal competencies for future specialists in the field of transport, which will ensure their successful fulfillment of their future responsibilities in the context of digitalization of the economy and transport logistics. The presented material reflects all modern trends of dynamically developing Russian legislation, recent changes in regulatory legal acts regulating activities in the field of transport.

The publication may be of interest not only for students, but also for scientists, teachers, specialists and everyone who is interested in issues of law and its relations with functioning of the transport system.

Keywords: transport, law, jurisprudence, teaching, students, legal regulation.

*Information about the author:

Kholikov, Ivan V. – D.Sc. (Law), professor of the Department of International and European Law of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Deputy Head of the «Transport Security» Direction of the Scientific and Expert Council of the Center for the Study of Security Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, iv_kholik@mail.ru.

Review received 15.02.2020, accepted 27.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 260.

Transport activity is one of the basic foundations of the economy and is the main connecting link of the territorial integrity of the Russian Federation. Continuous improvement and development of transport infrastructure is determined by the growing pace of socio-economic development of the country, its vast territory and geographical features, as well as Russia's entry into a new stage of state construction, coupled with mobilization of efforts to protect national interests and security in the face of aggravation of economic, political and other problems in the modern transforming world. It is important to note that transport is not only a means of communication, but also occupies an intermediate position between production and consumption of goods. The efficient work of industry, trade and other sectors of the economy, as well as convenience and living comfort of citizens, largely depend on how the carrier's work is performed [1, p. 4].

The age of information technology encourages people to constantly update knowledge, and, sensing this need, the transporter must constantly update them in order to improve professional competencies. The key link in the chain of professional competencies of a transport specialist is legal knowledge. At the same time, there is a need for formation by students of transport specialties of not only directly legal knowledge, but also of a high legal culture, developed professional legal awareness, civic maturity and social activity. Not only the laws themselves and other normative legal acts are necessary for successful functioning of the transport system, for example, proper prosecutorial supervision is required to ensure and strengthen the rule of law in the activity of transport, it is necessary to implement measures to ensure transport infrastructure security based on doctrinal approaches [2, p. 14], a set of medical and medical-social measures aimed at reducing the risk of emergency situations, minimizing the health consequences, preserving human health and reducing damage to the environment [3, p. 185], and much more. Fulfillment of international legal obligations of our state in the transport sector also seems to be an extremely important task, which is reflected in the Transport Strategy of the Russian Federation [4, p. 98].

With a low legal culture, the laws will remain untouched, at best they will be read, having received primary knowledge for an easy idea of what is written in them. But knowledge of the law cannot be attributed to that level of legal knowledge, from the standpoint of which it is only possible to comprehend the meaning of laws and become able to translate them into the rule of law.

In the training system for transport specialists, legal education is of particular importance. Legal knowledge is extremely necessary for all employees of the transport system, so that each of them, when fulfilling their duties, consciously carries out their activities in the order defined by regulatory legal acts. When carrying out any activity – engineering, technical, organizational or otherwise – a transport employee should be guided by legal standards, where the order of activity is prescribed, the standards that must be followed are specified, the procedure for preventing danger is defined. Legal knowledge forms the ability to give true assessment of laws and other regulatory legal acts, providing the opportunity to translate legal norms into transport practice. The lack of legal knowledge among transport employees increases the likelihood that their activities will be unlawful and pose a threat to safe functioning of the transport system [5, pp. 6–8].

Based on the foregoing, the authors of the textbook focused on the task of teaching students the skills of analyzing legislation in the field of transport, the ability to correlate the provisions of certain regulatory legal acts regulating the activities of transport organizations and functioning of the transport complex with general legal categories and institutions. In order to solve this problem, the textbook highlights the features of legal regulation of transport activity by each branch of law, taking into account the requirements of legal norms governing relations in transport.

The publication was prepared by a team of teachers of the department «Transport Law» of the Law Institute of Russian University of Transport, which is the leading transport university in Russia, integrating system-wide tasks within the framework of a single transport system, and acting as an educational center of the industry.

The textbook is the fourth edition, substantially supplemented and revised, which is devoted to consideration of all topics studied in the framework of the discipline «Jurisprudence» by students of transport educational organizations. This publication provides a sufficient amount of material to ensure formation by first-year students of the relevant competencies necessary for successful training in subsequent courses in the discipline «Legal support of professional activities». Thus, the peer-reviewed textbook is intended to lay the foundation for formation of the knowledge system necessary for successful fulfillment by future transport specialists of duties during their upcoming professional mission.

The material presented in the textbook is authorial and complete in nature, and represents a convincing concept of transport legal understanding. It reflects all modern trends of dynamically developing Russian legislation, recent changes in legal acts regulating activities in the field of transport.

The textbook in an accessible form presents knowledge about the general theory of law, as well as information from the field of the main branches of modern law: constitutional, civil, administrative, labor, family, criminal, etc. The publication reflects in a necessary and sufficient degree the peculiarities of legal regulation of relations in the field of transport. At the same time, the practice of law enforcement shows the presence of numerous gaps and conflicts in the system of legal regulation and legal support of functioning of transport infrastructure. According to the authors, the presence of gaps and contradictions in legal regulation is not least due to ambiguity of understanding of the basic categories, to one degree or another, related to the issue under consideration.

The textbook fully complies with the requirements of the state educational standard in jurisprudence, is written in a simple and understandable, legally competent literary language, and will undoubtedly be of interest not only for students, but also for researchers, teachers, specialists and everyone who is interested in issues of law and its connections with transport.

REFERENCES

- Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Melnikova, A. A. Current problems of legal support of transport infrastructure security: Monograph [*Aktualnie problemy pravovogo obespecheniya bezopasnosti transportnoi infrastruktury: Monografiya*]. Moscow, Law Institute of MIIT, 2019, 92 p.
- Zemlin, A. I. Current problems of provision of transport security in modern Russia [*Aktualnie voprosy obespecheniya transportnoi bezopasnosti v sovremennoi Rossii*]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*, 2017, Iss. 1 (13), pp. 7–14.
- Klenov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and organization issues of transport occupational health and medical assistance to passengers in the Russian Federation. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3, pp. 180–191.
- Kholikov, I. V. International-legal aspects of implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation in the field of medical support on transport [*Mezhdunarodno-pravovie aspekty realizatsii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii v sfere meditsinskogo obespecheniya na transporte*]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*, 2018, Iss. 4 (28), pp. 93–99.
- Dukhno, N. A. [et al]. Legal problems of ensuring transport security: Monograph [*Pravovie problem obespecheniya transportnoi bezopasnosti: Monografiya*]. Moscow, Law Institute of MIIT, 2018, 120 p.
- Zemlin, A. I. [et al] Jurisprudence for students of transport universities. Textbook for universities [*Pravovedenie dlya studentov transportnykh vuzov: Uchebnik dlya vuzov*]. Ed. by A. I. Zemlin. 4th ed., rev. and enl. Moscow, Yurait, 2020, 421 p.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of Ph.D. theses
submitted at Russian transport
universities.
For the English text please see p. 268.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-265-270>

Больших И. В. Идентификация металлополимерных трибосистем с композиционным покрытием холодного отверждения / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2019. – 22 с.

Был разработан матричный компаунд холодного отверждения для крупногабаритных трибосистем, который является одновременно адгезивом для нанесения покрытия, обеспечивающим достаточную прочность и адгезию. Получены результаты многокритериальной оптимизации в виде композиционного антифрикционного материала с матрицей холодного отверждения для тяжелонагруженных крупногабаритных узлов трения.

Подведены итоги выполненных теоретических исследований контактной температуры в зоне трения, численные результаты компьютерного моделирования и данные экспериментальных температурных исследований. Создан комплекс моделей, отражающих зависимость триботехнических параметров металлополимерной пары трения (коэффициент трения, температура контактной зоны, интенсивность изнашивания, ресурс) от эксплуатационных режимов нагружения трибосистем.

Проанализированы методика и результаты реализации многокритериальной (прочность, адгезия, вязкоупругие свойства, коэффициент трения, износ) оптимизации композиционного состава антифрикционного покрытия на основе симплексрешётчатых экспериментальных планов.

Произведены расчёты пороговой и фактической величины допустимой при эксплуатации покрытия температуры и установлена зависимость температуры зоны трения в исследуемой металлополимерной трибосистеме от режимов нагружения; компьютерное моделирование методом конечных элементов (комплекс COMSOL Multiphysics) распределения температуры в зоне контакта и прилегающих областях.

Установлен оптимальный состав полимерного матричного связующего холодного отверждения, обеспечивающий требуемые прочностные, адгезионные, вязкоупругие и триботехнические характеристики антифрикционных покрытий.

Определены параметры технологии нанесения антифрикционных покрытий на субстраты двух типов (сталь и медные сплавы) и определён диапазон рациональных нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации антифрикционных композиционных покрытий. Для инженерных расчётов антифрикционных полимерных композиционных покрытий получен комплекс интерполяционных регрессионных моделей, позволяющих определить следующие трибопараметры: ресурс, интенсивность изнашивания, коэффициент трения, температуру.

Промышленные испытания подшипников, разработанных по итогам исследований, проведённые на технологическом оборудовании Ростовского-на-Дону электровозоремонтного завода (РЭРЗ), позволили увеличить износостойкость узла трения на 22–23,5 %. Все экспериментальные исследования проводились по полнофакторным и симплексрешётчатым планам с последующей статистической обработкой результатов. Число параллельных опытов составляло не менее 3–5. Полученные результаты нашли применение при проведении исследований, выполненных при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 10-08-0077 А.

Специальность 05.02.04 – Трение и износ в машинах. Работа выполнена в Ростовском государственном университете путём сообщения.

Мачехин Н. Ю. Влияние низких температур на рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при техническом обслуживании автомобилей / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Омск: СибАДИ, 2019. – 20 с.

Разработано теоретическое обоснование повышения эффективности эксплуатации автомобилей на основе рационального выбора и определения рациональных сроков технического обслуживания их двигателей из-за особенностей условий эксплуатации при низких температурах. Выявлена зависимость изменения показателей работоспособности моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. Разработан алгоритм выбора моторного масла с учётом влияния низких температур на эксплуатацию автомобилей.

На основе выявленных зависимостей разработана методика определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей с учётом условий эксплуатации на основе показателя, наиболее значимого при оценке работоспособности моторного масла. Произведена экспериментальная оценка теоретических зависимостей. Проверена адекватность теоретических





и экспериментальных данных. Определён корректирующий коэффициент периодичности замены моторного масла. Проведена техническая оценка результатов исследования.

Разработан алгоритм предварительного выбора масла для смазывания силовой установки автомобилей на основе существующих классификаций с учётом климатических и эксплуатационных факторов; получены закономерности изменения основных показателей качества моторного масла и обоснованы наиболее значимые показатели для оценки его работоспособности при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур; разработана методика определения рациональных сроков технического обслуживания с учётом эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта. Работа выполнена в Сибирском государственном автомобильно-дорожном университете.

Петров А. А. Ходовые испытания грузовых вагонов с применением тензометрической колёсной пары / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2019. – 16 с.

Разработана математическая модель, позволяющая установить рациональные места размещения тензорезисторов на дисках колёсной пары, необходимое и достаточное их количество. Созданы и внедрены в практику проведения ходовых динамических и по оценке воздействия подвижного состава на железнодорожный путь испытаний устройства регистрации динамических сил, действующих вблизи пятна контакта системы «колесо–рельс».

Разработана ТКП, имеющая существенные отличия от всех известных в настоящее время аналогов, позволяющая регистрировать все три компоненты силового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь (вертикальные, боковые и продольные усилия), обеспечивать дискретность измерений с шагом 190 мм за один оборот колеса, регистрировать траекторию смещения пятна контакта по поверхности катания колеса.

Отработано применение беспроводной системы передачи информации (Wi-Fi) с вращающимися частями вагона (роторная часть – блок регистрации ТКП) к системе сбора и обработки данных (статорная часть – персональный компьютер, размещённый в вагон-лаборатории). Разработано программное обеспечение комплекса технических средств определения масштабов измерений, регистрации и обработки динамических процессов; апробированы методы оценки динамических качеств и воздействия подвижного состава на железнодорожный путь с применением ТКП.

Разработан аппаратно-программный комплекс (патент на изобретение № 2682567) регистрации и оценки результатов силового взаимодействия в системе «колесо–рельс» при ходовых испытаниях грузовых вагонов с применением ТКП, отличающийся регистрацией усилий в трёх направлениях и учётом положения пятна контакта колеса на рельсе.

Предложенная методика проведения ходовых динамических и по воздействию подвижного состава на железнодорожный путь испытаний с применением ТКП позволяет многократно увеличить объём статистически значимой регистрируемой информации. Созданный комплекс технических средств сбора информации позволяет оптимизировать существующие методы проведения испытаний, требующие наклейки тензометрических схем на рельсы железнодорожного пути, и отказаться от многократного проезда измерительных участков за счёт получения существенно большего объёма статистически значимой информации с помощью ТКП.

Достоверность результатов измерений силовых воздействий, регистрируемых с применением ТКП, подтверждена в результате проведения ходовых испытаний трёх типов вагонов, в которых была установлена удовлетворительная сходимость результатов, полученных с помощью ТКП и существующих методов исследований вагонов, расхождение не превышает 13 %.

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Рогов С. А. Интеллектуализация методов и алгоритмов управления технологическими процессами на сортировочных горках / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2019. – 16 с.

Разработан общий подход к интеллектуализации систем автоматизации сортировочного процесса (СП), развитию соответствующего инструментария исследования и функционирования сортировочных систем (СС).

Проделана работа по совершенствованию и систематизации понятийного аппарата исследования при выявлении и классификации факторов, обеспечивающих эффективность и безопасность СП. Проведена адаптация инструментария интеллектуализации производственных процессов для решения задач автоматизации сортировочных горок, разработаны алгоритмы и математический аппарат интеллектуализации управления скатыванием отцепов с сортировочной горки.

Создана авторская инновационная концепция развития СС. В её основу положены следующие принципы: преемственность различных вариантов исполнения системы, модульность и универсальность её блоков, адаптируемость технологии управления к изменяющимся условиям функционирования, интеллектуализация процессов управления, самодиагностика управляющего комплекса, дружественный человеко-машинный интерфейс подсистемы СППР и др. Структура и содержание разработанных моделей, методов и механизмов позволяет осуществить разработку технологических решений в разных вариантах модульного набора функциональных подсистем сортировочных комплексов, учитывающих местные условия и задачи и обеспечивающих системный подход к решению проблемы автоматизации СП. Усовершенствован категориальный аппарат исследования безопасности и живучести автоматизированных СС. Создана методика управления СП с учётом обеспечения живучести, безопасности и экономической эффективности сортировочного процесса.

Предложено синтезировать управляющие воздействия на основе учёта трёх базовых критериев: безопасности, живучести, экономической эффективности СС. Уточнен вид критерия экономической эффективности на основе учёта затрат на содержание системы. Доказано, что живучесть системы, обеспечивающей роспуск составов, является основой (первопричиной) технологической безопасности роспуска.

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт). Работа выполнена в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Стрекалов Н. Н. Автоматическая система регулирования температуры силовых полупроводниковых приборов тяговых преобразователей локомотивов / Дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2019. – 134 с.

Решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке автоматической системы плавного регулирования температуры силовых полупроводниковых приборов тягового преобразователя частоты за счёт применения энергоэффективного электропривода вентилятора охлаждения с асинхронным двигателем и изменения частоты коммутации силовых ключей.

В результате расчёта установлено, что температура полупроводниковых приборов двухуровневого автономного инвертора напряжения начинает превышать аналогичную температуру в трёхуровневом инверторе при частотах коммутации 4,5...5,5 кГц.

Синтезирована комбинированная АСРТ силовых полупроводниковых приборов тягового преобразователя частоты. Показано, что свойства замкнутой по температуре АСРТ описываются динамическим звеном четвёртого порядка при использовании П-регулятора и динамическим звеном пятого порядка при использовании ПИ-регулятора. Комбинированная АСРТ полупроводниковых приборов, обеспечивает уменьшение не только температуры, но и диапазона её изменения за счёт регулирования частоты коммутации полупроводниковых приборов.

Установлено, что увеличение мощности асинхронного двигателя и, соответственно, полупроводниковых приборов сдвигает диапазон рекомендуемых частот коммутации в сторону меньших значений. Для двигателя мощностью 14 кВт $f_p = 5\ldots36$ кГц, для двигателя мощностью 360 кВт $f_p = 1\ldots8$ кГц. На синтезированную систему получен патент на полезную модель.

Показано, что с точки зрения энергетической эффективности наиболее рационально применение электроприводов с асинхронными двигателями и преобразователями частоты для агрегатов с вентиляторной нагрузкой. Для минимизации мощности потерь синтезирована система управления с поддержанием заданного значения коэффициента мощности обмотки статора асинхронного двигателя, применение которой позволяет повысить КПД электропривода на 18 % по отношению к КПД электропривода с классической системой скалярного управления по закону М. П. Костенко.

Разработана и изготовлена лабораторная установка, содержащая силовой полупроводниковый модуль FF300R06KE3 с системой его управления, нагрузку в виде RL-цепочки, вентилятор охлаждения, приводимый во вращение асинхронным двигателем с полупроводниковым преобразователем частоты и подающий охлаждающий воздух на полупроводниковый модуль через гибкий воздуховод. Установка оборудована датчиками тока и температуры и многофункциональным модулем АЦП. Проведённые исследования показали адекватность разработанной математической модели установившихся и переходных тепловых процессов, а также работоспособность комбинированной автоматической системы регулирования температуры, с регулирующим воздействием по частоте коммутации силовых ключей. Максимальное рассогласование результатов, полученных теоретически и экспериментально, не превышает 9 %.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Работа выполнена в Российском университете транспорта. ●



ABSTRACTS of Ph.D. THESES

***Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Russian transport universities.
For the original Russian texts please see p. 265.***

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-265-270>

Bolshikh, I. V. Identification of metal-polymer tribosystems with a composite coating of cold hardening. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Identifikatsiya metallopolimernykh tribosistem s kompozitsionnym pokrytiem kholodnogo otverzheniya*. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2019, 22 p.

A cold hardening matrix compound for large tribosystems has been developed that is also a coating adhesive providing sufficient strength and adhesion. The results of multicriteria optimization in the form of a composite antifriction material with a cold hardening matrix for heavy-loaded large-sized friction units have been obtained.

Results of theoretical studies of the contact temperature in the friction zone, numerical results of computer modeling and data of experimental temperature studies are summarized. A set of models has been created that reflect the dependence of tribotechnical parameters of a metal-polymer friction pair (friction coefficient, contact zone temperature, wear rate, resource) on operating modes of tribosystem loading.

The technique and results of implementation of multicriteria (strength, adhesion, viscoelastic properties, coefficient of friction, wear) optimization of the compositional composition of antifriction coating based on simplex lattice experimental designs are analyzed.

Calculations were made of threshold and actual values permissible during operation of coating, temperature and of established dependence of temperature of the friction zone in the investigated metal-polymer tribosystem on loading conditions; computer simulation by the finite element method (COMSOL Multiphysics complex) of temperature distribution in the contact zone and adjacent areas was made.

The optimal composition of the polymer matrix binder of cold hardening has been established, which provides required strength, adhesive, viscoelastic and tribotechnical characteristics of antifriction coatings.

The parameters of the technology of applying antifriction coatings on two types of materials (steel and copper alloys) have been determined, and the range of rational load-speed modes of operation of antifriction composite coatings has been determined. For engineering calculations of antifriction polymer composite coatings, a set of interpolation regression models has been obtained, which make it possible to determine the following triboparameters: resource, wear rate, friction coefficient, temperature.

Industrial tests of bearings developed as a result of research carried out on the technological equipment of the Rostov-on-Don Electric Locomotive Repair Plant (RERZ) made it possible to increase wear resistance of the friction unit by 22–23.5 %. All experimental studies were carried out according to full-factorial and simplex-lattice designs with subsequent statistical processing of the results. The number of parallel experiments was no less than 3–5. The results obtained have found application in research carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of scientific project No. 10-08-00777 A.

Specialty 05.02.04 – Friction and wear in machines. The work was carried out at Rostov State Transport University.

Machekhin, N. Yu. Influence of low temperatures on the rational choice and frequency of replacement of engine oils in maintenance of cars. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Vliyanie nizkikh temperatur na ratsionalnyi vybor i periodichnost' zameny motornykh masel pri tekhnicheskem obsluzhivanii avtomobilei*. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Omsk, SibADI publ., 2019, 20 p.

A theoretical justification has been developed for increasing efficiency of vehicle operation based on a rational choice and determination of rational terms of maintenance of their engines due to peculiarities of operating conditions at low temperatures. The dependence of the change in the performance indicators of engine oils during vehicle operation at low temperatures was revealed. An algorithm has been developed for choosing engine oil, considering the effect of low temperatures on operation of vehicles.

Based on revealed dependencies, a method has been developed for determining the rational timing of engine oil replacement during vehicle maintenance, taking into account operating conditions on the basis of the indicator most

significant in assessing performance of engine oil. An experimental evaluation of theoretical dependences has been made. The adequacy of theoretical and experimental data has been verified. The correction factor for frequency of engine oil change has been determined. Technical assessment of the research results was carried out.

An algorithm has been developed for preliminary selection of oil for lubricating the power plant of cars based on existing classifications, taking into account climatic and operational factors; regularities of changes in the main indicators of quality of engine oil were obtained and the most significant indicators were substantiated for assessing its performance when operating cars at low temperatures; a method has been developed for determining the rational terms of maintenance, taking into account operation of vehicles at low temperatures.

Specialty 05.22.10 – Operation of road transport. The work was carried out at Siberian State Automobile and Highway University.

Petrov, A. A. Running tests of freight wagons using a tensometric wheel set. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Khodovie ispytaniya gruzovykh vagonov s primenaniem tenzometricheskoi kolesnoi pary. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2019, 16 p.

A mathematical model has been developed that makes it possible to establish rational locations for strain gauges on wheels of a wheel set, the necessary and sufficient number of them. Testing devices for recording dynamic forces acting near the contact patch of the «wheel–rail» system were developed and put into practice to carry out running dynamic tests and to assess the impact of rolling stock on a railway track.

A tensometric wheel set (TWS) has been developed, which has significant differences from all currently known analogues, which allows registering all three components of the force action of rolling stock on railway track (vertical, lateral and longitudinal forces), ensuring discreteness of measurements with a step of 190 mm per wheel revolution, registering the displacement trajectory of the contact patch over the rolling surface of the wheel.

The application of a wireless data transmission system (Wi-Fi) from the rotating parts of the wagon (the rotor part is the TWS registration unit) to the data collection and processing system (the stator part is a personal computer located in the laboratory wagon) has been tested. The software has been developed for a complex of technical means for

determining the scale of measurements, registration and processing of dynamic processes; methods for assessing dynamic qualities and the impact of rolling stock on the railway track using TWS have been tested.

A hardware and software complex (patent for invention No. 2682567) has been developed for registering and evaluating the results of force interaction in the «wheel–rail» system during running tests of freight wagons using TWS, which is distinguished by registration of efforts in three directions and taking into account the position of the wheel contact patch on the rail.

The proposed method for carrying out measuring of the running dynamic and of the impact of rolling stock on the railway track tests with the use of TWS allows to multiply the amount of statistically significant recorded information. The created set of technical means for collecting information allows to optimize the existing test methods that require sticking strain gauge diagrams on the rails of the railway track, and to abandon the multiple passage of the measuring sections due to the receipt of a significantly larger volume of statistically significant information using TWS.

The reliability of results of measurements of force effects recorded using the TWS was confirmed as a result of running tests of three types of wagons, in which a satisfactory convergence of the results obtained using TWS and existing methods of wagon research was established, the discrepancy does not exceed 13 %.

Specialty 05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification. The work was carried out at Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.

Rogov, S. A. Intellectualization of methods and algorithms for controlling technological processes on hump yards. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Intellektualizatsiya metodov i algoritmov upravleniya tekhnologicheskimi protsesami na sortirovochnykh gorkakh. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2019, 16 p.

A general approach has been developed to intellectualization of automation systems for the sorting process (SP), development of appropriate research tools and functioning of marshalling systems (MS).

Work has been done to improve and systematize the conceptual apparatus of study in identifying and classifying factors that ensure effectiveness and safety of the SP. The adaptation of the tools for intellectualization of production processes for



solving the problems of automation of hump yards was carried out, algorithms and the mathematical apparatus for intellectualization of control of rolling cuts from the hump yard were developed.

The author's innovative concept for development of the MS was created. It is based on the following principles: continuity of various versions of the system, modularity and versatility of its blocks, adaptability of control technology to changing operating conditions, intellectualization of control processes, self-diagnostics of the control complex, friendly human-machine interface of the DSS subsystem, etc. Structure and content of the developed models, methods and mechanisms allows development of technological solutions in different versions of a modular set of functional subsystems of sorting complexes, taking into account local conditions and tasks, and providing a systematic approach to solving the problem of SP automation. The categorical apparatus for investigating safety and survivability of automated MS has been improved. A methodology for managing the SP has been created, taking into account survivability, safety and economic efficiency of the sorting process.

It is proposed to synthesize control actions based on considering three basic criteria: safety, survivability, and economic efficiency of the MS. The type of criterion for economic efficiency has been clarified based on accounting for the costs of maintaining the system. It has been proved that survivability of the system that ensures dissolution of trains is the basis (the root cause) of technological safety of dissolution.

Specialty 05.13.06 – Automation and control of technological processes and production (transport). The work was carried out at Rostov State Transport University.

Strelkov, N. N. Automatic temperature control system of power semiconductor devices of traction converters of locomotives. Ph.D. (Eng) thesis [Avtomatischekaya sistema regulirovaniya temperatury silovykh poluprovodnikovykh priborov tyagovykh preobrazovatelei lokomotivov. Dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2019, 134 p.

An urgent scientific and technical problem has been solved, which consists in development of an automatic system for smooth temperature control of power semiconductor devices of a traction frequency converter through the use of an energy-efficient electric drive of a cooling fan with an asynchronous motor and changing switching frequency of power switches.

As a result of the calculation, it was found that temperature of semiconductor devices of a two-level autonomous voltage inverter begins to exceed the same temperature in a three-level inverter at switching frequencies of 4,5...5,5 kHz.

A combined automatic temperature control system (ATCS) of power semiconductor devices of a traction frequency converter has been synthesized. It is shown that the properties of a temperature-closed ATCS are described by a fourth-order dynamic link when using a P-controller and a fifth-order dynamic link when using a PI controller. Combined ATCS of semiconductor devices, provides a decrease not only in temperature, but also in the range of its change due to regulation of switching frequency of semiconductor devices.

It has been established that an increase in power of an induction motor and, accordingly, semiconductor devices shifts the range of recommended switching frequencies towards lower values. For a 14 kW motor $f_k = 5\ldots36$ kHz, for a 360 kW motor $f_k = 1\ldots8$ kHz. The synthesized system received a patent for a useful model.

It is shown that from the point of view of energy efficiency, it is most rational to use electric drives with asynchronous motors and frequency converters for units with a fan load. To minimize power losses, a control system was synthesized with maintaining a given value of the power factor of the stator winding of an asynchronous motor, the use of which makes it possible to increase efficiency of an electric drive by 18 % in relation to efficiency of an electric drive with a classical scalar control system according to the law of M. P. Kostenko.

A laboratory installation has been developed and manufactured containing a power semiconductor module FF300R06KE3 with its control system, a load in the form of an RL-chain, a cooling fan driven by an asynchronous motor with a semiconductor frequency converter and supplying cooling air to the semiconductor module through a flexible air duct. The unit is equipped with current and temperature sensors and a multifunctional ADC module. The conducted studies have shown adequacy of the developed mathematical model of steady and transient thermal processes, as well as operability of the combined automatic temperature control system, with a regulating effect on switching frequency of power switches. The maximum discrepancy between the results obtained theoretically and experimentally does not exceed 9 %.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification. The work was carried out at Russian University of Transport. ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

For the English list of the titles originally published in Russian please see p. 272.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-271-272>

Андреева Е. Н., Воронина Е. П., Зайдфудин П. Х. и др. Арктика в пространственном развитии Российской Федерации: проблемы управления: Монография. – СПб.: СЗИУ РАНХиГС, 2020. – 378 с. ISBN 978-5-89781-670-5.

Арисова М. Б., Подборнова Е. С., Тюковкин Н. М. Инновационные процессы в автомобилестроении России: Монография. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 186 с. ISBN 978-5-7883-1473-0.

Ахмеджанов Р. А., Бельский А. О. Конструктивные особенности двухосных трёхэлементных тележек грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2020. – 165 с. ISBN 978-5-949-41251-0.

Ботнарюк М. В., Ксензова Н. Н. Маркетинг. Менеджмент. Организация производственного процесса на морском транспорте: Учеб. пособие. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2020. – 86 с.

Бояринцев Б. И. Управление инфраструктурой: Монография. – М.: Макс Пресс, 2020. – 144 с. ISBN 978-5-317-06358-0.

Гринь Е. Н. Организация снегоборьбы на железных дорогах. – М.: Перео, 2020. – 119 с. ISBN 978-5-00150-894-6.

Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Тихомиров М. Е. Контроль и диагностика авионики: Учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2020. – 127 с. ISBN 978-5-8088-1476-9.

Котельников В. Р., Изотов Д. П., Зрелов В. А. Двигатели вертолётов России. – Рыбинск: Медиарост, 2020. – 325 с. ISBN 978-5-906071-37-8.

Кубышкин Н. В., Гудошников Ю. П., Скутин А. А. Обеспечение транспортных и грузовых операций на припайном льду: методическое пособие. – СПб.: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. – 87 с. ISBN 978-5-98364-097-9.

Лобынцев В. В. Сверхпроводниковые технологии в системах тягового электроснабжения: Монография. – М.: Курчатовский ин-т, 2020. – 247 с. ISBN 978-5-00150-964-6.

Лянденбурский В. В., Захаров Ю. А., Захаров Д. А., Марущенко С. П. Анализ и совершенствование ресурсосберегающих технологий на автомобильном транспорте: Монография. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2020. – 167 с. ISBN 978-5-9282-1662-7.

Макашева С. И., Пинчуков П. С. Качество электрической энергии: мониторинг, прогноз, управление: Монография. – Хабаровск: ДВГУПС, 2020. – 114 с. ISBN 978-5-262-00826-1.

Маслов В. А., Дзюбенко О. Л. Моделирование и прогнозирование загрязнений окружающей воздушной среды при аэродромных территориях выбросами воздушных судов: Монография. – М.: Русайнс, 2020. – 109 с. ISBN 978-5-4365-1563-2.

Матяш Ю. И., Семенов А. П., Брылова Т. Б., Кондратенко Е. В. Информационные технологии и системы диагностирования железнодорожных вагонов при производстве и ремонте: Монография. – М.: ВИНИТИ РАН, 2020. – 255 с.

Мигалин К. В., Сиденко К. А., Мигалин К. К. Эжекторные пульсирующие воздушно-реактивные двигатели. – Тольятти: Спектр, 2020. – 443 с. ISBN 978-5-906436-08-5.

Озナнец В. Б. Геодезическое обеспечение: Монография. – М.: Макс Пресс, 2020. – 229 с. ISBN 978-5-317-06307-8.

Попович В. А., Гаврикова Н. В. Проблемы мирового океана: (флот, спасение, судоподъём, судоремонт, экология). – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: ТрансЛит, 2020. – 592 с. ISBN 978-5-94976-137-3.

Рыбников А. М., Рыбникова И. А. Транспортно-перегрузочное оборудование в морских портах: Учеб. пособие. – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2020. – 114 с.

Саленко С. Д., Обуховский А. Д., Телкова Ю. В., Петошин В. И. Динамика полёта: практикум: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 105 с. ISBN 978-5-7782-4114-5.

Слободянник Т. М., Никитина О. А. Экономические аспекты рационального проектирования приводов горных машин: Монография. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2020. – 75 с. ISBN 978-5-9967-1934-1.

Экономика и государство: пробелы и перспективы развития: Сб. статей / Российский университет транспорта, Российская открытая академия транспорта; под ред. Т. М. Степанян. – М.: Макс Пресс, 2020. – 469 с. ISBN 978-5-317-06328-3.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●



NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 271.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-271-272>

Akhmedzhanov, R. A., Belsky, A. O. Design features of two-axle three-piece bogies of freight wagons of 1520 mm gauge railways [Konstruktivnie osobennosti dvukh-hosnykh trekhklementnykh telezhek gruzovykh vagonov zheleznykh dorog kolei 1520 mm]. 2nd ed., rev. and enl. Omsk, Omsk State Transport University, 2020, 165 p. ISBN 978-5-949-41251-0.

Andreeva, E. N., Voronina, E. P., Zaydfudin, P. Kh. [et al]. The Arctic in the spatial development of the Russian Federation: management problems: Monograph [Arktika v prostranstvennom razvitiyu Rossiiskoi Federatsii: problem upravleniya: Monografiya]. St. Petersburg, SZIURANEPA, 2020, 378 p. ISBN 978-5-89781-670-5.

Arisova, M. B., Podbornova, E. S., Tyukavkin, N. M. Innovative processes in the automotive industry in Russia: Monograph [Innovatsionnie protsessy v avtomobilestroenii Rossii: Monografiya]. Samara, Publishing House of Samara University, 2020, 186 p. ISBN 978-5-7883-1473-0.

Botnaryuk, M. V., Ksenzova, N. N. Marketing. Management. Organization of the production process in sea transport: Study guide [Marketing. Menedzhment. Organizatsiya proizvodstvennogo protsessa na morskom transporte: Ucheb. posobie]. Novorossiysk, SMU n.a. adm. F. F. Ushakov, 2020, 86 p.

Boyarintsev, B. I. Infrastructure Management: Monograph [Upravlenie infrastrukturoi: Monografiya]. Moscow, Max Press publ., 2020, 144 p. ISBN 978-5-317-06358-0.

Economy and state: problems and development prospects: Collection of articles [Ekonomika i gosudarstvo: problemy i perspektivy razvitiya: Sb. statei]. Russian University of Transport, Russian Open Academy of Transport; ed. by T. M. Stepanyan. Moscow, Max Press publ., 2020, 469 p. ISBN 978-5-317-06328-3.

Grin, E. N. Organization of snow fighting on railways [Organizatsiya snegoborby na zheleznykh dorogakh]. Moscow, Pero publ., 2020, 119 p. ISBN 978-5-00150-894-6.

Ivanov, Yu. P., Nikitin, V. G., Tikhomirov, M. E. Avionics control and diagnostics: Study guide [Kontrol' i diagnostika avioniki: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, GUAP, 2020, 127 p. ISBN 978-5-8088-1476-9.

Kotelnikov, V. R., Izotov, D. P., Zrelov, V. A. Russian helicopter engines [Dvigateli vertoletov Rossii]. Rybinsk, Mediarost publ., 2020, 325 p. ISBN 978-5-906071-37-8.

Kubyshkin, N. V., Gudoshnikov, Yu. P., Skutin, A. A. Provision of transport and cargo operations on fast ice: a methodological guide [Obespechenie transportnykh i gruzovykh operatsii na pripainom ldu: metodicheskoe posobie]. St. Petersburg, SSC RF AANII, 2020, 87 p. ISBN 978-5-98364-097-9.

Lobyntsev, V. V. Superconducting technologies in traction power supply systems: Monograph [Sverkhprovodnikovye tekhnologii v sistemakh tyagovogo elektrosvabzheniya: Monografiya]. Moscow, Kurchatov Institute, 2020, 247 p. ISBN 978-5-00150-964-6.

Lyandenburskiy, V. V., Zakharov, Yu. A., Zakharov, D. A., Marushchenko, S. P. Analysis and improvement of resource-saving technologies for road transport: Mono-

graph [Analiz i sovershenstvovanie resursosberegayushchikh tekhnologii na avtomobilnom transporte: Monografiya]. Penza, PGUAS Publishing House, 2020, 167 p. ISBN 978-5-9282-1662-7.

Makasheva, S. I., Pinchukov, P. S. The quality of electrical energy: monitoring, forecast, management: Monograph [Kachestvo elektricheskoi energii: monitoring, prognoz, upravlenie: Monografiya]. Khabarovsk, FESTU publ., 2020, 114 p. ISBN 978-5-262-00826-1.

Maslov, V. A., Dzyubenko, O. L. Modelling and forecasting of air pollution near aerodrome areas by aircraft emissions: Monograph [Modelirovaniye i prognozirovaniye zagryaznenii okruzhayushchimi vozdushnoi sredy pri aerodromnykh territorii vybrosovami vozdushnykh sudov: Monografiya]. Moscow, Rusays, 2020, 109 p. ISBN 978-5-4365-1563-2.

Matyash, Yu. I., Semenov, A. P., Brylova, T. B., Kondratenko, E. V. Information technologies and diagnostic systems for railway wagons during production and repair: Monograph [Informatsionnie tekhnologii i sistemy diagnostirovaniya zheleznodorozhnykh vagonov pri proizvodstve i remonte: Monografiya]. Moscow, VINITI RAS, 2020, 255 p.

Migalin, K. V., Sidenko, K. A., Migalin, K. K. Ejector pulsating air-jet engines [Ezhektornie pulsiruyushchie vozdushno-reaktivnie dvigateli]. Togliatti, Spekt publ., 2020, 443 p. ISBN 978-5-906436-08-5.

Oznamets, V. V. Geodetic support: Monograph [Geodesicheskoe obespechenie: Monografiya]. Moscow, Max Press publ., 2020, 229 p. ISBN 978-5-317-06307-8.

Popovich, V. A., Gavrikova, N. V. Problems of the World Ocean: (fleet, rescue, ship raising, ship repair, ecology) [Problemy mirovogo okeana: (flot, spasenie, subopod'em, sudoremont, ekologiya)]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, TransLit publ., 2020, 592 p. ISBN 978-5-94976-137-3.

Rybnikov, A. M., Rybnikova, I. A. Transportation equipment in seaports: Study guide [Transportno-peregruzochnoe oborudovaniye v morskikh portakh: Ucheb. posobie]. Novorossiysk, RIO SMU n.a. adm. F. F. Ushakov, 2020, 114 p.

Salenko, S. D., Obukhovsky, A. D., Telkova, Yu. V., Petoshin, V. I. Flight dynamics: workshop: Study guide [Dinamika poleta: praktikum: Ucheb. posobie]. Novosibirsk, Publishing house of NSTU, 2020, 105 p. ISBN 978-5-7782-4114-5.

Slobodyanik, T. M., Nikitina, O. A. Economic aspects of rational design of drives of mining machines: Monograph [Ekonomicheskie aspekty ratsionalnogo proektirovaniya privodov gornoikh mashin: Monografiya]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2020, 75 p. ISBN 978-5-9967-1934-1.

Compiled by N. OLEYNIK

Selected editions originally published in English

Cantarella, G., Watling, D., de Luca, S., Di Pace, R. Dynamics and Stochasticity in Transportation Systems. Tools for Transportation Network Modelling. Elsevier. 2019, 357 p. Paperback ISBN 9780128143537; eBook ISBN 9780128143544.

Dimitrakopoulos, G., Uden, L., Varlamis, I. The Future of Intelligent Transport Systems. Elsevier. 2020, 272 p. Paperback ISBN 9780128182819; eBook ISBN 9780128182826.

Maritime Transport and Regional Sustainability. Editors: Ng, A. K. Y., Monios, J., Jiang, Ch. Elsevier. 2019, 360 p. Paperback ISBN 9780128191347; eBook ISBN 9780128191354.

Parking. An International Perspective. Editors: Poganyi, D., Corcoran, J., Sipe, N., Mateo-Babiano, I., Stead, D. Elsevier. 2019, 296 p. Paperback ISBN 9780128152652; eBook ISBN 9780128152669.

АНЕКДОТ

НА ОБОЧИНЕ

• В поезде, идущем с трёхчасовым опозданием, проводник требует у пассажира билет.

— С какой стати я буду показывать вам билет? По расписанию я уже дома.

• Мужчина просит гадалку рассказать, что ждёт его в будущем. Гадалка раскинула карты и говорит:

— Предупреждаю, на вашем пути неожиданно встанет один человек!

— Вы лучше его предупредите — я водитель «КамАЗа»!

Транспортные мысли

• Когда становишься водителем, то одновременно становишься совершенно другим пешеходом.

• Оптимист избрёл колесо, а пессимист — запасное колесо.

• ГИБДД предупреждает: не ставьте в машину видеорегистратор! Судя по Интернету, больше всего аварий происходит там, где едет машина с видеорегистратором!

• «Времени вагон» плавно переходит в «поезд ушёл».





**World of Transport and
Transportation**

Vol. 18, Issue 1, 2020

Editor-in-Chief Boris Lyovin

For your letters:

Mir Transporta,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel/fax +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wtjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел/факс (495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wtjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >