

T

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

6²⁰¹⁹
Том / Vol. 17



**ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДЫ:
ЗДОРОВЫЙ ОБРАЗ ЖИЗНИ –
ЛЮДЯМ И ГОРОДУ**

**ELECTRIC BIKES:
HEALTHY LIFESTYLE
FOR PEOPLE AND THE CITY**



Стр./р. 186

ПЯТЫЙ ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС МСЖД ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ОБУЧЕНИЮ

В Рабате (Марокко) 9–11 октября 2019 года прошёл Пятый Всемирный конгресс МСЖД по железнодорожному обучению, организованный на базе Института железнодорожного обучения, созданного совместно национальным управлением железнодорожного транспорта Марокко и французской национальной компанией железных дорог.

В мероприятии приняли участие более 230 человек из более чем 30 стран Азиатско-Тихоокеанского региона, Европы, Ближнего Востока и Африки.

На открытии выступили министр транспорта Марокко Абделькадер Амара, генеральный директор национального управления железнодорожного транспорта Марокко и председатель Африканского региона МСЖД Мохаммед Раби Хлие, председатель МСЖД Джанлуиджи Витторио Кастелли, руководитель отдела развития талантов и компетенций МСЖД Натали Амиро, председатель платформы талантов и компетенций МСЖД Эстер Маркони и другие представители международного железнодорожного сообщества.

Франсуа Давенн, генеральный директор МСЖД, в видеообращении обратил внимание



на быстро меняющуюся ситуацию, влияющую на профессии и компетенции и требующую кардинальных изменений традиционной культуры обучения.

В ходе конгресса, в котором принимали участие делегации ОАО «РЖД» и Российского университета транспорта, обсуждался широкий круг актуальных вопросов, связанных с развитием современных технологий управления персоналом, образования и обучения для повышения эффективности деятельности железнодорожной отрасли и реализации её кадрового потенциала.

Соб. инф., фото МСЖД ●

5TH EDITION OF THE UIC WORLD CONGRESS ON RAIL TRAINING

Rabat (Morocco) hosted on October 9–11, 2019 the 5th edition of the UIC World Congress on Rail Training organised in partnership with IFF (Institut de Formation Ferroviaire – the Railway Training Institute) jointly created by ONCF and SNCF.

The Congress brought together over 230 participants from more than 30 different countries from Asia-Pacific, Europe, Middle East and Africa.

The inauguration session was attended by Abdelkader Amara, Morocco's Transport Minister, Mohamed Rabie Khlie, ONCF Director General and Chairman of the UIC African Region, Gianluigi Vittorio Castelli, UIC Chairman, Nathalie Amirault, Head of the UIC Talent and Expertise Development Unit, Ester Marconi,

chairwoman of the TEDP, and other representatives of international railway community.

François Davenne, UIC Director General, through a video message spoke about the rapidly changing situation having an impact on the professions and competences which call for a drastic change in our traditional learning culture.

The Congress which was attended by the delegations of JSC Russian Railways and of Russian University of Transport discussed a wide range of topical issues related to modern technology of human resources management, education and training, that would contribute to growing efficiency of railways and to implementation of its human capacity.

Own information, UIC image ●

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

6²⁰¹⁹
(85)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён 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 Объединённого учёного совета ОАО «РЖД»

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Неопределённость будущего как фундаментальная проблема долгосрочного развития транспорта. 6

*Олег КАРСЕВ, Максим ЖЕЛЕЗНОВ,
Алексей БЕЛОШИЦКИЙ, Егор ШИТОВ*

Приоритеты научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации: зарубежный опыт 20

НАУКА И ТЕХНИКА

Олег КРАСНОВ, Андрей НЕДБАЙЛО

Исследование геометрических параметров режущего инструмента рельсофрезерного поезда 38

*Владимир ПОПОВ, Анна МАТЕШЕВА,
Филипп СУХОВ, Юлия БОЛАНДОВА*

Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок 50

Виталий МИНАКОВ, Валентин ФОМЕНКО

Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов. 62

Любовь СЛАДКОВА, Алексей НЕКЛЮДОВ

Конструктивное решение и методика исследования нагруженности колёсных пар 74

Игорь ЛАКИН, Александр СЕМЕНОВ, Игорь ХРОМОВ

Направления повышения эффективности эксплуатации локомотивов 82

ЭКОНОМИКА

Виктор ПОДСОРИН, Роман МАРТЫШКИН

Оценка проектов развития сети железных дорог с учётом экономической конъюнктуры. 94

Алексей ТАРАСОВ

Долговые инструменты фондирования транспортных лизинговых компаний 112

Анастасия ИВАСЕНКО, Елена НЕФЕДЬЕВА

Обеспечение качества в системе транспортного обслуживания во внутренней среде железнодорожного транспорта и роль диагностических средств. 130

Алексей ТЯПУХИН

Устойчивость систем поставок ресурсов 142

Вячеслав СОЛОВЬЕВ

Экономические предпосылки оценки сфер применения искусственных сооружений на транспорте. 166

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», 2019

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Дмитрий ЗАВЬЯЛОВ, Ольга БЫКОВА*
Электровелосипеды в городской среде: перспективы и ограничения применения в мегаполисах 186
- Михаил ГРЯЗНОВ, Кирилл ДАВЫДОВ*
Увеличение скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах 202
- Сергей АНДРОНОВ*
Гравитационное моделирование каршеринга на базе РТУ Visum 222
- Нина КОВАЛЕНКО, Александр БОРОДИН, Кирилл ТАРАСОВ*
Факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп» 242
- Надежда ФИЛИППОВА, Роман ЗАЙКИН, Дмитрий ЕФИМЕНКО*
Дистанционная оценка процесса перевозок автомобильным транспортом 258

БЕЗОПАСНОСТЬ

- Максим КУДРЯШОВ, Радион АЙРИЕВ*
Показатели качества перевозок пассажиров автобусами: организация инструментального исследования дополнительных экологических и санитарно-гигиенических факторов 272
- Максим СЕМЕНОВ*
Совершенствование механизмов обеспечения экономической безопасности транспортного комплекса 286

КОЛЕСО ИСТОРИИ

- Марина ПОТЁМКИНА, Михаил ГРЯЗНОВ, Татьяна ПАШКОВСКАЯ, Егор ТИМОФЕЕВ*
Роль трамвайного движения в формировании транспортной системы Магнитогорска 310
- Пресс-архив. Инженерная мысль 110 лет назад: тоннели, вагоны, зелёная энергетика. 327

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

- Авторефераты диссертаций 332
- Новые книги о транспорте 336
- Содержание номеров журнала «Мир транспорта», вышедших в 2019 году в том 17 339

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

- Новая глобальная сеть космической погоды для авиации 73
- Самый долгий сезон велопроката в Москве 201

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: Книжная типография «Буки Веди». 115093, г. Москва, Партийный переулок, д. 1, корп. 58, стр. 2. 8 (495) 926-63-96, <http://bukivedi.com>, Info@bukivedi.com

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://mirtr.elpub.ru>, с условиями публикации – на сайте <https://mirtr.elpub.ru>, или на web-сайте Российского университета транспорта по адресу: <http://www.mii.ru>.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 17²⁰¹⁹
Iss. 6

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

Nikolay 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. Kuanyshev,
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 Duc 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

- Dmitry A. MACHERET*
Uncertainty of the Future as a Fundamental Problem of the Long-Term
Development of Transport 13
- Oleg I. KARASEV, Maxim M. ZHELEZNOV,
Alexey V. BELOSHITSKY, Egor A. SHITOV*
Priorities of Scientific and Technological Development of the Railway
Industry in the Context of Digitalization: International Expertise 29

SCIENCE AND ENGINEERING

- Oleg G. KRASNOV, Andrey V. NEDBAYLO*
The Study of Geometric Parameters of Cutting Tool
of a Rail-Milling Train 44
- Vladimir G. POPOV, Anna V. MATESHEVA,
Philip I. SUKHOV, Yulia K. BOLANDOVA*
Conditions Leading to Overturning of Empty Containers
under the Influence of Wind Load. 56
- Vitaly A. MINAKOV, Valentin K. FOMENKO*
Machine Vision Technology for Locomotives
to Identify Railway Colour-Light Signals 68
- Lyubov A. SLADKOVA, Alexey N. NEKLYUDOV*
Design and Methodology for Studying Wheelset Load 78
- Igor K. LAKIN, Alexander P. SEMENOV, Igor Yu. KHROMOV*
Opportunities to Increase Efficiency of Locomotives' Operation 88

ECONOMICS

- Victor A. PODSORIN, Roman V. MARTYSHKIN*
Evaluation of Railway Network Development Projects
Considering Economic Conditions 103
- Alexey A. TARASOV*
Debt Instruments of Transport Leasing Companies Funding 122
- Anastasia A. IVASENKO, Elena V. NEFEDYEVA*
Ensuring Service Quality within Internal Environment
of Railway Transport and the Role of Diagnostic Tools 136
- Alexey P. TYAPUKHIN*
Sustainability of Resource Supply Systems 154
- Vyacheslav V. SOLOVYOV*
Economic Prerequisites for Assessing the Scope of Application
of Transport Engineering Structures 176

EDITORIAL BOARD

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

BOARD MEMBERS

Evgeny S. ASHPIZ,
D.Sc. (Eng), associate professor
of Russian University of Transport
Leonid A. BARANOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport
Alexander M. BELOSTOTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport
Galina V. BUBNOVA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian
University of Transport
Yuriy A. BYKOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport
Victor S. FEDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport
Vladimir M. FRIDKIN,
D.Sc. (Eng), senior researcher
of Russian University of Transport
Victor A. GRECHISHNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor
of Russian University of Transport
Valeriy I. KONDRASHENKO,
D.Sc. (Eng), senior researcher
of Russian University of Transport
Alexey A. LOKTEV,
D.Sc. (Phys.-Math.),
professor of Russian University
of Transport
Svyatoslav Y. LUTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian
University of Transport
Oleg E. 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
© 2019. All rights reserved.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

- Dmitry V. ZAVYALOV, Olga N. BYKOVA*
Electric Bicycles in the Urban Environment: Prospects
and Constraints for Use in Megalopolises. 194
Mikhail V. GRYAZNOV, Kirill A. DAVYDOV
Increase in Speed of Regular Urban Bus Traffic. 212
Sergey A. ANDRONOV
Gravity Modelling of Car Sharing Based on PTV Visum. 233
Nina A. KOVALENKO, Alexander A. BORODIN, Kirill A. TARASOV
Factors Determining the Size and Norms for Securing
Barrier Wagon Groups. 250
Nadezhda A. FILIPPOVA, Roman N. ZAIKIN, Dmitry B. EFIMENKO
Remote Evaluation of Road Transportation Process. 265

SAFETY AND SECURITY

- Maxim A. KUDRYASHOV, Radion S. AIRIEV*
Bus Passenger Transportation Quality Indicators:
Organization of Instrumental Research of Additional Environmental
and Sanitary Factors. 279
Maxim A. SEMENOV
Improving the Mechanisms to Ensure Economic
Security of the Transport System. 298

HISTORY WHEEL

- Marina N. POTYOMKINA, Mikhail V. GRYAZNOV,
Tatyana G. PASHKOVSKAYA, Egor A. TIMOFEEV*
Role of Tram Transit in Formation of Magnitogorsk
Transportation System (1930–1955). 319
Press Archives. Engineering Ideas 110 Years Ago:
Tunnels, Wagons, Green Power Generation. 329

BIBLIO-DIRECTIONS

- Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses. 334
New Books on Transport and Transportation. 337
Contents of the issues of World of Transport
and Transportation Journal published in Vol. 17 (2019). 346

EXPRESS INFORMATION

- New Global Aviation Space Weather Network. 73
The Longest Season of Bike-Sharing in Moscow. 221

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 media page of the Web site of Russian University of Transport at http://miit.ru/portal/page/portal/en/about/media/world_of_transport and 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 part of Russian scientific citation index system.

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.

T

РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТА 6

Насколько неопределённость мешает добиться надёжных прогнозов.



ЦИФРОВИЗАЦИЯ 20

Ключевые технологии для железнодорожного транспорта: что предлагается и что выбрать.



DEVELOPMENT OF TRANSPORT 13

Uncertainty prevents to develop reliable forecasts, does it?



DIGITALIZATION 29

Key technologies for railways: what is suggested and what shall we choose?



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY





Неопределённость будущего как фундаментальная проблема долгосрочного развития транспорта



Мачерет Дмитрий Александрович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Статья посвящена рассмотрению проблемы долгосрочного развития транспорта в условиях неопределённости, являющейся фундаментальной характеристикой условий человеческой деятельности. Цели – раскрыть специфику «эффекта колеи» в сфере транспорта, показать фундаментальный характер проблемы неопределённости человеческой деятельности и её особую значимость для развития транспорта, предложить методологическую основу для смягчения проблемы неопределённости при долгосрочном развитии транспорта.

В рамках реализации поставленных целей с использованием исторического анализа показано, что развитие транспортных систем формирует специфическую разновидность «эффекта колеи», оказывая существенное долгосрочное влияние на будущее не только самого транспорта, но и других отраслей экономики, на развитие демографических и иных общественных процессов.

Размещение населения, развитие производственных мощностей, выбор мест отдыха приспособляются к сложившейся транспортной сети. Принятые решения по размещению объектов транспортной инфраструктуры, формированию конфигурации транспортных сетей, использованию тех или иных вариантов технических решений оказывают

весьма существенное влияние и на будущее самого транспорта.

Отмечено, что в связи с этим желательно уменьшить неопределённость будущего транспорта. Неопределённость – это не абсолютная неизвестность. Хотя будущее нельзя предугадать точно, его можно предсказывать с некоторой вероятностью. Необходимо, в полной мере понимая невозможность достижения полной определённости в прогнозировании будущего, хотя бы на качественном уровне оценивать вероятность этих прогнозов, стремиться к её повышению и осуществлять развитие транспортных систем с учётом большей или меньшей вероятности тех или иных прогнозов.

Для этого рекомендуется использовать логико-аналитический метод в качестве основы прогнозирования долгосрочного развития, выявлять и принимать во внимание как долгосрочные тенденции развития транспорта, так и, с помощью форсайта и предиктивной аналитики, – новые, только зарождающиеся тенденции. При этом важным условием является возможность выработки и реализации различных альтернатив в качестве реакции на возникающие вызовы, что требует развития конкурентной и инновационной среды как в сфере транспорта, так и в смежных сферах экономической деятельности.

Ключевые слова: транспорт, инфраструктура, инвестиции, «эффект колеи», неопределённость, прогресс, долгосрочное развитие.

*Информация об авторе:

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российского университета транспорта, Москва, Россия, macheretda@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 11.04.2019, принята к публикации 22.10.2019.

For the English text of the article please see p. 13.

Средства транспорта, а также, и особенно, — транспортная инфраструктура, характеризуются высокой капиталоемкостью и длительностью жизненного цикла. Одним из подтверждений этого являются установленные сроки их полезного использования. Например, для земляного полотна железных дорог они составляют 100 лет, железнодорожных платформ и скоростных поездов — до 40 лет, локомотивов и грузовых вагонов — до 28 лет.

При этом инвестиции в сфере транспорта и особенно, опять же, инвестиции в транспортную инфраструктуру окупаются медленнее, чем во многих других отраслях. Если обратиться к примеру России, то примечательно, что в условиях централизованно планируемой экономики нормативный срок окупаемости инвестиций на транспорте был продолжительнее, чем в промышленности [1, с. 52]. В дальнейшем эта проблема не только не исчезла, но и усугубилась. Так, по оценкам Б. М. Лапидуса, «жесткое государственное регулирование тарифов с занижением их индексации» привело к тому, что только за период 2000—2013 годов «условия для окупаемости инвестиций в железнодорожную инфраструктуру ухудшились примерно вдвое» [2, с. 4]. С тех пор улучшения этих условий не произошло.

В то же время, и это общемировая закономерность, экономическая и социальная значимость транспортной инфраструктуры очень высока. Транспортная инфраструктура способна генерировать сверхдолгосрочные, «вековые» социально-экономические эффекты [3, с. 76—77]. Конечно, только в том случае, если эта инфраструктура, с учётом необходимой модернизации, будет востребована на протяжении столь продолжительного периода.

В настоящем исследовании поставлены следующие цели:

- раскрыть специфику «эффекта колеи» в сфере транспорта, обуславливающего высокую значимость принимаемых долгосрочных решений не только для самой отрасли, но и для экономики в целом, для социального развития;
- показать фундаментальный характер проблемы неопределённости челове-

ской деятельности и её особую значимость для развития транспорта с учётом длительной реализации капиталоемких транспортных проектов и формирования ещё более долгосрочных эффектов в результате их реализации;

- предложить методологическую основу для смягчения проблемы неопределённости при принятии решений, касающихся долгосрочного развития транспорта.

Для достижения поставленных целей использованы логико-аналитический метод и метод исторического анализа; обоснована необходимость сочетания методов форсайта и предиктивной аналитики с технико-экономическими расчётами.

Данная работа является в определенной мере логическим продолжением и одним из обобщений комплекса исследований автора, посвящённых вопросам развития транспорта [в частности, 3; 5—6; 8—9; 14; 23—26; 37—38].

«ЭФФЕКТ КОЛЕИ»

При оценке долгосрочного развития транспорта нужно учитывать и такое явление, как *«path dependence»* — «эффект колеи». Это термин из институциональной теории, подразумевающий зависимость развития общества от прошлого пути, институциональную инерцию [4, с. 117]. Но развитие общества и экономики зависит не только от «институциональной колеи», но и от «колеи транспортной» — сложившейся технологии перевозок, географии путей сообщения, расположения транспортных терминалов и т.п. Размещение населения, развитие производственных мощностей, выбор мест отдыха приспособляются к сложившейся транспортной сети.

Уже в глубокой древности города как хозяйственные, общественные и культурные центры возникали и развивались на водных и сухопутных транспортных путях и особенно на пересечении таких путей [5, с. 231].

В Средние века в Западной Европе в условиях деградации римской дорожной сети «в упадок приходили сухопутные торгово-транспортные узлы, уступая место расположенным на берегах рек» [6,





с. 229]. Соответственно, перекраивалась и география западноевропейских городов [7, с. 36–37]. В свою очередь, «большинство древнерусских городов возникло на стратегически значимых отрезках речных сообщений, в том числе — в местах волоков, где суда перетаскивали по суше с одной реки до другой» [6, с. 229].

Прокладка пионерных железных дорог в восточных регионах России и западных регионах США в XIX и начале XX века существенно повлияла на экономические и демографические процессы. Так, в настоящее время все крупнейшие города Сибири и Дальнего Востока расположены на главном ходу Транссиба, а самый значимый из них — Новосибирск — возник благодаря строительству этой самой протяжённой железнодорожной магистрали [8]. В то же время такие важные в прошлом сибирские города, как Тобольск и Томск, оказавшиеся в стороне от магистрального железнодорожного маршрута, утратили своё былое значение [9, с. 165].

В США «каждая железная дорога, желая повысить прибыли, стоимость земли и вложенного капитала делала всё возможное, чтобы привлечь иммигрантов и обеспечить экономическое развитие на сопредельных территориях. И это вызывало активный отклик, люди снимались с места и переселялись в города, порты и на земли, обслуживаемые конкурирующими железными дорогами» [10, с. 231].

Оценки, выполненные нобелевским лауреатом по экономике Робертом Фогелем, показали, что в случае отсутствия в США железных дорог и при развитии других видов транспорта, прежде всего — внутреннего водного, региональное размещение производительных сил и населения было бы совершенно иным [11; 12].

Городские планировочные решения, принимавшиеся многие десятилетия назад, а иногда уходящие в глубь веков, также вынуждают приспособляться к ним сегодняшние транспортные средства и пользующихся ими людей. При этом возможности такой адаптации, как правило, ограничены и не позволяют обеспечить высокую скорость и удобство пользования транспортом, порождая транспортные «пробки», завышение вре-

мени поездок, и, что не менее важно, неопределённость их продолжительности [13; 14]. Публикуемый ежегодный рейтинг городов с наиболее загруженными дорогами свидетельствует о том, что во многих из них каждый водитель теряет в год в пробках более 100 и даже 200 часов, а средняя скорость движения автомобильных потоков в центре города не превышает 20 км/час [15].

Принятые решения по размещению объектов транспортной инфраструктуры, формированию конфигурации транспортных сетей, использованию тех или иных вариантов технических решений оказывают весьма существенное влияние и на будущее самого транспорта.

Так, выбор мест для строительства аэропортов на многие годы обуславливает маршруты авиалиний, а решения о размещении сортировочных станций на железных дорогах определяют организацию поездопотоков.

Хронологическое первенство использования на железных дорогах электрификации на постоянном токе и простота конструкции электровозов постоянного тока обусловили её широкое применение во многих странах, в том числе и в нашей стране [16, с. 44]. Оно сохраняется до сих пор, несмотря на успешное развитие во второй половине XX века электрификации на переменном токе, обладающей существенными технико-экономическими преимуществами [17, с. 212]. Ведь изменение системы электрификации требует громадных капиталовложений, и это определяет выбор в пользу продолжения эксплуатации систем постоянного тока и их модернизации.

В США, где в силу разных причин электрификация железных дорог развития не получила и доминирует тепловозная тяга, не были реализованы и существенные экономические и экологические эффекты от электрификации. С другой стороны, в период динамичного развития контейнеризации перевозок отсутствие на североамериканских железных дорогах электрической контактной сети позволило довольно легко организовать перевозки контейнеров в два яруса. Это кардинально снизило себестоимость контейнерных перевозок и повысило конкурен-

госпособность железных дорог на рынке транспортировки высокоценных товаров [18, с. 7].

Показательным примером является выбор ширины железнодорожной колеи. При строительстве первых железных дорог «мало кто думал, что ширину колеи следует выбирать исходя из создания единой сети железных дорог в одной стране или тем более на целых континентах. Казалось, что это вопрос далёкого будущего» [16, с. 73]. Разные железные дороги в одной и той же стране могли иметь разную ширину колеи. Например, на родине железных дорог — в Великобритании — использовалось пять видов ширины колеи. Когда отдельные железнодорожные линии стали соединяться в единые сети, такая «разноколейность» стала, естественно, вызывать большие неудобства в организации перевозочного процесса, замедляя и удорожая доставку товаров и поездки пассажиров.

В Великобритании вопрос о переходе на единую ширину колеи был решён парламентом принятием специального закона в 1846 году. В США, где «в конце 1860-х годов... применялись 12 вариантов ширины колеи» [19, с. 108], унификация ширины колеи была осуществлена лишь в 1880-е годы на основе длительных переговоров между субъектами железнодорожной отрасли и заключения «Конвенции о введении единой ширины колеи железных дорог США» [16, с. 75]. С учётом того, что в стране к тому времени была создана масштабная железнодорожная сеть, перейти на единую ширину колеи пришлось около 21 тыс. км путей, заменить тысячи вагонов и локомотивов [16; 19].

Понятно, что чем более сложными и капиталоемкими становились железнодорожная инфраструктура и подвижной состав, тем труднее и дороже было осуществлять унификацию ширины колеи. В наши дни проблема стыковки железных дорог с разной шириной колеи решается за счёт использования совмещённой колеи, перегрузки грузов из одних вагонов в другие, смены тележек вагонов и применения колёсных пар с изменяющейся шириной колеи.

Таким образом, развитие транспортной инфраструктуры (а значит, и подвиж-

ного состава, которое должно быть, так или иначе, гармонизировано с развитием инфраструктуры [17]) в силу высокой капиталоемкости и длительности жизненного цикла формирует специфическую разновидность «эффекта колеи», то есть оказывает значимое долгосрочное влияние как на развитие самого транспорта, так и на развитие других отраслей экономики, демографические и другие общественные процессы.

Поэтому выбор тех или иных вариантов сооружения транспортной инфраструктуры (железная дорога, автодорога или канал), использования технических решений (например, дизельный или электрический двигатель) влечёт за собой долговременные последствия для эффективности не только отраслевого, но и общего социально-экономического развития. В силу этого такой выбор крайне ответственен, и было бы весьма желательным, если бы он основывался на достоверной оценке этих долговременных последствий.

ПРОГРЕСС И НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ

Однако, как указывал нобелевский лауреат Ф. А. фон Хайек, «...прогресс состоит в открытии ещё не познанного, его последствия по необходимости должны быть непредсказуемыми», он «по своей природе не поддаётся планированию» [20, с. 63–64].

Эту мысль фактически развивает ректор РАНХиГС при Президенте Российской Федерации В. А. Мау: «...В том-то и состоит «прелесть»... прогресса, что заранее почти ничего сказать нельзя» [21, с. 247]. Учёный подчёркивает «ограниченность возможностей человека делать однозначные выводы стратегического характера, основываясь на собственном опыте и здравом смысле». «Мы не знаем и принципиально не можем знать», что окажется «источником прорыва в будущем...» [21, с. 250]. Приведённый выше пример организации в США высокоэффективных двухъярусных перевозок контейнеров при отсутствии электрификации железных дорог — хорошее тому подтверждение (безусловно, данный пример не свидетельствует о принципиальной нецелесообразности электрифи-



кации, а лишь показывает, что развитие, казалось бы, менее совершенной, тепло-возной тяги может иметь результатом столь позитивные, хотя скорее всего непреднамеренные последствия).

Непредсказуемость прогресса, всех возможных долгосрочных последствий принимаемых решений является следствием фундаментальной проблемы неопределённости будущего. «Неопределённость будущего уже подразумевается самим понятием деятельности. ...Фактом остаётся то, что от действующего человека будущее скрыто. ...Мы можем практически предсказать работоспособность машины, сконструированной по правилам научной технологии. Но создание машины — только часть более широкой программы, нацеленной на обеспечение потребителей продукции этой машины. ...Степень определённости относительно технологического результата создания машины, какой бы высокой она ни была, не исключает высокой неопределённости, присущей всей деятельности. Будущие нужды и оценки, реакция людей на изменение обстоятельств, будущие научные и технологические знания ...невозможно предсказать иначе, чем с большей или меньшей долей вероятности» [22, с. 101–102].

Приведённая обширная цитата очень важна для понимания проблемы. Неопределённость — фундаментальная характеристика будущего, связанная с самим характером человеческой деятельности, и никакое развитие математических моделей, способов и объёмов переработки информации не способно эту неопределённость полностью преодолеть, сформировав высоко достоверные прогнозы.

СМЯГЧЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Но неопределённость — это не абсолютная неизвестность. Будущее нельзя предугадать точно, но его можно предсказывать с некоторой («большей или меньшей») вероятностью. Эта вероятность априори тоже является неопределённой, но понятно, что чем более отдалённая перспектива и чем более широкий спектр последствий рассматриваются, тем вероятность предугадывания меньше. Для масштабных проектов развития

транспортной инфраструктуры, для принципиальных решений, формирующих базисные инновации в области транспортной техники, которые порождают долгосрочные экономические и социальные последствия в самых разных областях, вероятность прогнозирования этих последствий скорее меньшая, чем большая. Однако, подчеркнём ещё раз, это не абсолютная неизвестность. Необходимо, в полной мере понимая невозможность достижения полной определённости в прогнозировании будущего:

- во-первых, хотя бы на качественном уровне оценивать вероятность осуществления этих прогнозов;
- во-вторых, стремиться к повышению их достоверности;
- в-третьих, осуществлять развитие транспортных систем с учётом большей или меньшей вероятности реализации тех или иных прогнозов. Ведь «...только потому, что мы умеем, и в той мере, в какой умеем предсказывать события или хотя бы оценивать их вероятность, мы способны достигать чего-либо» [20, с. 170].

Ключевое значение для смягчения проблемы неопределённости может иметь использование логико-аналитического метода [23; 24] и получение на его основе логических прогнозов долгосрочного развития (пример такого прогноза для транспорта показан в работе [25]). При этом важно, с одной стороны, выявление сверхдолгосрочных тенденций развития транспорта, таких как рост скорости перевозок [26; 27] или их дальности [28], которые, вероятно, сохранятся и в перспективе. А с другой, необходимо оценивать перспективность только-только зарождающихся новых тенденций и явлений, прежде всего в сфере техники и технологий. Для этого, в частности, можно использовать форсайт, который «предполагает выявление слабых сигналов развития новшеств и обладает возможностью «приближать» наступление будущего» [29, с. 27], а также научный инструментарий предиктивного управления [30]. При оценке экономической перспективности транспортных инноваций необходимо определять, на какие глобальные социально-экономические вызовы они отвечают, и как их реализа-

ция скажется на ключевых показателях деятельности транспорта [31; 32].

С учётом того, что, как отмечено выше, будущее можно предсказывать лишь с некоторой, большей или меньшей, вероятностью, важным является наличие максимального числа альтернативных вариантов ответа на вызовы, формируемые как долгосрочными тенденциями развития, так и возникающими «слабыми сигналами». А для этого, в свою очередь, необходима как конкуренция разработчиков и производителей транспортной техники и технологий, так и развитие конкурентной среды в самой транспортной отрасли [33; 34]. Условия для развития такой среды в будущем закладываются в том числе принимаемыми сегодня решениями о реализации инфраструктурных проектов. В связи с этим можно привести пример России, отметив, что утверждённый правительством Комплексный план развития магистральной инфраструктуры [35] охватывает проекты, относящиеся к разным видам транспорта, в том числе дающие альтернативу потребителям транспортных услуг. Например, предусмотрена как высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва—Казань¹ с перспективой продления до Екатеринбурга и далее, так и скоростная автодорога Москва—Нижний Новгород—Казань.

Представляется, что реализация таких крупных проектов развития магистральной инфраструктуры должна дополняться развитием инфраструктуры местной, чтобы сделать транспортные магистрали общедоступными для разных экономических субъектов. Такие локальные проекты должны реализовываться силами частного капитала с участием регионов и муниципалитетов, что требует развития институциональной среды, улучшения инвестиционного климата и расширения финансовых возможностей регионов.

Одним из возможных путей для снижения неопределённости рассчитанных на долгосрочную перспективу технических решений может стать сокращение

¹ В Комплексном плане предусмотрено сооружение её пилотного участка: Железнодорожный—Гороховец, с организацией движения от Москвы до Нижнего Новгорода.

продолжительности жизненного цикла транспортных объектов, в том числе инфраструктурных, что потребует соответствующего сокращения нормативных сроков их полезного использования и увеличения норм амортизационных отчислений. Подобный подход требует глубокой всесторонней технико-экономической оценки. Представляется, что он должен быть увязан с идеей «экономики замкнутого цикла», предполагающей «непрерывный цикл переработки материалов, соединяющий старую и новую продукцию» [36, с. 224–225]. Это будет способствовать повышению экологичности экономической деятельности, а, кроме того, снизит риски роста ликвидационных затрат за значительные периоды времени в случае сокращения продолжительности жизненного цикла основных средств транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неопределённость будущего, являясь фундаментальным свойством человеческой деятельности, особенно значима для долгосрочного развития транспорта. Для того чтобы смягчить проблему неопределённости и повысить вероятность предсказания будущего транспорта, необходимо изучение как особенностей проявления на транспорте общих законов человеческой деятельности, в том числе — экономических законов [37], так и специфических законов развития транспорта [38], а также проявляющихся в рамках этого развития долгосрочных тенденций и «слабых сигналов», свидетельствующих о зарождении новых явлений и тенденций. Особое значение имеет выявление и изучение закономерностей инновационного развития транспорта [39; 40].

При этом нужно отдавать себе отчёт в том, что неопределённость таит в себе не только риски нереализации намеченных целей, но и возможности открытия новых, в настоящее время неизвестных и непредсказуемых путей их достижения. Для того чтобы эти возможности не были упущены, требуются конкурентная среда и благоприятные условия для создания и внедрения изобретений и инноваций, включая возможность реализации широ-



кого спектра альтернатив в сфере научных исследований и использования новых технических средств и технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экономика железнодорожного транспорта / Под ред. И. В. Белова. — М.: 1989. — 351 с.
2. Лапидус Б. М. О вкладе ОАО «РЖД» в формирование ВВП страны и экономических задачах компании в условиях тарифных ограничений // Вестник ВНИИЖТ. — 2014. — № 1. — С. 3–7.
3. Мачерет Д. А. Об экономических проблемах развития транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. — 2011. — № 3. — С. 76–83.
4. Аузан А. Экономика всего. Как институты определяют нашу жизнь. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. — 160 с.
5. Мачерет Д. А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций // Мир транспорта. — 2014. — № 2. — С. 230–241.
6. Мачерет Д. А. Социально-экономическая роль транспорта в Средние века // Мир транспорта. — 2015. — № 2. — С. 228–237.
7. Ле Гофф Ж. Цивилизация средневекового Запада: Пер. с фр. — Екатеринбург: У-Фактория, 2007. — 560 с.
8. Мачерет Д. А. Социально-экономическая оценка транспорта на основе исторических сравнений // Мир транспорта. — 2016. — № 1. — С. 256–271.
9. Мачерет Д. А. Экономические записки об отечественных железных дорогах // Отечественные записки. — 2013. — № 3. — С. 162–176.
10. Ротбард М. К новой свободе: Либертарианский манифест: Пер. с англ. — М.: Новое издательство, 2009. — 398 с.
11. Fogel, R. W. Notes on the social saving controversy. *Journal of Economic History*, 1979, Vol. 39, No. 1, pp. 1–55.
12. Fogel, R. W. *Railroads and american economic growth: essays in econometric history*. John Hopkins University Press, 1964, 296 p.
13. Мачерет Д. А. Экономика «пробки» // Мир транспорта. — 2014. — № 3. — С. 64–75.
14. Мачерет Д. А. Временной мультипликатор на транспорте // Мир транспорта. — 2015. — № 3. — С. 102–107.
15. INRIX global traffic scorecard. [Электронный ресурс: <http://inrix.com/scorecard/>. Доступ 13.02.2019.]
16. Сотников Е. А. Железные дороги мира из XIX в XXI век. М.: Транспорт, 1993. — 200 с.
17. Мачерет Д. А., Кудрявцева А. В., Ледней А. Ю., Чернигина И. А. Общий технико-экономический курс железных дорог. — М.: МИИТ, 2017. — 364 с.
18. Лапидус Б. М. Опережающее развитие железнодорожного транспорта — выбор времени // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». — 2018. — № 5–6. — С. 1–16.
19. Доббин Ф. Формирование промышленной политики: Соединённые Штаты, Великобритания и Франция в период становления железнодорожной отрасли: Пер. с англ. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. — 368 с.
20. Хайек Ф. А. фон. Конституция свободы: Пер. с англ. — М.: Новое издательство, 2018. — 528 с.
21. Мау В. А. Революция: механизмы, предпосылки и последствия радикальных общественных трансформаций. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2017. — 368 с.
22. Мизес Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории: Пер. с англ. — Челябинск: Социум, 2008. — 878 с.
23. Мачерет Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. — 2015. — № 3. — С. 12–26.
24. Мачерет Д. А. Вектор развития экономической науки на транспорте // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 2. — С. 27–33.
25. Мачерет Д. А. Транспортная составляющая хозяйственной системы: логический прогноз // Мир транспорта. — 2003. — № 4. — С. 82–86.
26. Мачерет Д. А. Анализ долгосрочной динамики скоростей в грузовом движении // Железнодорожный транспорт. — 2012. — № 5. — С. 66–71.
27. Мачерет Д. А. Экономическое значение, тенденции и перспективы повышения скоростей движения на железнодорожном транспорте // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». — 2013. — № 2. — С. 13–23.
28. Мачерет Д. А. Рост дальности грузовых перевозок — фундаментальная тенденция экономического развития // Экономика железных дорог. — 2015. — № 8. — С. 14–23.
29. Третьяк В. П. Инновации и форсайт / Концептуальные проблемы экономики и управления на транспорте: взгляд в будущее // Труды национальной научно-практической конференции. — М.: РУТ (МИИТ), 2018. — С. 26–32.
30. Мачерет Д. А., Валева Н. А. Научный инструментальный предиктивного управления эффективностью железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. — 2018. — № 2. — С. 84–91.
31. Кудрявцева А. В. Социально-экономические перспективы транспортных инноваций // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 2. — С. 34–39.
32. Кудрявцева А. В. Методология оценки социально-экономической перспективности транспортных инноваций // Экономика железных дорог. — 2017. — № 4. — С. 62–68.
33. Гурьев А. И. Конкуренция как фантастика // Вектор транспорта. — 2014. — № 1. — С. 10–13.
34. Мачерет Д. А. Сущность конкуренции и ключевые условия её развития на транспортной инфраструктуре // Вектор транспорта. — 2014. — № 1. — С. 18–21.
35. 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]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71975292/>. Доступ 22.10.2018.
36. Марш П. Новая промышленная революция. Потребители, глобализация и конец массового производства: Пер. с англ. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2015. — 420 с.
37. Мачерет Д. А., Рышков А. В. Проявление закона убывающей отдачи в условиях ограничения развития железнодорожной инфраструктуры // Экономика железных дорог. — 2014. — № 7. — С. 12–21.
38. Мачерет Д. А. О законе опережающего развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. — 2018. — № 7. — С. 14–19.
39. Измайкова А. В. Волны инновационного развития железных дорог // Мир транспорта. — 2015. — № 5. — С. 26–38.
40. Лапидус Б. М. Об условиях и трендах эволюции транспорта и научно-технических задачах по созданию вакуумно-левитационных транспортных систем // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». — 2016. — № 4. — С. 1–17. ●



Uncertainty of the Future as a Fundamental Problem of the Long-Term Development of Transport



Macheret, Dmitry A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Dmitry A. MACHERET

ABSTRACT

The article is devoted to consideration of the problem of long-term development of transport under the conditions of uncertainty, which is a fundamental feature of the conditions of human activity. The objectives are to reveal the specifics of the «path dependence» in the field of transport, to show the fundamental nature of the problem of uncertainty of human activity and its special significance for development of transport, to propose a methodological basis for mitigating the problem of uncertainty in the long-term development of transport.

While achieving the objectives, it is shown using historical analysis that the development of transport systems forms a specific kind of «path dependence», having a significant long-term impact on the future of not only transport itself, but also on other sectors of the economy, as well as on the development of demographic and other social processes.

The location of the population, the development of production capacities, the choice of places of recreation are adapted to the existing transportation network. The decisions regarding location of transport infrastructure, the configuration of transport networks,

the use of various technical solutions significantly influence the future of the transport itself.

In this regard, it is desirable to reduce the uncertainty of the future of the transport. Uncertainty does not mean absolute unawareness. Although the future cannot be predicted accurately, it can be predicted with a certain probability. It is necessary, while fully understanding the impossibility of achieving complete certainty in predicting the future, to assess, at least at a qualitative level, the probability of these forecasts, strive to increase it and to develop transport systems considering the greater or lesser likelihood of certain forecasts.

Hence, it is recommended to use both the logical-analytical method as the basis for forecasting long-term development to identify and consider long-term trends in the development of transport, and the foresight and predictive analytics to reveal newly emerging trends. An important condition of success is the ability to develop and implement various alternative solutions in response to emerging challenges, requiring development of a competitive and innovative environment both in the field of transport and in related areas of economic activity.

Keywords: transport, infrastructure, investment, path dependence, uncertainty, progress, long-term development.

*Information about the author:

Macheret, Dmitry A. – D.Sc. (Economics), professor, Head of the department economics of transport infrastructure and construction business management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

Article received 11.04.2019, accepted 22.10.2019.

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

Transport vehicles and particularly transport infrastructure are characterized by high capital intensity and a long life cycle. It is confirmed by the established useful life of fixed assets in the transport field. For example, the useful life of the roadbed of railways is 100 years, for railway platforms and high-speed trains it is up to 40 years, while for locomotives and freight cars it is up to 28 years.

At the same time, investments in the transport sector, and particularly, again, investments in transport infrastructure pay off more slowly than in many other sectors. If we study the Russian example, it is noteworthy that in a centrally planned economy, the normative payback period for investments in transport was longer than in industry [1, p. 52]. Then [*with the market restructuring*], this problem did not disappear, but worsened. Thus, according to estimates of B. M. Lapidus, «tough state regulation of tariffs with underestimation of their indexation» led to the fact that only for the period 2000–2013 «conditions for the return on investment in railway infrastructure deteriorated by about half» [2, p. 4]. Since then no significant improvement in those conditions has occurred.

Generally, and this is a world-wide trend, the economic and social importance of transport infrastructure is extremely high. Transport infrastructure can generate ultra-long-term, «secular» socio-economic effects [3, pp. 76–77], certainly only if this infrastructure, considering its necessary modernization, will be in demand for such a long period.

The *objectives* of this study are:

- to reveal the specifics of the «path dependence» in the field of transport, which determines the extreme importance of long-term decisions not only for the industry itself, but also for the economy as a whole, for social development;
- to show the fundamental nature of the problem of uncertainty of human activity and its special significance for development of transport, considering long-term implementation of capital-intensive transport projects and even more long-term effects of their implementation;
- to propose a methodological basis for mitigating the problem of uncertainty in decision-making concerning the long-term development of transport.

To achieve these goals, the logical-analytical method and the method of historical analysis are used, while the necessity of combining foresight methods and predictive analytics with feasibility studies is substantiated.

The paper is to some extent a logical follow-up and a generalisation of a series of author's researches devoted to the problems of development of transport [particularly, 3; 5–6; 8–9; 14; 23–26; 37–38].

«Path dependence»

When assessing the long-term development of transport, one should consider such a phenomenon as «path dependence». This is a term primarily from the institutional theory, implying a dependence of development of society on the past path, institutional inertia [4, p. 117]. But development of society and economy depends not only on the «institutional path», but also on the «transport path¹» which includes the prevailing transportation technology, the geography of communications, the location of transport terminals, etc. The location of the population, the development of production capacities, the choice of places of recreation are adapted to the existing transport network.

Already in ancient times, cities as economic, social, and cultural centers arose and developed along water and land transport routes, and especially at the intersection of such routes [5, p. 231].

In the Middle Ages in Western Europe, in the context of degradation of the Roman road network, «land trade and transportation hubs fell into decay, giving way to those located on the banks of rivers» [6, p. 229]. Accordingly, the geography of Western European cities was also redrawn [7, pp. 36–37]. In turn, «most of the ancient Russian cities arose along strategically significant sections of river communications, including in places of portage, where ships were dragged and carried over land from one river to another» [6, p. 229].

The construction of pioneer railways in the eastern regions of Russia and the western regions of the United States in 19th and early 20th centuries significantly influenced economic

¹ The author in original Russian text also uses here and below the effect of the homonymy in Russian language of the core word in phrases «path dependence», «railway gauge», «wheel track» that opposite to English language has the same spelling in all cases. – *ed. note.*

and demographic processes. So, at present all the largest cities of Siberia and the Far East are located on the main course of the Trans-Siberian Railway, and the most significant town of Novosibirsk has arisen thanks to the construction of this very long main line [8]. At the same time, such Siberian cities as Tobolsk and Tomsk, which had been important in the past, turned out to be away from the main railway route, and hence lost their former significance [9, p. 165].

In the USA, «every railway, wishing to increase profits, the cost of land and invested capital, did everything possible to attract immigrants and ensure economic development in neighboring territories. And this caused an active response, people were removed from their places and moved to cities, ports and lands served by competing railways» [10, p. 231].

Estimates made by the winner of the 1993 Nobel Memorial Prize in Economic Sciences Robert W. Fogel showed that if there were no railways in the USA and if other modes, especially inland waterways, were developed instead of railways, then the regional distribution of productive forces and population would be completely different [11; 12].

Urban planning decisions that were made many decades, and sometimes centuries ago, also make today's vehicles and people adapt to them. Moreover, those adaptive capabilities are usually limited and do not allow for high speed and ease of use of transport, cause traffic jams, extra travel time, and, no less important, the uncertainty of duration of travel [13; 14]. The published annual ranking of cities with the busiest streets and roads indicates that in many of them each driver loses more than 100 or even 200 hours a year in traffic jams, and the average speed of traffic in the city center does not exceed 20 km/h [15].

The decisions on placement of transport infrastructure facilities, development of configuration of transport networks, the use of various technical solutions have a significant impact on the future of the transport itself.

So, the choice of places for construction of airports for many years determines the routes of airlines, and decisions on placement of marshalling yards on railways predetermine organization of train flows.

The chronological antecedence of the use of direct current electrification on the railways and simplicity of design of direct current

electric locomotives led to its widespread use in many countries, including in Russia [16, p. 44]. Its priority is still preserved, despite successful development in the second half of 20th century of alternating current electrification, which has significant technical and economic advantages [17, p. 212]. After all, changing the electrification system requires a huge investment, and this determines the choice in favor of continuing to operate DC systems and to further modernize them.

In the USA, where, for various reasons, electrification of railways did not develop and diesel locomotive traction dominates, the significant economic and environmental effects of electrification were not implemented. However, during the period of dynamic development of containerization of transportation, the absence of overhead catenary on the North American railways made it possible to proceed with two-tier container transportation quite easily. This dramatically reduces the cost of container transportation and increases the competitiveness of railways in the transportation market of high-value goods [18, p. 7].

A case in point is the choice of gauge. During the construction of the first railways, «few people thought that the gauge should be chosen based on development of a single network of railways in a country, or even more so through an entire continent. It seemed that this was a matter of the distant future» [16, p. 73]. Different railways in the same country could have different track gauges. For example, in the UK, the homeland of railways, five types of track gauge were used. When individual railway lines began to be connected into a single network, such a difference in gauge naturally began to cause great inconvenience in organization of the transportation process, slowing down and costing the delivery of goods and travel of passengers.

In Great Britain, the issue of switching to a single gauge was decided by Parliament by adoption of a special law in 1846. In the USA, where «at the end of the 1860s ... 12 variants of gauge were used» [19, p. 108], unification of the gauge was carried out only in the 1880s on the basis of lengthy negotiations between entities of the railway industry resulted in conclusion of the convention on introduction of a single gauge of US railways [16, p. 75]. Considering the fact that a large-scale railway network had been created in the country at that



time, about 21 thousand km of tracks had to be changed to a single gauge, followed by replacement of thousands of cars and locomotives [16; 19].

It is evident that the more complex and capital-intensive the railway infrastructure and rolling stock became, the more difficult and more expensive it was to harmonize the gauge. Nowadays, the problem of connecting railways with different gauge is solved through using a dual (mixed) gauge, transshipment of goods from one wagon to another, change of car bogies and the use of variable-gauge wheelsets.

Thus, development of transport infrastructure (and hence, of rolling stock, which must be somehow harmonized with development of infrastructure [17]), due to high capital intensity and duration of the life cycle, forms a specific kind of «path dependence», i.e. it has a significant long-term impact both on development of transport itself and on development of other sectors of the economy, demographic and other social processes.

Therefore, the choice of various options for construction of transport infrastructure (railway, highway or canal), use of technical solutions (for example, a diesel or electric engine) entails long-term consequences for the efficiency of not only the industry, but also for general socio-economic development. Hence, such a choice is extremely responsible, and it would be highly desirable if it were based on a reliable assessment of these long-term consequences.

Progress and uncertainty

However, as Friedrich August von Hayek, the winner of 1974 Nobel Memorial Prize in Economic Sciences, pointed out, «progress consists in discovery of the unknown, its consequences must necessarily be unpredictable», the progress «by its very nature cannot be planned» [20, pp. 63–64].

This thought, in fact, is being developed by the rector of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation V. A. Mau: «...That's the «charm» of progress ...that almost nothing can be said in advance» [21, p. 247]. This researcher emphasizes «the limited ability of man to draw unambiguous conclusions of a strategic nature, based on his own experience and common sense». «We don't know and basically can't

know», which will be «a source of breakthrough in the future...» [21, p. 250]. The above example of organization of highly efficient two-tier transportation of containers in the USA in the absence of railway electrification confirms it well (indeed, this example does not indicate inappropriateness of electrification, but only shows that development of seemingly less perfect diesel locomotive traction can result in such positive but probably unintended consequences).

The unpredictability of the progress, of all the possible long-term consequences of decisions made, is a consequence of the fundamental problem of uncertainty of the future. «The uncertainty of the future is already implied by the very concept of activity. ...The fact remains that the future is hidden from the current person. ...We can practically predict the performance of a machine designed according to the rules of scientific technology. But the development of a machine is only part of a broader program aimed at providing consumers with the products of this machine. ...The degree of certainty regarding the technological result of creating a machine, no matter how high it may be, does not exclude the high uncertainty inherent in all activities. Future needs and assessments, people's reaction to changing circumstances, future scientific and technological knowledge ...can't be predicted otherwise than with a greater or lesser degree of probability» [22, pp. 101–102].

The cited extensive quotation is particularly important for understanding the problem. Uncertainty is a fundamental characteristic of the future associated with the very nature of human activity, and no development of mathematical models, methods and volumes of information processed can completely overcome this uncertainty by developing exceptionally reliable forecasts.

Mitigating uncertainty

But uncertainty is not an absolute unawareness. The future cannot be predicted accurately, but it can be predicted with a certain («greater or lesser») probability. This probability is also a priori uncertain, but, evidently, the more distant prospect and the wider range of consequences are considered, the less likely is the prediction. For large-scale projects for development of transport infrastructure, for fundamental decisions that form the basis of



cdo.smoig.ru

innovations in the field of transport technology, which generate long-term economic and social consequences in various fields, the probability of predicting these consequences is rather less than greater. However, we emphasize again that this is not an absolute unknown. It is necessary, fully understanding the impossibility of achieving complete certainty in predicting the future:

- firstly, at least on a qualitative level, to evaluate the probability of implementation of these forecasts;
- secondly, to strive to increase their probability;
- thirdly, to carry out development of transport systems, considering the greater or lesser likelihood of implementation of certain forecasts. Indeed, «only because we can, and to the extent how we can predict events, or at least evaluate their probability, we are able to achieve anything» [20; p. 170].

The key to mitigating the uncertainty problem may be the use of the logical-analytical method [23; 24] and development on its basis of logical forecasts of long-term development (an example of such a forecast for transport is shown in [25]). It is important, on the one hand, to identify ultra-long-term trends in development of transport, such as an increase

in speed of transport [26; 27] or their range [28], which are likely to remain the same also in forecasted future. And on the other hand, it is necessary to assess the prospects of just emerging new trends and phenomena, especially in the field of engineering and technology. For this, in particular, it is possible to use the foresight, which «involves the identification of *weak signals* of development of innovations and has the ability to «approximate» the onset of the future» [29, p. 27], as well as the scientific tools of predictive management [30]. When assessing the economic prospects of transport innovations, it is necessary to determine which global socio-economic challenges they meet and how their implementation will affect key indicators of transport activity [31; 32].

Given the fact that, as noted above, the future can be predicted only with some, more or less, probability, it is important to have the maximum number of alternative options for responding to challenges formed by both long-term development trends and emerging «weak signals». And for this, in turn, we need both competition of developers and manufacturers of transport equipment and technologies, and development of a competitive environment in the transport industry itself [33; 34]. Conditions



for development of such an environment in the future are laid down, including by decisions adopted today on implementation of infrastructure projects. In this regard, we can quote the example of Russia, noting that the Comprehensive Plan for Development of the Main Infrastructure [35] approved by the Russian government has covered projects for various modes of transport, including those providing an alternative to consumers of transport services. For example, the above plan envisages both Moscow–Kazan high-speed railway² with the prospect of its extension to Yekaterinburg and beyond, and Moscow–Nizhny Novgorod–Kazan high-speed highway.

It seems that implementation of major projects for development of the main infrastructure should be complemented by development of local infrastructure to make public transportation lines accessible to various economic entities. Such local projects should be implemented by private capital with participation of regions and municipalities, which requires development of the institutional environment, improving the investment climate and expanding the financial opportunities of the regions.

One of the possible ways to reduce the uncertainty of long-term technical solutions may be to shorten the life cycle of transport facilities, including infrastructure, which will require a corresponding reduction in the standard terms of their useful life and a corresponding increase in depreciation rates. Such an approach requires a deep comprehensive technical and economic assessment. It seems that it should be linked with the idea of a «closed-loop economy», which implies a «continuous cycle of processing materials that connects old and new products» [36, pp. 224–225]. This will help to increase the environmental friendliness of economic activity, and, in addition, will reduce the risks of increasing closure costs over significant periods of time if the life cycle of fixed assets is reduced.

Conclusion

The uncertainty of the future, being a fundamental property of human activity, is especially significant for the long-term

² In the Comprehensive Plan it is envisaged to construct its pilot section: Zheleznodorozhny–Gorokhovets with traffic from Moscow to Nizhny Novgorod.

development of transport. In order to mitigate the problem of uncertainty and increase the probability of predicting future transport, it is necessary to study the features of manifestation of general laws of human activity in transport, including economic laws [37], specific laws of transport development [38], as well as long-term trends and «weak signals», indicating the emergence of new phenomena and trends within this development. Identification and study of patterns of innovative development of transport is also of importance [39; 40].

One must be also aware that uncertainty is fraught not only with the risks of not achieving the intended objectives, but also with the possibility of discovering new, currently unknown, and unpredictable ways to achieve them. In order for these opportunities not to be missed, a competitive environment and favorable conditions for inventions and innovations are required, including the possibility of implementing a wide range of alternatives in the field of scientific research and development of new technical means and technology.

REFERENCES

1. Economics of railway transport [*Ekonomika zheleznodorozhnoy transporta*]. Ed. by I. V. Belov. Moscow, 1989, 351 p.
2. Lapidus, B. M. About the contribution of JSC Russian Railways to formation of the country's GDP and the economic tasks of the company under tariff restrictions [*O vklade OAO «RZD» v formirovanie VVP strany i ekonomicheskikh zadachakh kompanii v usloviyakh tarifnykh ogranichenii*]. *Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport*, 2014, Iss. 1, pp. 3–7.
3. Macheret, D. A. On the Economic Problems of Development of Transport Infrastructure. *World of Transport and Transportation*, 2011, Vol. 9, Iss. 3, pp. 76–83.
4. Auzan, A. Economics of everything. How institutions determine our lives [*Ekonomika vsego. Kak instituty opredelyayut nashu zhizn*]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber publ., 2014, 160 p.
5. Macheret, D. A. Transport Factor in the Era of Ancient Civilizations. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 2, pp. 230–241.
6. Macheret, D. A. Socio-Economic Role of Transport in the Middle Ages. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2, pp. 228–237.
7. Le Hoff, J. Civilization of the medieval West [*Tsivilizatsiya srednevekovogo Zapada: Trans.from French*]. Yekaterinburg, U-Factoria publ., 2007, 560 p.
8. Macheret, D. A. Socio-Economic Assessment of Transport on the Basis of Historical Comparisons. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 1, pp. 256–271.
9. Macheret, D. A. Economic notes on domestic railways [*Ekonomicheskie zapiski ob otechestvennykh zheleznnykh dorogakh*]. *Otechestvennie zapiski*, 2013, Iss. 3, pp. 162–176.
10. Rothbard, M. Towards a new freedom: the libertarian manifesto [*K novoi svobode: Libertarianskiy*

manifest: *Trans. from English*]. Moscow, New Publishing House, 2009, 398 p.

11. Fogel, R. W. Notes on the Social Saving Controversy. *Journal of Economic History*, 1979, Vol. 39, Iss. 1, pp. 1–55.

12. Fogel, R. W. Railroads and American Economic Growth: Essays in Econometric History. John Hopkins University Press, 1964, 296 p.

13. Macheret, D. A. Economy of Bottle Necks. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 3, pp. 64–75.

14. Macheret, D. A. Time Multiplier in Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 3, pp. 102–107.

15. INRIX global traffic scorecard. [Electronic resource]: <http://inrix.com/scorecard/>. Last accessed 13.02.2019.

16. Sotnikov, E. A. Railways of the world from 19th to 21st century [*Zheleznie dorogi mira iz XIX v XXI vek*]. Moscow, Transport publ., 1993, 200 p.

17. Macheret, D. A., Kudryavtseva, A. V., Ledney, A. Yu., Chernigina, I. A. General technical and economic course of railways [*Obshchiy tekhniko-ekonomicheskiy kurs zheleznykh dorog*]. Moscow, MIIT publ., 2017, 364 p.

18. Lapidus, B. M. Advanced development of railway transport – the choice of time [*Operezhayushchee razvitiye zheleznodorozhnoy transporta – vybor vremeni*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2018, Iss. 5–6, pp. 1–16.

19. Dobbin, F. Formation of industrial policy: the United States, Britain and France during formation of the railway industry [*Formirovaniye promyshlennoy politiki: Soedinennyye Shtaty, Velikobritaniya i Frantsiya v period stanovleniya zheleznodorozhnoy otrasli: Trans. from English*]. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 2013, 368 p.

20. Hayek, F. A. von. Freedom Constitution [*Konstitutsiya svobody: Trans. from English*]. Moscow, New Publishing House, 2018, 528 p.

21. Mau, V. A. Revolution: mechanisms, prerequisites and consequences of radical social transformations [*Revolutsiya: mekhanizmy, predposylki i posledstviya radikalnykh obshchestvennykh transformatsiy*]. Moscow, Publishing house of Gaidar Institute, 2017, 368 p.

22. Mises, L. von. Human activity: a treatise on economic theory [*Chelovecheskaya deyatelnost': traktat po ekonomicheskoy teorii: Trans. from English*]. Chelyabinsk, Socium publ., 2008, 878 p.

23. Macheret, D. A. Methodological problems of economic research in railway transport [*Metodologicheskie problem ekonomicheskikh issledovaniy na zheleznodorozhnom transporte*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 3, pp. 12–26.

24. Macheret, D. A. Vector of development of economic science in transport [*Vektor razvitiya ekonomicheskoy nauki na transporte*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2017, Iss. 2, pp. 27–33.

25. Macheret, D. A. Transport component of the Economic system: Logical prognosis. *World of Transport and Transportation*, 2003, Vol. 1, Iss. 4, pp. 82–86.

26. Macheret, D. A. Analysis of the long-term dynamics of speeds in freight traffic [*Analiz dolgosrochnoy dinamiki skorostei v gruzovom dvizhenii*]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2012, Iss. 5, pp. 66–71.

27. Macheret, D. A. Economic importance, trends and prospects for increasing speeds in railway transport [*Ekonomicheskoe znachenie, tendentsii i perspektivy povysheniya skorostei dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2013, Iss. 2, pp. 13–23.

28. Macheret, D. A. The increase in the range of freight transportation – a fundamental trend in economic development [*Rost dalnosti gruzovykh perevozk – fundamentalnaya tendentsiya ekonomicheskogo razvitiya*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 8, pp. 14–23.

29. Tretyak, V. P. Innovation and Foresight/ Conceptual problems of economics and transport management: a look into the future [*Innovatsii i forsait / Kontseptualnye problemy ekonomiki i upravleniya na transporte: vzglyad v budushchee*]. *Proceedings of National Scientific and Practical Conference*. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2018, pp. 26–32.

30. Macheret, D. A., Valeev, N. A. Scientific toolkit for predictive management of railway transport efficiency [*Nauchniy instrumentariy prediktivnogo upravleniya effektivnost'yu zheleznodorozhnoy transporta*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2018, Iss. 2, pp. 84–91.

31. Kudryavtseva, A. V. Socio-economic prospects of transport innovation [*Sotsialno-ekonomicheskie perspektivy transportnykh innovatsiy*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2017, Iss. 2, pp. 34–39.

32. Kudryavtseva, A. V. Methodology for assessing the socio-economic prospects of transport innovations [*Metodologiya otsenki sotsialno-ekonomicheskoy perspektivnosti transportnykh innovatsiy*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2017, Iss. 4, pp. 62–68.

33. Guriev, A. I. Competition as a science fiction [*Konkurentsya kak fantastika*]. *Vektor transporta*, 2014, Iss. 1, pp. 10–13.

34. Macheret, D. A. The essence of competition and the key conditions for its development on the transport infrastructure [*Sushchnost' konkurentsii i klyuchevye usloviya ee razvitiya na transportnoi infrastrukture*]. *Vektor transporta*, 2014, Iss. 1, pp. 18–21.

35. 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 № 2101-r / Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana modernizatsii i rasshireniya magistralnoi infrastruktury na period do 2024 goda*]. [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71975292/>. Last accessed 22.10.2018.

36. Marsh, P. The new industrial revolution. Consumers, globalization and the end of mass production [*Novaya promyshlennaya revolyutsiya. Potrebiteli, globalizatsiya i konets massovogo proizvodstva: Trans. from English*]. Moscow, Publishing House of the Gaidar Institute, 2015, 420 p.

37. Macheret, D. A., Ryshkov, A. V. Manifestation of the law of diminishing returns in conditions of limited development of railway infrastructure [*Proyavleniye zakona ubyvyayushchei otdachi v usloviyakh ogranicheniya razvitiya zheleznodorozhnoi infrastruktury*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2014, Iss. 7, pp. 12–21.

38. Macheret, D. A. On the law of priority development of transport infrastructure [*O zakone operezhayushchego razvitiya transportnoi infrastruktury*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2018, Iss. 7, pp. 14–19.

39. Izmaikova, A. V. Waves of Railway Innovative Development. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 5, pp. 26–38.

40. Lapidus, B. M. About the conditions and trends of evolution of transport and scientific-technical tasks of creation of vacuum levitation transport systems [*Ob usloviyakh i tendentsiyakh evolyutsii transporta i nauchno-tekhnicheskikh zadachakh po sozdaniyu vakuumno-levitatsionnykh transportnykh system*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2016, Iss. 4, pp. 1–17.



Приоритеты научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации: зарубежный опыт



Олег КАРАСЕВ



Максим ЖЕЛЕЗНОВ



Алексей БЕЛОШИЦКИЙ



Егор ШИТОВ

Карасев Олег Игоревич – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.
Железнов Максим Максимович – Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

Белошицкий Алексей Валерьевич – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

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

Цифровизация открывает новые возможности и способы ведения бизнеса во всех отраслях экономики. Данный процесс не обходит стороной и железнодорожную отрасль. Критичность цифровизации этой отрасли объясняется повсеместным использованием железнодорожного транспорта, возрастающими потребностями в качестве и скорости предоставления транспортных услуг. Настоящая статья посвящена анализу приоритетных направлений цифровой трансформации железнодорожной отрасли. Были выделены ключевые тренды цифровой трансформации, приоритетные направления научно-технологического развития.

Целью данной статьи является описание проведённого трёхуровневого исследования перспектив научно-

технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации экономики на основе применения методов системного анализа международного опыта. Первый уровень заключается в определении магистральных направлений развития цифровых технологий, которые могут быть применены к железнодорожному транспорту; второй уровень направлен на анализ стратегических документов железнодорожного транспорта в ряде регионов с выявлением ключевых тенденций цифрового развития; третий – на выявление наиболее эффективных информационных технологий для применения на железнодорожном транспорте, в том числе в Российской Федерации.

Ключевые слова: железнодорожная отрасль, цифровизация, направления научно-технологического развития, транспорт.

*Информация об авторах:

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.

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.

Белошицкий Алексей Валерьевич – магистр по направлению «Экономика», заместитель директора Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, alex.v.beloshitskiy@gmail.com.

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.

Статья поступила в редакцию 01.07.2019, принята к публикации 21.10.2019.

For the English text of the article please see p. 29.

Современный этап развития мировой экономики основывается на парадигме укоренения принципов нового технологического уклада и существенного повышения значимости информации. Особое внимание уделяется качеству анализа имеющейся информации, в том числе обогащению данных и выявлению значимых причинно-следственных связей.

Знания и информация являются одними из ключевых элементов цифровой экономики, которая сегодня находит своё отражение во всех отраслях экономики и в социальной сфере. Массовая цифровизация затрагивает процессы и механизмы функционирования социально-экономических связей по большинству аспектов жизнедеятельности, в том числе посредством формирования комплексных цифровых экосистем [1].

Существует целый ряд определений цифровой экосистемы или экосистемы цифровой экономики [см., напр., 2]. Ф. Нахира, П. Дини и А. А. Николаи под цифровой экосистемой понимают сочетание информационной сети, социальной сферы и сети обмена знаниями [3]. Е. Чанг и М. Вест в своих работах определяли цифровую экосистему как домен кластерной среды, включающий биологические, экономические и цифровые виды, а также технические средства [4]. Х. Донг, Ф. К. Хуссейн расширили понятие цифровой экосистемы до понятия «цифровых артефактов» и инфраструктуры передачи данных, их хранения и обработки, пользователей систем, включив также социальные, экономические, политические, психологические и иные факторы, влияющие на осуществление взаимодействий [5].

В современных реалиях цифровые экосистемы предполагают активное использование технологий автоматизации и главенствующую роль информации, которая является ключевым фактором при принятии управленческих решений. Цифровизация открывает новые возможности для анализа информации, её получения и обработки, позволяя создавать более точные предиктивные модели и повышая качество получаемых данных [6].

Указанные факты способствуют появлению сетевой экономики и экономики знаний. Цифровизация предполагает замену традиционных инструментов реализации различных социально-экономических процессов цифровыми, в результате чего формируется

пространство цифровых экосистем [7]. Необходимо сделать оговорку, что несмотря на активное распространение принципов цифровой трансформации мировой экономики и социальной сферы, эмпирическая и исследовательская база определения эффектов от реализации соответствующих «цифровых» инициатив пока в целом не соответствует масштабности задач как в экономическом плане, так и в смысле обобщения сфер применения цифровых технологий.

Целью настоящей статьи является описание результатов проведённого трёхуровневого исследования перспектив научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации экономики на основе применения *методов* системного анализа международного опыта. Задача первого уровня оценки заключается в определении магистральных направлений развития цифровых технологий, применимых на железнодорожном транспорте. Второй уровень направлен на анализ стратегических документов технологического развития железнодорожного транспорта ряда регионов с выявлением ключевых тенденций цифрового развития, третий – на выявление наиболее эффективных информационных технологий.

1. МАГИСТРАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Среди основных целей, которые преследует цифровизация, следует выделить повышение операционной эффективности различных бизнес-процессов, включая:

- повышение скорости, качества и точности выполняемых процессов;
- минимизацию количества ошибок и их значимости, нивелирование человеческого фактора;
- выявление новых причинно-следственных связей и зависимостей путём обработки больших массивов неструктурированной информации и применения продвинутых алгоритмов анализа данных;
- перенос физических и материальных объектов в цифровую среду для последующего дистанционного управления и мониторинга в режиме реального мира и т.д.

В Российской Федерации в соответствии с Указом Президента России от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Феде-



рации на период до 2024 года» (далее – Указ) одной из приоритетных задач является осуществление прорывного научно-технологического и социально-экономического развития, в том числе формирования цифровой экономики [8].

В целях достижения задач и целевых показателей настоящего Указа была разработана система национальных программ (проектов), включая национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации». Целью указанной национальной программы является обеспечение необходимых условий для осуществления цифровой трансформации приоритетных отраслей экономики и социальной сферы, разработки и внедрения передовых отечественных технологий и решений, созданных на базе «сквозных» цифровых технологий (далее – СЦТ), формирования комплексной цифровой инфраструктуры и экосистемы [9].

В рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» особое внимание уделяется вопросам поддержки развития СЦТ и их последующего внедрения в приоритетные отрасли экономики и социальной сферы. В качестве СЦТ выделяются:

- квантовые технологии;
- компоненты робототехники и сенсорики;
- нейротехнологии и искусственный интеллект;
- новые производственные технологии;
- системы распределённого реестра;
- технологии беспроводной связи;
- технологии виртуальной и дополненной реальности.

Приоритетными сферами внедрения данных технологий являются отрасли, которые оказывают значительный мультипликативный эффект на другие сферы экономики.

Одной из таких отраслей в России является железнодорожная отрасль. Согласно Стратегии научно-технологического развития России [10] железнодорожная отрасль является одним из главных элементов функционирования транспортной системы городских агломераций, обладает, необходимым инновационным и научно-техническим потенциалом для успешной цифровой транс-

формации. Этому вопросу посвящены многочисленные исследования, и мы также намерены обратиться к нему более подробно в последующих публикациях.

2. СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ В СФЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И КЛЮЧЕВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Цифровизация в железнодорожной отрасли является сложным, многогранным процессом, оказывающим влияние на различные аспекты бизнес-процессов и определяющим направления научно-технологического развития. Несмотря на то, что разработка и внедрение цифровых технологий и решений не является профильной деятельностью для большинства железнодорожных компаний, развитие направлений, непосредственно связанных с цифровизацией, сегодня является магистральным научно-технологическим приоритетом всей отрасли. Приблизительная оценка роста доходов железнодорожных компаний от внедрения передовых интеллектуальных разработок только в сфере управления движением подвижного состава и сигнализации составляет 19 млрд евро в год [11].

В настоящее время большое влияние на научно-технологическое развитие железнодорожной отрасли оказывают региональные и международные организации и ассоциации. Данные организации активно публикуют отчёты и Белые книги, в которых намечаются приоритетные направления развития железнодорожной отрасли, стратегии научно-технологического развития, отмечаются как вызовы, так и наиболее успешные продукты и технологии. Такие документы оказывают непосредственное влияние на вектор развития всей отрасли. Среди подобных документов выделяются:

- Белая книга Европейской Комиссии «На пути к единому европейскому транспортному пространству – навстречу конкурентной и ресурсосберегающей транспортной системе» (далее – Белая книга ЕС);

- Белая книга Ассоциации американских железных дорог «Привлечение технологий к работе. Как железнодорожные грузовые перевозки будут осуществляться в XXI веке» («Putting technology to work. How Freight Rail Delivers the 21st Century»), далее – Белая книга ААЖД);

- Программа в области развития железнодорожного транспорта EC Shift2Rail (далее – Программа ЕС).

Белая книга ЕС

В числе ключевых приоритетов развития железнодорожной отрасли в Белой книге ЕС выделяются создание единого европейского транспортного пространства, разработка комплексного подхода и единых стандартов управления движением подвижного состава, организация высокоскоростного пассажирского и грузового движения, развитие мультимодальных (интермодальных) перевозок [12].

В контексте цифровизации железнодорожной отрасли Белая книга ЕС выделяет следующие направления научно-технологического развития:

- применение усовершенствованных интеллектуальных систем управления железнодорожной сетью и информационной системой мобильности пассажиров;
- создание интеллектуальной системы продажи билетов на комбинированные виды транспорта (организация мультимодальных перевозок);
- оптимизация графика движения и транспортных потоков путём применения в инфраструктуре системы TEN-T (транс-европейской транспортной сети);
- использование интеллектуальных транспортных систем;
- развёртывание европейской глобальной навигационной спутниковой системы Galileo;
- применение технологий обнаружения и отслеживания;
- разработка технологии защиты конфиденциальности личных данных;
- развитие технологий безопасности.

Белая книга ААЖД

Ассоциация американских железных дорог уделяет значительное внимание повышению безопасности железнодорожных сетей, снижению негативного воздействия на окружающую среду и разработке соответствующих технологиям и времени законодательных норм [13].

Большая часть указанных направлений осуществляется при помощи цифровых технологий. Среди приоритетных сфер цифровизации Белая книга ААЖД выделяет:

- мониторинг инфраструктурных объектов в режиме реального времени;

- использование инновационных технологий мониторинга в целях повышения качества обслуживания оборудования;

- предотвращение ошибок, вызванных человеческим фактором;

- внедрение специального программного обеспечения по контролю, планированию и учёту топливно-энергетических расходов;

- использование интеллектуальных датчиков в рамках процессов технического обслуживания и ремонта;

- применение технологий больших данных и искусственного интеллекта;

- автоматизация производственных процессов.

Программа ЕС

Документ обозначает важность цифровой трансформации для создания экономичных и надёжных поездов, применения новых ходовых механизмов, тормозных систем, развития модульных компонентов поездов. Также значительное внимание уделено созданию экономичной, эффективной, экологичной и надёжной инфраструктуры с высокой пропускной способностью [14].

Среди приоритетных сфер цифровизации в Программе ЕС указаны:

- автоматизированное управление движением поездов;
- технологии виртуального сцепления вагонов;
- обеспечение кибербезопасности;
- внедрение «умных» станций;
- внедрение «умных» энергопоставок;
- повышение совместимости различных сервисов;
- внедрение технологий отслеживания перемещения поездов, пассажиров и грузов;
- создание «сервис-помощников» для путешествий.

Можно также отметить отчёт Международного союза железных дорог об участии сообщества операторов железных дорог в проектах ЕС («The Railway Operating Community (ROC) involvement in EU projects», далее – Отчёт МСЖД). В данном документе обозначена важность развития технологий мультимодальных перевозок и совершенствования систем безопасности. Значительную часть занимает описание развития технологий энергоэффективности, повышения эффективности силовых установок с использованием гибридных технологий и систем накопления энергии



Таблица 1
Агрегированные направления
научно-технологического развития
железнодорожной отрасли в контексте
цифровизации

№	Наименование направления
1	Внедрение инновационных систем автоматизации и механизации перевозочных процессов
2	Управление ресурсами, безопасностью, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта
3	Разработка и внедрение перспективных технических средств и «сквозных» технологий для инфраструктуры железнодорожного транспорта (железнодорожной автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения, инновационных информационных и телекоммуникационных технологий и др.)
4	Развитие транспортно-логистических систем в едином транспортном пространстве

и разработке концепций тяговых систем следующего поколения [15].

Помимо указанных направлений, упоминаются цифровые решения в следующих сферах:

- исследование автоматизированных, совместимых и взаимосвязанных передовых систем управления трафиком;
- повышение пропускной способности железнодорожного пути путём внедрения автоматизированных систем управления поездами;
- совершенствование и оптимизация систем отслеживания поездов;
- разработка и применение систем мониторинга и методов сбора большого объёма данных;
- повышение стандартизации и унификации информационных систем;
- разработка интеллектуальных платформ управления мобильностью пассажиров.

Ведущие железнодорожные компании ЕС и США также активно реализуют собственные стратегии цифрового развития, определяя различные передовые цифровые разработки в качестве собственных приоритетов научно-технологического развития. Однако стоит отметить, что указанные стратегии в значительной степени пересекаются и коррелируют с вышеуказанными документами.

В таблице 1 обобщены ключевые агрегированные направления научно-техно-

логического развития, непосредственно связанные с цифровой трансформацией, содержащиеся в рассмотренных выше документах.

3. ПРИОРИТЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Внедрение интеллектуальных систем автоматизации, оптимизации и механизации внутренних бизнес-процессов.

В рамках данного направления железнодорожные компании активно внедряют новые средства взаимодействия с клиентами в цифровом пространстве. Наиболее распространённым способом цифрового взаимодействия с клиентом является создание мобильных приложений. Их функционал позволяет осуществлять электронную покупку и бронирование билетов, прокладывать маршруты «от двери до двери» с использованием различных категорий транспорта (автобусы, каршеринг) [16].

Применение цифровых технологий направлено, в том числе, на внедрение «умных» билетов, которые могут храниться в мобильном устройстве пользователя. Подобные билеты обеспечивают единый доступ к различным видам транспорта. В рамках мобильных приложений осуществляется система обратной связи с клиентами, которая позволяет компаниям управлять качеством предоставляемых услуг [12].

В целях повышения качества пользовательского опыта создаются «сервис-ассистенты» (или «сервис-помощники»). Для путешествующих данные платформы предоставляют возможности по упрощению поездок «от двери до двери», сопровождение на протяжении всего путешествия, учёт личных предпочтений, решение непредвиденных ситуаций, организацию взаимодействия с различными видами транспорта, задействованного в процессе перемещения. Коммерческим компаниям данные платформы дают возможность снижения временных и денежных затрат путём формирования наилучшего маршрута посредством анализа большого количества параметров и подбора оптимальных значений.

Развитие и внедрение данных платформ позволяет перевозчикам упрощать процесс использования услуг компаний за счёт предоставления удобного пользовательского опыта путём анализа больших данных, ис-

пользования технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и предоставления рекомендаций для конечных пользователей на их основе.

Одним из важнейших направлений моделирования взаимодействия с клиентами является предиктивная аналитика и системы прогнозирования пассажиропотока. С помощью данных цифровых средств становится возможным предсказывать величину спроса на транспортные услуги в конкретный период путём использования технологии больших данных. Данная технология также используется при внедрении платформ динамического ценообразования.

Основными эффектами от реализации данного направления цифровизации являются снижение времени на обработку данных, повышение отказоустойчивости, повышение производительности и потребительской лояльности.

Кроме этого, практикуется активное использование бизнес-приложений во внутренних процессах, связывание цифровых устройств сотрудников в единую информационную сеть, использование программного обеспечения бизнес-аналитики, стимулирование труда работников с помощью цифровых средств.

В отличие от существующих решений, данные технологические тренды способны обеспечить компании максимальным количеством информации о её деятельности, что позволяет повысить производительность труда и эффективность внутреннего взаимодействия.

Управление ресурсами, безопасностью, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта при помощи цифровых систем.

Активное внедрение цифровых технологий не только открывает новые возможности для ведения бизнеса, но и влечёт за собой новые риски, связанные с киберпреступностью. В рамках обеспечения информационной и кибербезопасности осуществляется интеграция цифровых систем в единые автоматизированные комплексы, непрерывное совершенствование программного обеспечения, введение практики мониторинга, технического обслуживания и удалённой настройки цифровых систем и оборудования, исполь-

зование средств противодействия киберпреступникам [17].

К конкретным мерам защиты относятся идентификация и аутентификация пользователей, межсетевое экранирование, разграничение доступа пользователей, разграничение с открытыми сетями, шифрование данных, передаваемых за пределы контрольной зоны, протоколирование работы пользователей и действий администраторов, регулярное обновление программного обеспечения и использование открытого программного продукта, антивирусная защита информационных ресурсов, управление средствами защиты информации, использование принципов мажоритирования и резервирования.

Для снижения влияния человеческого фактора при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также для снижения травматизма на производстве используются современные технологии, в том числе различные системы навигации, в свою очередь, необходимые для обеспечения координатно-временной информацией маневровой автоматической локомотивной сигнализации (МАЛС). Стоит отметить, что совершенствование систем безопасности основано на создании многоуровневых многофункциональных систем интервального регулирования движения поездов, взаимодействующих с ними систем автоведения и диагностики на подвижном составе, которые неразрывно связаны со стационарными системами автоматизации и телемеханики и информационными системами.

Осуществляется активное внедрение сенсорики, цифровых средств мониторинга состояния объектов, технологий неразрушающего контроля (без вывода объекта из эксплуатации). Использование «умных» датчиков, продвинутого аналитического программного обеспечения и систем обмена информацией для мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени, внедрение высокоточных координатных систем, систем проектирования местности позволит осуществлять мониторинг движения высокоскоростных поездов. Также осуществляется размещение возле железнодорожного полотна лазерных и инфракрасных детекторов, оценивающих состояние осей и подшипников движущегося поезда, и «умных» камер.



В качестве средств обеспечения безопасности пассажиров на станциях и в поездах используются датчики взрывчатых веществ, смарт-чипы и сканеры.

Цифровое моделирование местности осуществляется путём дискретного сканирования земной поверхности. Реальное местонахождение объекта можно вычислить благодаря высокоточному спутниковому приёмнику, функционирующему в обособленном режиме, синхронизируемому с инерциальной системой. Определив углы разворота и относительные отклонения между элементами исследуемой местности, появляется возможность выявить абсолютные координаты любой точки лазерного отражения в соответствующих пределах.

Автоматизированный контроль технического обслуживания подвижного состава позволит на ранней стадии выявлять неполадки в работе систем и ошибки технического обслуживания. Мониторинг, диагностика и контроль состояния инфраструктуры позволяют заблаговременно выявлять предостерегающие состояния устройств пути, электрооборудования, автоматики и телемеханики, определять причины неисправностей [18].

Осуществление цифрового мониторинга железнодорожных объектов позволяет повысить уровень безопасности, снизить стоимость жизненного цикла подвижного состава и инфраструктуры, уменьшить простой вагонов, оперативно выявлять и устранять технические неполадки, эффективнее распределять обслуживающий персонал, повысить экономическую и эксплуатационную эффективность и производительность труда.

В рамках цифровой трансформации предлагается внедрение «умных» энергопоставок, которые развивают системы планирования, нормирования, учёта и стимулирования экономии расхода топливно-энергетических ресурсов, а также максимизацию эффективности использования топлива. Осуществление данных задач происходит путём внедрения и использования специального программного обеспечения, позволяющего контролировать потребление топлива на основе анализа множества переменных, в частности, топографии, изгибов полотна, массы и длины поезда, скорости ветра, в режиме реального времени.

Разработка и внедрение перспективных технических средств и «сквозных» цифровых

технологий для подвижного состава и инфраструктуры (железнодорожной автоматизации и телемеханики, электрификации и электроснабжения, инновационных информационных и телекоммуникационных технологий и др.).

Ключевыми решениями данного научно-технологического направления являются автоматизированные системы построения оперативных графиков движения, системы планирования маршрутов, цифровые платформы обеспечения мультимодальных (интермодальных) перевозок, цифровые платформы управления перевозочными процессами, автоведение (автономный подвижной состав), интеллектуальные системы диспетчерского управления, безлюдные технологии управления перевозочным процессом, включая процессы погрузки/разгрузки, «машинное зрение» (сегмент технологий искусственного интеллекта, сущность которого заключается в получении и обработке реальных изображений с целью решения прикладных задач без участия человека).

Автоведение позволит увеличить пропускную способность за счёт уменьшения интервалов между поездами, а также поможет сократить потребление энергии на тягу поездов, вследствие использования оптимальных алгоритмов и отсутствия человеческого фактора влияния на управление подвижным составом. Стоит отметить, что для анализа ситуации используются *технологии машинного обучения* с использованием данных от датчиков. Альтернативными технологиями являются высокоточные средства определения местоположения локомотива и электронная 3D-карта.

Системы цифрового имитационного моделирования для инфраструктуры железнодорожного транспорта представляют собой одну из ключевых технологий для создания железнодорожной системы нового типа в силу значительного развития сенсорных технологий, количества обрабатываемой информации, вычислительных мощностей компьютеров. Технология способна улучшить операционную деятельность железнодорожной компании и является ключевой, на одном уровне с интеллектуальными системами, использующими «Интернет вещей», для создания эффективной мультимодальной и интермодальной логистической системы.

Интеллектуальные системы, использующие «Интернет вещей» в процессе мониторинга состояния подвижного состава и железнодорожной инфраструктуры [19], при их успешной имплементации в операционной деятельности железнодорожных компаний, позволят оптимизировать техническое обслуживание. Впоследствии успешная имплементация технологий «Интернета вещей» позволит значительно автоматизировать процессы управления передвижным составом и железнодорожной инфраструктурой.

Развитие транспортно-логистических систем в едином транспортном и информационном пространстве.

В процессе развития транспортно-логистических систем в едином транспортном и информационном пространстве необходимо внедрение продвинутых информационно-коммуникационных систем. Данные системы значительно ускоряют процессы в логистической цепочке и позволяют в режиме реального времени отслеживать актуальное состояние элементов железнодорожной сети.

Использование информационно-коммуникационных систем позволяет упростить процесс краткосрочного планирования и бронирования ниток графика. Данные технологии позволяют ускорить процесс принятия решений операторами и предоставления ими информации относительно различных параметров. Использование информационно-коммуникационных систем в качестве технологической железнодорожной связи и канала передачи данных позволяет решать проблемы совместимости и безопасности движения поездов на железных дорогах.

В процессе внедрения единых информационно-коммуникационных систем достигаются процессы автоматизации и упрощения диспетчерской работы, благодаря которым повышаются скорость обработки запросов, точность анализа поступающей информации и безопасность управления процессами перевозок.

Помимо информационно-коммуникационных систем, осуществляется активное внедрение интеллектуальных интеграционных технологических платформ, целью которых является создание единого транспортного информационного пространства, которое позволит перевозчикам иметь полное

представление о процессе перевозок, более эффективно использовать информацию о подвижном составе. В рамках реализации данного пространства компании-перевозчики будут иметь доступ к централизованной базе данных с необходимой доступной информацией, которая может использоваться для принятия решений, повышения эффективности деятельности подвижного состава, управления компанией, выражающееся в снижении затрат, повышении эффективности взаимодействия персонала.

Выводы

Представленные выше тенденции цифровизации железнодорожной отрасли углубляются ввиду процессов глобализации, интернационализации цифровых трансформаций в сфере ведения бизнеса. Железнодорожная отрасль становится всё более открытой и «бесшовной». Цифровизация в железнодорожной отрасли осуществляется не только благодаря внедрению новых технологий, но и благодаря переосмыслению традиционных бизнес-моделей, адаптации к цифровой среде постиндустриальной экономики.

Можно прогнозировать, что результаты применения *методов* экономического прогнозирования и системного анализа прогнозов роста доходов от внедрения «сквозных» технологий будут свидетельствовать о положительной динамике развития рынка технологий железнодорожной сети. Обилие новых продуктов и решений на рынке указывает на интенсивную цифровую трансформацию отрасли. Важной особенностью применяемых и перспективных цифровых технологий на железнодорожном транспорте являются высокий уровень синхронизации и взаимной увязки достижений из различных областей, что позволяет добиться значительного синергетического эффекта.

Подавляющая часть современных цифровых технологий уже применяется или планируется к внедрению на железнодорожном транспорте в Российской Федерации, в ОАО «РЖД». Однако ввиду динамичного развития цифровой сферы железнодорожным организациям всех стран потребуется постоянно актуализировать оценки, прогнозы и планы действий, и в этом плане необходимым условием является регулярный анализ лучших мировых практик, выявление преобладаю-



ших тенденций и трендов для их дальнейшего учёта при решении своих специфических задач, обусловленных особенностями деятельности и корпоративной стратегией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин А. П. и др. Цифровая экономика – различные пути эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, SmartCity, BIG DATA и другие) // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – № 1. – С. 4–11. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-razlichnye-puti-k-effektivnomu-primeneniyu-tehnologiy-bim-plm-cad-iot-smart-city-big-data-i-drugie/viewer>. Доступ 08.07.2019.

2. Степанова В. В., Уханова А. В., Григоришин А. В., Яхьяев Д. Б. Оценка цифровых экосистем регионов России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2019. – Т. 12. – № 2. – С. 73–90. – DOI: 10.15838/esc.2019.2.62. Доступ 08.07.2019.

3. Nachira, F., Dini, P., Nicolai, A. A. A network of digital business ecosystems for Europe: roots, processes and perspectives. Digital Business Ecosystems. Bruxelles: European Commission, 2007. [Электронный ресурс]: https://pdfs.semanticscholar.org/8932/731c1827c45a5c43f21b809cc125e499ec.pdf?_ga=2.182158127.988173208.1580476204-364919786.1579690786. Доступ 08.07.2019.

4. Chang, E., West, M. Digital Ecosystems: A next generation of the collaborative environment. Conference iiWAS'2006, The Eighth International Conference on Information Integration and Web-based Applications Services, Yogyakarta, Indonesia, 4–6 December 2006, pp. 3–24. [Электронный ресурс]: https://pdfs.semanticscholar.org/3d08/bad6a7d379a049639eb28440a42fdd5af704.pdf?_ga=2.9613245.988173208.1580476204-364919786.1579690786. Доступ 08.07.2019.

5. Hai Dong, Hussain, F. K., Chang, E. An integrative view of the concept of digital ecosystem. Proceedings of the Third International Conference on Networking and Services. Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, 2007, pp. 42–44. DOI: 10.1109/ICNS.2007.33.

6. Панышин Б. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Наука и инновации. – 2016. – № 157. – С. 17–20.

7. Авдеенко Т. В., Алетдинова А. А. Цифровизация экономики на основе совершенствования экспертных систем управления знаниями // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2017. – № 1. – С. 7–18.

8. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // Информационно-правовой портал «Гарант». [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/>. Доступ 08.07.2019.

9. Паспорт Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждён президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16). [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTRPnzJlaKw3M5cNLo6gczMkPF.pdf>. Доступ 08.07.2019.

10. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) // Официальный сайт Президента Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>. Доступ 08.07.2019.

11. The rail sector's changing maintenance game // Официальный сайт консалтинговой и аудиторской компании McKinsey & Company. [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/travel%20transport%20and%20logistics/our%20insights/the%20rail%20sectors%20changing%20maintenance%20game/the-rail-sectors-changing-maintenance-game.ashx>. Доступ 08.07.2019.

12. Белая книга Европейской Комиссии «На пути к единому европейскому транспортному пространству – навстречу конкурентной и ресурсосберегающей транспортной системе». [Электронный ресурс]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC1044>. Доступ 08.07.2019.

13. Putting technology to work. How freight rail delivers the 21st century // Официальный сайт Ассоциации американских железных дорог. [Электронный ресурс]: <https://www.aar.org/data/putting-technology-to-work-how-freight-rail-delivers-the-21st-century/>. Доступ 08.07.2019.

14. Программа в области развития железнодорожного транспорта ЕС // Официальный сайт Shift2Rail. [Электронный ресурс]: <https://shift2rail.org/research-development/>. Доступ 08.07.2019.

15. The Railway Operating Community (ROC) involvement in EU projects // Официальный сайт Международного союза железных дорог. [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/a_project_book_on_roc_involve. Доступ 08.07.2019.

16. Отчёт Innovation for Railways // Официальный сайт консалтинговой и аудиторской компании PwC. [Электронный ресурс]: https://www.pwc.com/iv/iv/about/services/PwC_innovation_for_railways.pdf. Доступ 08.07.2019.

17. Киселева Е. М. Железная дорога как объект киберзащиты // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 5. – С. 166.

18. Железнов М. М. Концепция мониторинга и содержания инфраструктуры транспортных железнодорожных коридоров стран СНГ «Пространства 1520» на основе спутниковых и геоинформационных технологий // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2011. – № 2. – С. 34–37.

19. Певзнер В. О., Соловьёв В. П., Железнов М. М., Надёжин С. С. Научные основы моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в современных условиях эксплуатации // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2014. – № 4. – С. 8–14.

Благодарности

Авторы выражают признательность коллегам, принимавшим участие в исследованиях, результаты которых были использованы при подготовке данной статьи: Титовой Юлии Александровне, магистру по направлению «Менеджмент», ведущему специалисту 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. ●



Priorities of Scientific and Technological Development of the Railway Industry in the Context of Digitalization: International Expertise



Oleg I. KARASEV



Maxim M. ZHELEZNOV



Alexey V. BELOSHITSKY



Egor A. SHITOV

*Karasev, Oleg I., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.
Zheleznov, Maxim M., Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, Moscow, Russia.
Beloshitsky, Alexey V., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.
Shitov, Egor A., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

Digitalization opens new opportunities and ways of doing business in all sectors of the economy. This process does not bypass the railway industry. The criticality of digitalization of the industry is explained by the widespread use of railway transport, and the increasing demand on quality and speed of providing transportation services. The article is devoted to the analysis of the priorities of digital transformation of the railway industry and highlights key trends of digital transformation, as well as priority areas of scientific and technological developments. The objective is to describe a three-level study of prospects for scientific and technological

development of the railway industry in the context of digitalization of the economy based on application of the methods of system analysis to international expertise and practices. The first level of the study was devoted to identification of the main directions of development of digital technologies which can be applied to railway transport; the second level was the analysis of strategic railway documents developed in some regions followed by identification of key trends in digital development; the third one made it possible to identify the most effective information technologies to be implemented for railways, particularly in the Russian Federation.

Keywords: railways, railway industry, digitalization, directions of scientific and technological development, transport.

*Information about the authors:

Karasev, Oleg I. – Ph.D. (Economics), Director of the Center for Science and Technology Forecasting of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, oikarasev@econ.msu.ru.

Zheleznov, Maxim M. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation in Civil Engineering of Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, Moscow, Russia, M.Zheleznov@mail.ru.

Beloshitsky, Alexey V. – Master in Economics, Deputy director of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, alex.v.beloshitskiy@gmail.com.

Shitov, Egor A. – Master in Economics, Leading specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, egor.shitov29@gmail.com.

Article received 01.07.2019, accepted 21.10.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 20.

The current stage of development of the world economy is based on the paradigm of rooting the principles of a new technological paradigm and a significant increase in importance of information. Particular attention is paid to the quality of analysis of available information, including data enrichment and identification of significant causal relationships.

Knowledge and information are among key elements of the digital economy, which is widespread today in all the sectors of the economy and in social sphere. Mass digitalization affects the processes and mechanisms of functioning of the socio-economic relations regarding most aspects of life, including through development of integrated digital ecosystems [1].

There are series of different definitions of digital ecosystem and of ecosystem of digital economy [e.g., 2]. F. Nachira, P. Dini and A. A. Nikolai understand as a digital ecosystem a combination of information network, social sphere and knowledge sharing network [3]. E. Chang and M. West in their works defined a digital ecosystem as a domain of a cluster environment, including biological, economic, and digital species, as well as technical means [4]. H. Dong, F. K. Hussain extended a concept of a digital ecosystem to a concept of «digital artifacts» and infrastructure of data transmission, storage and processing, users of systems, including social, economic, political, psychological and other factors affecting implementation of interaction [5].

In modern realities, digital ecosystems involve active use of automation technologies and dominant role of information, which is a key factor in making managerial decisions. Digitalization opens new possibilities for analysis of information, its acquisition and processing, allowing to create more accurate predictive models and improve data quality [6].

These facts contribute to emergence of a network economy and a knowledge economy. Digitalization involves replacement of traditional tools for implementing various socio-economic processes with digital ones, because of which the environment of digital ecosystems is being developed [7].

It's worth stipulating that despite the active spread of the principles of digital transformation of the global economy and of the social sphere, empirical and research base allowing to assess

the effects of implementation of the corresponding digital initiatives have not been equal to the scale of the tasks, both regarding economic aspects, and generalization of possible spheres of implementation of digital technology.

The *objective* of the article is to present the results of the three-level study of prospects for scientific and technological development of the railway industry in the context of digitalization of the economy based on application of the *methods of system analysis* to international expertise and practices. The first level of the assessment was to identify the main directions of development of digital technologies which can be applied to railway transport; the second level was focused on the analysis of strategic railway documents developed in some regions and by some international organisations followed by identification of key trends in digital development; the third one made it possible to identify the most effective information technologies to be implemented for railways, particularly in the Russian Federation.

1. Main directions of digital technology development

Among main objectives pursued by digitalization, it is worth highlighting the increase in operational efficiency of various business processes, including:

- increasing speed, quality and accuracy of the processes performed;
- minimizing the number of errors and their significance, leveling the human factor;
- identifying new cause-effect relationships and dependencies by processing large arrays of unstructured information and applying advanced data analysis algorithms;
- transfer of physical and material objects into a digital environment for subsequent remote control and monitoring in real world, etc.

In the Russian Federation, in accordance with the Decree of the President dated May 7, 2018 No. 204 «On national goals and strategic tasks of development of the Russian Federation for the period until 2024» (hereinafter – the Decree), one of the priority tasks is implementation of breakthrough scientific, technological and social economic developments, including development of the digital economy [8].

To achieve the objectives and targets set by this Decree, a system of national programs (projects) was developed, including the

national program «Digital economy of the Russian Federation». The purpose of this national program is to provide necessary conditions for digital transformation of priority sectors of the economy and the social sphere, development and implementation of advanced domestic technologies and solutions created on the basis of «end-to-end» digital technologies (hereinafter – EDT), development of an integrated digital infrastructure and ecosystem [9].

In the framework of the federal project «Digital technologies» of the national program «Digital economy of the Russian Federation», special attention is paid to supporting development of EDT and their subsequent implementation in priority sectors of the economy and social sphere. The following are distinguished as EDT:

- quantum technologies;
- components of robotics and sensorics;
- neurotechnology and artificial intelligence;
- new manufacturing technologies;
- distributed registry systems;
- wireless technology;
- virtual and augmented reality technologies.

The priority areas for implementation of these technologies are industries that have a significant multiplier effect on other sectors of the economy.

One of such industries in Russia is the railway industry. According to the Strategy for scientific and technological development of Russia [10], the railway industry is one of the main elements of the transport system of urban agglomerations, it has the necessary innovative and scientific and technical potential for successful digital transformation. There are many researches devoted to that topic, and we also intend to address it in more details in further publications.

2. Strategic documents in the field of railway transport and key trends in digitalization: international experience

Digitalization in the railway industry is a complex, multifaceted process that affects various aspects of business processes and determines the direction of scientific and technological development. Despite the fact that development and implementation of digital technologies and solutions is not a core business for most railway companies, development of areas directly related to digitalization is today a major scientific and

technological priority for the entire industry. A rough estimate of the growth of income of railway companies from introduction of advanced intelligent developments only in the field of rolling stock traffic control and signalling is 19 billion euros per year [11].

At present, regional and international organisations and associations have a great influence on scientific and technological development of the railway industry. Those organizations actively publish reports and White Books, which highlight the priority areas for development of the railway industry, strategies for scientific and technological development, challenges, and the most successful products and technologies. Such documents have a direct impact on the development vector of the entire industry. Among those documents we can cite:

- White Book of the European Commission «Towards a single European transport space – towards a competitive and resource-saving transport system» (hereinafter referred as EU White Book);
- White Book of Association of American Railways «Putting Technology to Work. How freight Rail Delivers the 21st century» (hereinafter referred as AAR White Book);
- EU Rail Transport Development Program Shift2Rail (hereinafter referred as EU Program).

EU White Book

Creation of a single European transport space, development of an integrated approach and common standards for controlling movement of rolling stock, organization of high-speed passenger and freight traffic, and development of multimodal (intermodal) transportation are highlighted among key priorities for development of the railway industry in the EU White Book [12].

In the context of digitalization of the railway industry, the EU White Book identifies the following areas of scientific and technological development:

- use of advanced intelligent control systems for the railway network and passenger mobility information system;
- creation of an intelligent system for selling tickets for combined modes of transport (organization of multimodal transportation);
- optimization of traffic schedules and traffic flows by applying TEN-T system to infrastructure;
- use of intelligent transport systems;



- deployment of Galileo European global navigation satellite system;
- use of detection and tracking technologies;
- development of technology for protecting confidentiality of personal data;
- security technology development.

AAR White Book

The Association of American Railways pays considerable attention to improving safety of railway networks, reducing the negative impact on the environment, and developing appropriate legislation and technology [13].

Most of these areas are provided with digital technology. The priority areas of digitalization highlighted by AAR White Book are:

- real time monitoring of infrastructure facilities;
- use of innovative monitoring technologies to improve quality of equipment maintenance;
- prevention of errors caused by the human factor;
- introduction of special software for monitoring, planning and accounting of fuel and energy costs;
- use of intelligent sensors as part of maintenance and repair processes;
- use of big data and artificial intelligence technologies;
- automation of production processes.

EU program

The EU program emphasizes the importance of digital transformation for creating cost-effective and reliable trains, the use of new running gears, braking systems, and development of modular train components. Considerable attention is also paid to creating an economical, efficient, environmentally friendly and reliable infrastructure with high throughput capacity [14].

The priority areas of digitalization in the EU Program comprise:

- automated train control;
- virtual coupling technology for wagons;
- cybersecurity;
- introduction of smart stations;
- introduction of smart energy supplies;
- increasing compatibility of various services;
- introduction of tracking technologies for movement of trains, passengers and goods;
- creation of «service assistants» for travel.

We would like to also highlight the Report of the International Union of Railways entitled

«The Railway Operating Community (ROC) involvement in EU projects» (hereinafter referred as UIC Report). The UIC Report outlines the importance of developing multimodal transportation technologies and improving safety systems. A significant part of the UIC Report refers to development of energy efficiency technologies, increasing efficiency of power plants using hybrid technologies and energy storage systems and development of concepts for traction systems of the next generation [15].

Besides the indicated areas, the following digital solutions are highlighted in the UIC Report:

- research of automated, compatible and interconnected advanced traffic management systems;
- increasing capacity of railway by introducing automated train control systems;
- improvement and optimization of train tracking systems;
- development and application of monitoring systems and methods for collecting big data;
- increasing standardization and unification of information systems;
- development of intelligent passenger mobility management platforms.

Leading railway companies in the EU and USA are also actively implementing their own digital development strategies, identifying various advanced digital developments as their own priorities for scientific and technological development. However, it is worth noting that these strategies largely overlap and correlate with the above strategic development.

Table 1 generalizes key aggregated areas of scientific and technological development directly related to the digital transformation.

3. Priority technologies in the context of digitalization in the railway industry

Implementation of intelligent automation systems, optimization, and mechanization of internal business processes.

In this field, railway companies are actively introducing new means of interacting with customers in the digital environment. The most common way of digital interaction with a client is to create mobile applications. Their functionality allows electronic purchase and booking of tickets, laying of «door to door» routes using various categories of transport (buses, car sharing) [16].

**Aggregated directions of scientific and technological development of the railway industry
in the context of digitalization**

No.	Direction
1	Introduction of innovative systems for automation and mechanization of transportation processes
2	Resource, safety, risk and reliability management at different stages of the life cycle of railway facilities
3	Development and implementation of promising technical means and «end-to-end» technologies for railway transport infrastructure (railway automation and telemechanics, electrification and power supply, innovative information and telecommunication technology, etc.)
4	Development of transport and logistics systems in a single transport space

The use of digital technologies comprises introduction of smart tickets, which can be stored on the user's mobile device. Such tickets provide a single access to various modes of transport. Within the framework of mobile applications, a customer feedback system is implemented that allows companies to manage quality of the services provided [12].

To improve quality of user experience, «service assistants» are created. For travelers, these platforms provide opportunities to simplify «door to door» travel, to be escorted throughout the trip, considering personal preferences, solving unforeseen situations during the trip and simplifying interaction with various modes of transport involved in the process of travel. For commercial companies, these platforms make it possible to reduce time and money costs by forming the best route by analyzing a large number of parameters and selecting optimal values

The development and implementation of these platforms allows carriers to simplify the process of using company services by providing convenient user experience by analyzing big data, using artificial intelligence technologies, machine learning and providing recommendations for end users based on them.

One of the most important areas for modelling corporate-to-customer interaction is associated with predictive analytics and passenger traffic forecasting systems. Using these digital tools, it becomes possible to predict the magnitude of demand for transport services during a particular period by using big data technology. This technology is also used in implementation of dynamic pricing platforms.

The main effects of implementation of this area of digitalization are reduced time for data processing, increased fault tolerance, increased productivity and consumer loyalty.

Additional features include active use of business applications in internal processes,

linking digital devices of employees into a single information network, using business intelligence software, stimulating the work of employees using digital tools.

Unlike existing solutions, these technological trends can provide the company with the maximum volume of information about its activities, which allows to increase labor productivity and effectiveness of internal interaction.

Resource, safety, risk, and reliability management at the stages of the life cycle of railway facilities using digital systems.

Active implementation of digital technologies not only opens new business opportunities, but also entails new risks associated with cybercrime. As part of ensuring information- and cyber-security, digital systems are being integrated into integrated automated systems, are subject to continuous software improvement, while introduction of monitoring, maintenance and remote configuration of digital systems and equipment, and use of cybercriminal countermeasures are expanded [17].

Specific security measures include user identification and authentication, firewalling, restricting user access, distinguishing between open networks, encrypting data transferred outside the controlled zone, logging user and administrator actions, regularly updating software and using an open software product, anti-virus protection of information resources, management of information security tools, use of the principles of majorization and reservations.

To reduce the impact of the human factor in emergencies, as well as to reduce injuries in production, modern technologies are used, including various navigation systems, which, in turn, are necessary to provide shunting automatic locomotive signalling systems (MALS) with shunt-time information. It is



worth noting that improvement of traffic safety systems is based on creation of multi-level multifunctional systems for interval regulation of train traffic, interacting systems of automatic driving and diagnostics on rolling stock, which are inextricably linked with stationary automation, telemechanics, and information systems.

The sensors, digital means for monitoring the conditions of facilities, non-destructive testing technologies (without decommissioning the facility) are being actively introduced. Smart sensors, advanced analytical software and information exchange systems for monitoring equipment status in real time are being implemented. Implementation of high-precision coordinate systems, terrain design systems will allow monitoring the movement of high-speed trains. Also, laser and infrared detectors are placed near the railway track, evaluating the condition of axes and bearings of a moving train together with smart cameras.

Sensors to detect explosives, smart chips, and scanners are used as a means of ensuring passenger security at stations and in trains.

Digital terrain modeling is carried out by discrete scanning of the earth's surface. The real location of the object can be calculated due to a high-precision satellite receiver operating in a separate mode, synchronized with an inertial system. Having determined the rotation angles and relative deviations between the elements of the studied area, it becomes possible to identify the absolute coordinates of any point of laser reflection within the appropriate limits.

Automated monitoring of rolling stock maintenance will allow early detection of system malfunctions and maintenance errors. Monitoring, diagnostics, and monitoring the state of the infrastructure make it possible to identify in advance the precautionary states of track devices, power supply, automation, and telemechanics, and determine the causes of malfunctions [18].

Digital monitoring of railway facilities can increase safety, reduce the cost of the life cycle of rolling stock and infrastructure, reduce downtime of wagons, quickly identify and fix technical problems, distribute staff more efficiently, and increase economic and operational efficiency and labor productivity.

As part of digital transformation, introduction of smart power supplies is proposed, which develops systems for planning, rationing, accounting, and stimulating the saving of fuel

and energy resources, as well as maximizing fuel efficiency. The implementation of these tasks is carried out by introducing and using special software that allows to control fuel consumption based on the real time analysis of many variables, in particular, of topography, track geometry, train mass and length, wind speed.

Development and implementation of advanced technical means and «end-to-end» digital technologies for rolling stock and infrastructure (railway automation and telemechanics, electrification and power supply, innovative information, and telecommunication technology, etc.).

The key decisions in this scientific and technological area are automated systems for building operational traffic schedules, route planning systems, digital platforms for providing multimodal (intermodal, combined) transportation, digital platforms for managing transportation processes, auto-driving (autonomous rolling stock), intelligent dispatch control systems, unmanned transportation control technologies processes, including loading/unloading processes, «machine vision» (technology segment of artificial intelligence, the essence of which is to obtain and process real images in order to solve applied problems without full-scale human involvement).

Auto driving will increase transit capacity by reducing the intervals between trains, and will also help reducing energy consumption by locomotives, due to the use of optimal algorithms and the absence of a human factor influencing rolling stock control. It should be noted that machine learning technologies using data from sensors are used to analyze the situation. Alternative technologies include high-precision locomotive positioning detection tools and an electronic 3D map.

Digital simulation systems for railway infrastructure are amidst key technologies for creating a new type of railway system due to the significant development of sensor technologies, the amount of processed information, and the computing power of computers. The technology is able to improve the operational activities of the railway company and is a key one, on a par with intelligent systems, that uses the Internet of Things to create an effective multimodal and intermodal logistics systems.

Intelligent systems using the Internet of Things in the process of monitoring the status

of rolling stock and railway infrastructure [19], when successfully implemented in the operational activities of railway companies, will optimize maintenance. Subsequently, the successful implementation of IoT technologies will significantly automate the processes of rolling stock and railway infrastructure management.

Development of transport and logistics systems in a single transport and information environment.

Introduction of advanced information and communication systems is necessary to implement the process of developing transport and logistics systems in a single transport and information environment. These systems significantly accelerate the processes in the supply chain and allow real-time monitoring of the current state of the elements of the railway network.

The use of information and communication systems can simplify the process of short-term planning and booking schedule threads. These technologies make it possible to speed up the decision-making process by operators and to provide them with information regarding various parameters. The use of information and communication systems as a technological railway communication and data transmission channel allows to solve the problems of compatibility and safety of train traffic on railways.

In the process of introducing unified information and communication systems, processes of automation and simplification of dispatching work are achieved, which increase speed of processing requests, accuracy of the analysis of incoming information and safety of traffic management.

Besides information and communication systems, active implementation of intelligent integration technology platforms is also underway. It is purposed to create a single transport information environment that will allow carriers to have a complete understanding of the transportation process and make more efficient use of information on rolling stock. As part of implementation of this environment, carrier companies will have access to a centralized database with the necessary available information that can be used to make decisions, increase the efficiency of rolling stock operation, manage the company, which will result in lower costs, more efficient staff interaction.

Conclusions.

The above described digitalization trends in the railway industry are deepening thanks to the processes of globalization and internationalization of digital transformations in the field of doing business. The railway industry is becoming more open and seamless. Digitalization in the railway industry is carried out not only through introduction of new technologies, but also through rethinking traditional business models, by adaptation to the digital environment characteristic of the post-industrial economy.

It is possible to forecast that the results of application of economic forecasting methods and of a systematic analysis of forecasts of revenue growth from introduction of seamless technologies will witness a positive trend in development of the railway network technology market. The abundance of new products and solutions in the market indicates intensive digital transformation of the industry. An important feature of the applied and promising railway digital technologies is a high level of synchronization and mutual coordination of achievements from various fields, which allows obtaining a significant synergistic effect.

Most of modern digital technologies are already implemented or are scheduled to be implemented for railway transport in Russian Federation, and in JSC Russian Railways. However, dynamic developments of the digital systems will make railway organisations of all the countries consistently upgrade their assessments, prognostics, and action plans. So, regular analysis of best global practices, revealing prevailing trends, is a precondition for the railway companies could efficiently consider them while solving their tasks, specified by activity features and corporate strategy.

REFERENCES

1. Dobrynin, A. P. [et al]. Digital economy – different ways for efficient use of technologies (BIM, PLM, CAD, IOT, SmartCity, Big Data and others) [*Tsifrovaya ekonomika – razlichnie puti effektivnomu primeneniyu tekhnologii (BIM, PLM, CAD, IOT, SmartCity, Big Data i drugie)*]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2016, Iss. 1, pp. 4–11. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-razlichnye-puti-k-effektivnomu-primeneniyu-tehnologiy-bim-plm-cad-iot-smart-city-big-data-i-drugie/viewer>. Last accessed 08.07.2019.
2. Stepanova, V. V., Ukhanova, A. V., Grigorishin, A. V., Yahiaev, D. B. Evaluation of digital ecosystems of Russian regions [*Otsenka tsifrovoykh ecosystem regionov Rossii*]. *Economic and social changes: facts, tendencies, forecasts* [*Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tenentsii*,



prognoz], 2019, Vol. 12, Iss. 2, pp. 73–90. DOI: 10.15838/esc.2019.2.62. Last accessed 10.12.2019.

3. Nachira, F., Dini, P., Nicolai, A. A Network of Digital Business Ecosystems for Europe: Roots, Processes and Perspectives. Bruxelles: European Commission, 2007. [Electronic resource]: https://pdfs.semanticscholar.org/8932/731c1827c45a5c43ff21b809cc125eda99ec.pdf?_ga=2.182158127.988173208.1580476204-364919786.1579690786. Last accessed 08.07.2019.

4. Chang, E., West, M. Digital Ecosystems: A next generation of the collaborative environment. Conference iiWAS'2006, The 8th International Conference on Information Integration and Web-based Applications Services, Yogyakarta, Indonesia, 4–6 December 2006, pp. 3–24. [Electronic resource]: https://pdfs.semanticscholar.org/3d08/bad6a7d379a049639eb28440a42fd5af704.pdf?_ga=2.9613245.988173208.1580476204-364919786.1579690786. Last accessed 08.07.2019.

5. Hai Dong, Hussain, F. K., Chang, E. An integrative view of the concept of digital ecosystem. Proceedings of the 3rd International Conference on Networking and Services. Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, 2007, pp. 42–44. DOI: 10.1109/ICNS.2007.33.

6. Panshin, B. Digital economy: features and trends of development [Tsifrovaya ekonomika: osobennosti i tendentsii razvitiya]. *Nauka i innovatsii*, 2016, Iss. 157, pp. 17–20.

7. Avdeenko, T. V., Aletdinova, A. A. Digitalization of economy based on improvement of expert systems of knowledge management [Tsifrovizatsiya ekonomiki na osnove sovershenstvovaniya ekspertnykh sistem upravleniya znaniyami]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 2017, Iss. 1, pp. 7–18.

8. Decree of the President of Russian Federation dated May 07, 2018 No. 204 «On national goals and strategic tasks of development of the Russian Federation for the period until 2024» [Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 07 maya 2018 g. № 204 «O natsionalnykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2024 goda»]. Information-legal portal «Garant». [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/>. Last accessed 08.07.2019.

9. Passport of the National program «Digital economy of the Russian Federation» (approved by the presidium of the Council under the President of the Russian Federation for strategic development and national projects, minutes dated December 24, 2018, No. 16 [Pasport Natsionalnoi programmy «Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii» (utverzhdenn prezidiumom Soveta pri Prezidente Rossiiskoi Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i natsionalnym proektam, protokol ot 24 dekabrya 2018 g. № 16)]. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNLo6gczMkPF.pdf>. Last accessed 08.07.2019.

10. Strategy of scientific-technological development of the Russian Federation (approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated December 01, 2016 No. 642) [Strategiya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii (utverzhdenn Ukazom Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 01 dekabrya 2016 g. No. 642)]. Official website of the President of the Russian Federation. [Electronic resource]: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>. Last accessed 08.07.2019.

11. The rail sector's changing maintenance game. Official website of the consulting and auditor company McKinsey & Company. [Electronic resource]: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/travel%20transport%20and%20logistics/our%20insights/the%20rail%20sectors%20changing%20maintenance%20game/>

the-rail-sectors-changing-maintenance-game.ashx. Last accessed 08.07.2019.

12. White Book of the European Commission «Towards a single European transport space – towards a competitive and resource-saving transport system» [Electronic resource]: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0144>. Last accessed 08.07.2019.

13. Putting technology to work. How freight rail delivers the 21st century. Official website of Association of American Railways. [Electronic resource]: <https://www.aar.org/data/putting-technology-to-work-how-freight-rail-delivers-the-21st-century/>. Last accessed 08.07.2019.

14. EU rail transport development program Shift2Rail. Official website Shift2Rail. [Electronic resource]: <https://shift2rail.org/research-development/>. Last accessed 08.07.2019.

15. The Railway Operating Community (ROC) involvement in EU projects. Official website of the International Union of Railways. [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/a_project_book_on_roc_involvement.pdf. Last accessed 08.07.2019.

16. Report: Innovation for Railways. Official website of the consulting and auditor company PwC. [Electronic resource]: https://www.pwc.com/iv/iv/about/services/PwC_innovation_for_railways.pdf. Last accessed 08.07.2019.

17. Kiseleva, E. M. Railway as an object of cyberprotection [Zheleznaya doroga kak element kibershchity]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy vestnik*, 2018, Iss. 5, p. 166.

18. Zheleznov, M. M. Concept of monitoring and maintenance of infrastructure of transport railway corridors of CIS countries of «Space 1520» based on satellite and geoinformation technologies [Kontseptsiya monitoringa i soderzhaniya infrastruktury transportnykh zheleznodorozhnykh koridorov stran SNG «Prostranstva 1520» na osnove sputnikovyykh i geoinformatsionnykh tekhnologii]. *Bulletin of Joint scientific council of JSC Russian Railways*, 2011, Iss. 2, pp. 34–37.

19. Pevzner, V. O., Solovev, V. P., Zheleznov, M. M. Scientific bases of modeling of interaction of track and rolling stock in modern operating conditions [Nauchnie osnovy modelirovaniya vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii]. *Bulletin of Joint scientific council of JSC Russian Railways*, 2014, Iss. 4, pp. 8–14.

Acknowledgments

The authors are grateful to the colleagues who took part in the studies, the results of which were used in preparation of this article: Titova, Yulia A., Master in Management, Leading specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data, Lomonosov Moscow State University; Rakov, Dmitry A., Master in Management, Leading specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data, Lomonosov Moscow State University; Smirnov, Roman G., Master in Economics, Leading specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data, Lomonosov Moscow State University; Smirnova, Tatyana V., Ph.D. student of the department of Statistics, Leading economist of the Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University; Tereshchenko, Igor A., Master in Law, Leading specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data, Lomonosov Moscow State University; Trostyansky, Sergey S., Master in Economics, Deputy Director of the Center for Storage and Analysis of Big Data, Lomonosov Moscow State University. ●

T

НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

РЕЛЬСЫ 38

Оптимизация параметров работы рельсофрезерного поезда: от методики к конкретным рекомендациям.

КОНТЕЙНЕРЫ 50

Какая сила ветра может привести к опрокидыванию перевозимых по железной дороге порожних контейнеров.



СИГНАЛИЗАЦИЯ 62

Машинное зрение – алгоритм распознавания светофоров для машинистов локомотивов.

КОЛЁСНАЯ ПАРА 74

Физические процессы как основа для принятия решений по жизненному циклу колёсных пар в целом и для предложения авторской конструкции колеса в частности.

ЛОКОМОТИВЫ 82

Повышение эффективности эксплуатации: анализ данных для выявления влияющих факторов.

RAILS 44

Optimisation of parameters of rail-milling train: from methods to practical recommendations.

CONTAINERS 56

What should be the wind load to overturn empty containers transported by railway?

SIGNALLING 68

Machine vision: algorithm of recognition of signal lights for locomotive drivers.

WHEELSET 78

Physical process as a basis for decision-making on general life cycle of wheelsets and for suggestion of authors' design for discussion.

LOCOMOTIVES 88

Growth of operation efficiency: analysis of data to reveal influencing factors.





Исследование геометрических параметров режущего инструмента рельсофрезерного поезда



Олег КРАСНОВ



Андрей НЕДБАЙЛО

*Краснов Олег Геннадьевич – АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия.
Недбайло Андрей Викторович – АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия*.*

В статье изложены методы исследований геометрических параметров рабочего инструмента рельсофрезерного поезда после выявления в процессе подконтрольной эксплуатации после фрезерования поперечного профиля рельсов Р65 формы многоугольника и несоответствия требованиям стандарта. Данные методы были апробированы применительно к случаю рельсофрезерного поезда РФП-01. Для устранения причин формирования некачественного поперечного профиля специалистами АО «ВНИКТИ» был проведён комплекс исследований по установлению фактического профиля и подуклонки рабочего инструмента фрезерных колёс – кассет ствёрдосплавными пластинами. Произвольно отобраны по одной кассете с каждого фрезерного колеса. Выполнено измерение геометрических параметров кассет на координатно-измерительной машине. В результате

измерений получены облака точек рабочих поверхностей кассет. Для сжатия и распознавания изображений применено сингулярное разложение матрицы с размером $n \times 3$, где n – количество строк, равное количеству точек в облаке, столбцы – это координаты X, Y, Z . Дальнейшим шагом являлось разбиение облака точек на треугольники при помощи алгоритма Делоне.

С использованием вышеперечисленных приёмов получены линии резания кассет, образующие фактический формируемый профиль рельса. Линии резания совмещались относительно вертикальной оси с профилем рельса Р65 по условию достижения минимального среднеквадратического отклонения. В результате установлены причины некачественного формирования профиля рельсов Р65 после фрезерования и даны рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: железная дорога, координатно-измерительная машина, кассеты фрезерного колеса, облако точек, поверхность резания, алгоритм Делоне, сингулярное разложение облака точек поверхности резания кассет.

*Информация об авторах:

Краснов Олег Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий отделом пути и специального подвижного состава АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», Коломна, Россия, vnikti@ptl-kolomna.ru.

Недбайло Андрей Викторович – ведущий инженер отдела пути и специального подвижного состава АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», Коломна, Россия, vnikti@ptl-kolomna.ru.

Статья поступила в редакцию 17.09.2019, принята к публикации 20.12.2019.

For the English text of the article please see p. 44.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ФРЕЗЕРОВАНИЮ РЕЛЬСОВ

Фрезерование рельсов применяется для восстановления формы головки рельсов под требуемый профиль (далее рассматривается случай нового рельса типа Р65), удаления длинных и коротких волнообразных неровностей, снятия дефектного слоя металла на рабочих поверхностях головок рельсов в пути [1–3].

Применительно к российским требованиям критерием выбора вида технологии поверхностной обработки рельсов является глубина контактно-усталостных дефектов: при глубине дефектов менее 0,8 мм применяется шлифование, при глубине от 0,8 до 3,5 мм – фрезерование [4].

Путевые машины механической обработки рельсов должны обеспечивать необходимые стандарты поверхностной обработки, в данном случае предъявляемые к рельсам Р65. Достижение требуемых параметров при изготовлении новых образцов железнодорожной техники, в частности, рельсофрезерных поездов, сопряжено с отладкой оборудования. Для устранения дефектов, выявляемых в ходе испытаний, АО «ВНИКТИ» разработана методика. Цель данной статьи – описание методики исследований геометрических параметров рабочего инструмента рельсофрезерного поезда. Для иллюстрации было использовано исследование, связанное с рельсофрезерным поездом РФП-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Условия кейса

Для реализации технологии фрезерования рельсов АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» в кооперации с австрийской

фирмой MFL изготовил рельсофрезерный поезд РФП-1, который одновременно выполняет обработку поверхности катания обеих рельсовых нитей на глубину до 3,5 мм за один проход поезда [5]. Разработана инструкция по фрезерованию рельсов в пути и опытный технологический процесс «Работа с применением рельсофрезерного поезда РФП-1» [6; 7].

При проведении испытаний рельсофрезерного поезда РФП-1 как на правом, так и левом рельсах имело место формирование ломаного профиля с понижением поверхности катания к внешней стороне рельсов. Данная закономерность наблюдалась на всех профилях. Происходило формирование острого угла в зоне сопряжения обработанной и необработанной поверхности [8; 9]. Типичный ломаный профиль головки рельса после фрезерования представлен на рис. 1. Красным цветом (на соответствующую линию указывает верхняя стрелка в левой и правой частях рисунка) на рисунке обозначен новый рельс Р-65 по ГОСТ 51685-2013, зелёным (нижняя стрелка) – профиль рельса после фрезерования.

Анализ поперечного профиля рельса, формируемого при фрезеровании, показал необходимость того, что нужно условно разбить поперечный профиль на несколько зон. Границы зон фиксируются буквами алфавита.

Установлено, что:

- профили совпадают полностью в зоне на рабочей выкружке боковой грани (на участке от А до Б);
- на внутренней боковой грани профиля (рабочая грань) вслед за выкружкой (от Б до В) вместо радиуса сопряжения

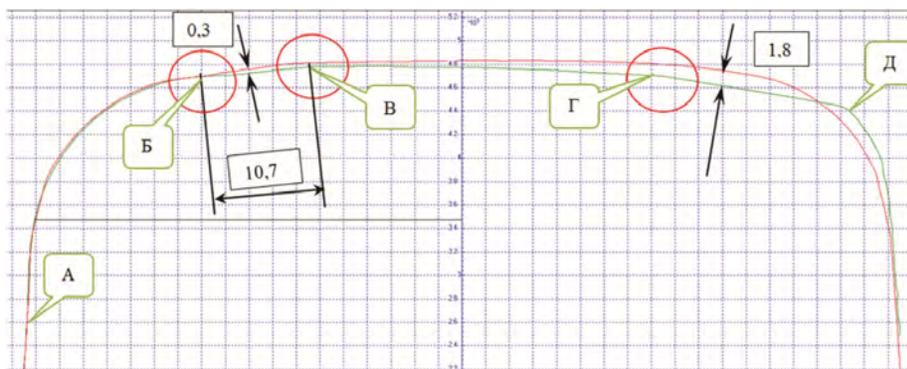


Рис. 1. Поперечные профили нового рельса Р65 и отфрезерованного рельса после фрезерования одновременно двумя секциями рельсофрезерного поезда СФ-1 + СФ-2, подуклонка 1:20 [8; 9].



Рис. 2. Координатно-измерительная машина Fusion-6 производства FARO.
[Электронный ресурс]:
http://www.metrologi.ru/img/flash/browyri/trexmer_kontr/kim_faro/fusion_arm5.pdf.
Доступ 20.10.2019.



Установленные в каждом «колене» датчики для компенсации температурных деформаций материалов конструкции «руки»

Функция Auto Sleep отключает КИМ при длительном простое

Конструкция из углепластика и авиационного алюминия

Встроенный уравновешивающий механизм

Щупы различных диаметров, удлинители, угловые оправки и дополнительные аксессуары

80 мм образуется прямой участок шириной 10,7 мм, формирующий продольную полосу, с глубиной в средней части до 0,5 мм;

- на участке от В до Г, который определяется радиусом 500 мм головки рельса, отфрезерованный профиль имеет угловое смещение по часовой стрелке по отношению к исходному профилю, что возможно при расхождении осей симметрии рельса и фрезерного колеса;

- на внешней поверхности головки рельса (нерабочей грани) вместо плавной поверхности симметричной рабочей грани имеет место поверхность с переломом профиля в точках Г и Д. На участке Г–Д образована наклонная площадка с занижением от заданного профиля до 2 мм.

Таким образом, поперечный профиль, формируемый при фрезеровании рельсофрезерным поездом РФП-1, совпадает с заданным профилем Р65 только в зоне рабочей выкружки, в остальных местах он не соответствует требуемому очертанию.

АЛГОРИТМ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ФРЕЗЕРНЫХ КОЛЁС

Для установления причин формирования профиля с отклонением от нового профиля рельса Р65 встала необходимость определения геометрических параметров

поверхностей резания кассет фрезерных колёс рельсофрезерного поезда РФП-1 для оценки степени отклонения профилей. Объектом исследований являлись четыре кассеты, демонтированные с четырёх фрез: две – с секции фрезерной № 1 и две – с секции фрезерной № 2 [10]. Определение геометрических параметров кассет производилось с помощью координатно-измерительной машины (КИМ), в нашем случае – Fusion-6 производства FARO (рис. 2)¹.

Конструкция КИМ FARO похожа на строение человеческой руки. Имеет плечевой, локтевой и кистевой суставы. На плечевом суставе располагается крепёжная плита, с помощью которой машина устанавливается на плоскую поверхность. На кистевом суставе монтируется измерительный щуп.

В каждом суставе имеются датчики угловых перемещений. В режиме реального времени КИМ рассчитывает углы поворота каждого из 12 датчиков угла поворота и координаты измерительного щупа в пространстве.

КИМ осуществляет измерения в рабочей зоне 1800 мм при повторяемости изме-

¹ Мобильные координатно-измерительные машины FARO Quantum Arm. https://www.vivtech.ru/production/kim_faro/faro_arm/.

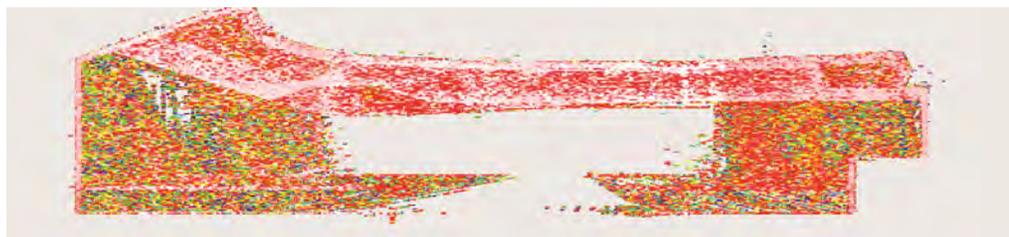


Рис. 3. Облако точек кассет в изометрии с видом боковой поверхности кассеты и поверхности резания [11].

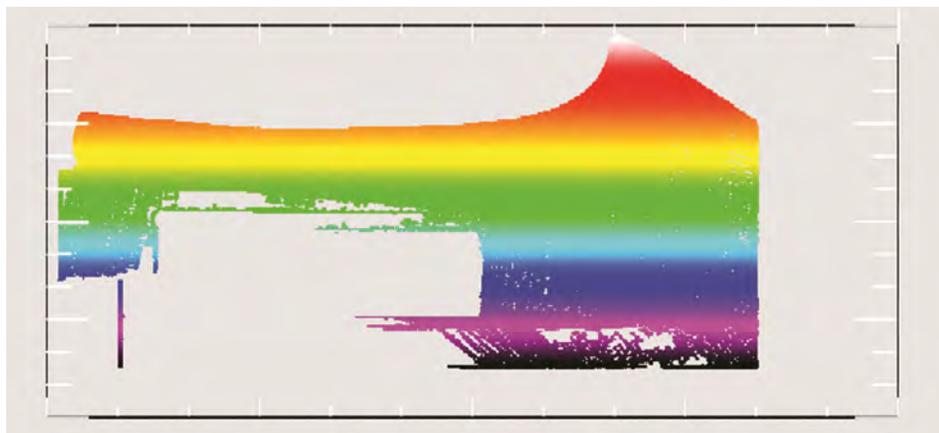


Рис. 4. Построенная по данным облака точек линия резания кассеты в плоскости YZ [11].

рения точки 0,036 мм с погрешностью линейных измерений $\pm 0,051$ мм.

Проведено полное измерение четырёх кассет фрезерных колёс рельсофрезерного поезда РФП-01.

В результате измерений получено облако точек для каждой кассеты. Результаты измерений облака точек рабочей поверхности кассеты представлены на рис. 3.

Из полученного в результате измерений общего облака точек выделены облака точек для каждой из твёрдосплавных пластин. По каждому облаку точек с помощью матричных преобразований (сингулярное разложение) [12] и с использованием алгоритма Делоне [13; 14] (разбиение облака точек на треугольники) определялись точки, лежащие в горизонтальной и вертикальной плоскостях твёрдосплавных пластин.

По отобранным точкам выводилась формула плоскости вида:

$$x \cdot \cos a + y \cdot \cos b + z \cdot \cos c - p = 0,$$

где a, b, c — углы вектора нормали плоскости к осям X, Y, Z .

Форма линии кромки резания твёрдосплавной пластины определялась как пересечение передней вертикальной и горизонтальной плоскостей. Вокруг полученной прямой отобраны реальные точки из исходного облака точек. Путём совмещения кромок резания всех пластин на кассете получена линия резания кассеты, образующая фактический формируемый профиль рельса (профиль резания кассеты). Результаты построения линии резания кассеты показаны на рис. 4.

По пространственным координатам облака точек построено изображение кассет в изометрии. Построенное по облаку точек изображение твёрдосплавных пластин на рабочей поверхности кассеты представлено в изометрии на рис. 5.

Линия резания кассеты, образующая фактический профиль рельса после обработки, и профиль рельса Р65 по ГОСТ-51 685-2013 [15] совмещались относительно вертикальной оси рельса по условию максимального совпадения контуров, то есть до



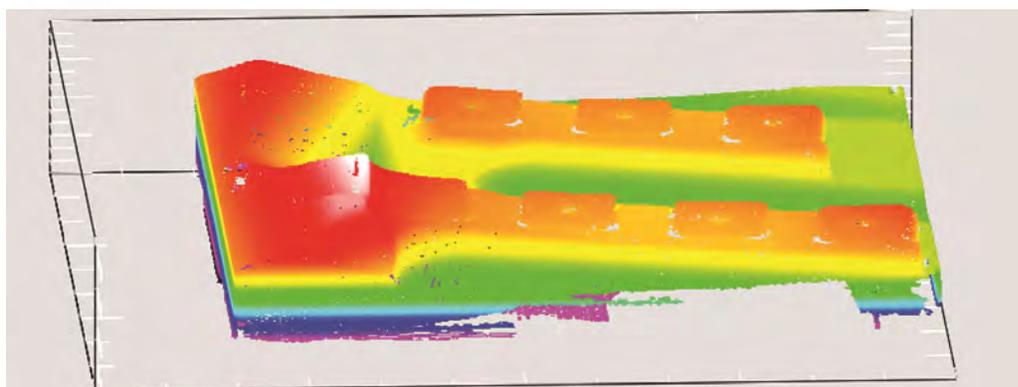


Рис. 5. Построенное по данным облака точек изображение кассеты с твердосплавными пластинами в изометрии в координатах XYZ [11].

Таблица 1

Результаты расчётов подуклонки по поверхности резания фрез [12]

№	Номер кассеты	Угол поворота, °	Подуклонка
1	383_84	1,5	1:38
2	383_54	1,3	1:44
3	384_15	1,7	1:34
4	384_74	1,8	1:32

достижения минимального среднеквадратичного отклонения (СКО). Наложением линии резания кассеты, образующей фактический профиль рельса Р65 после обработки, и профиля рельса Р65 получено положение вертикальной оси Z кассеты.

По результатам наложения профилей линий резания кассеты и профиля рельса Р65 определялся угол между осью симметрии поперечного профиля рельса и вертикальной осью Z линии резания кассеты, образующей фактический профиль рельса после обработки, на основании которого определялась фактическая подуклонка.

Построенные в соответствии с методикой обработки результатов измерений линии резания совмещались с новым профилем рельса Р65 до достижения минимального СКО между накладываемыми профилями. Результаты совмещения и расчёт подуклонки поверхности резания кассет представлены в табл. 1.

Таким образом, рассчитанные по результатам измерений на выбранных кассетах по одной с каждой фрезы величины подуклонки изменялись в пределах от 1:32 до 1:44. Полученные значения подуклонки близки к нормативному устройству европейской рельсовой колеи – 1:40 и не соот-

ветствует требованиям [16], определяющим для российских железных дорог значение подуклонки 1:20.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Результаты совмещения поверхности катания рельса Р65 и линии резания, полученной с помощью измерений, которые аппроксимированы по самой «высокой» линии выступов неровностей, то есть профиль Р65 и профиль, развёрнутый до фактической поверхности резания, для всех четырёх кассет показали:

- профиль резания кассеты № 1 имеет поверхность, близкую к профилю Р65;
- профиль резания кассеты № 2 имеет поверхность, отличающуюся от профиля Р65 более значительно с учётом износа режущих граней пластин;
- профиль резания кассеты № 3 имеет поверхность, ещё более отличающуюся от профиля Р65, с учётом более сильного износа режущих граней твёрдосплавных пластин;
- профиль резания кассеты № 4 имеет местные горизонтальные участки с большими выступами, образуемые в результате неправильной настройки пла-

стин 1 и 3 ряда № 1 и пластин 2 и 3 ряда № 2 кассеты.

ВЫВОДЫ

1. Для установления причин формирования профиля рельса Р65 после фрезерования поездом РФП-1 выполнены измерения геометрических параметров поверхностей резания кассет фрезерных колёс с применением высокоточной координатно-измерительной машины.

2. Разработана методика определения геометрических параметров режущего инструмента фрезерных колёс с преобразованием облака точек методом сингулярного разложения и построения 3D-моделей кассет с использованием алгоритмов Делоне.

3. В результате выполненных исследований геометрических параметров линии резания кассет установлены причины повторяющихся недостатков сформированного после фрезерования профиля рельса:

- несоответствие величины фактической подуклонки кассет нормативному номиналу подуклонки рельсов, установленному на российских железных дорогах;
- некачественно проведённая настройка режущих граней пластин на измерительном столе;
- отсутствие проверки на радиальное биение.

Величины фактической подуклонки кассет близки к нормативному устройству европейской рельсовой колеи (1:40), но не к российской (1:20).

Фактическая подуклонка на произвольно выбранных кассетах на четырёх фрезерных колёсах имеет разброс от 1:32 до 1:44.

Производителям рельсофрезерного поезда даны соответствующие рекомендации.

Показанная в статье методика исследования геометрических параметров режущего инструмента представляется достаточно универсальной (при адаптации вводимых целевых значений к соответствующему стандарту) для применения в условиях железных дорог различных стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nagelkrämer, P., Wolff, K.-D. Fräsen und Schleifen in einem Arbeitsgang – DB Netz AG zeigt Profil [Milling and grinding in a single operation – DB Netz AG shows its mettle]. Eisenbahningenieur, April 2006, Vol. 57, Iss. 4, S. 20–22. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=2022>. Доступ 08.07.2019.

2. Hartleben, D. Die neue Schienenfräse SFU04 für Vollbahnen und Metro-Netze im Einsatz. Eisenbahningenieur, September 2008, Vol. 59, Iss. 9, S. 38–44. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=20006>. Доступ 08.07.2019.

3. Diest, von K. High-Speed Grinding: Schienenschleifen nach Fahrplan. ZEVrail, 2010, No. 5, pp. 164–169. [Электронный ресурс]: <https://www.zevrail.de/artikel/high-speed-grinding-schienenschleifen-nach-fahrplan>. Доступ 08.07.2019.

4. Janicki, J. Instandhaltung der Fahrweganlagen. Deine Bahn, 2010, pp. 48–52. [Электронный ресурс]: <https://www.system-bahn.net/unkategorisiert/instandhaltung-der-fahrweganlagen/>. Доступ 08.07.2019.

5. Поезд рельсофрезерный РФП-1: техн. задание: утв. ОАО «РЖД» 22.09.2008.

6. Инструкция по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2014 г. № 3185р в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.06.2019 № 1088р. – 72 с.

7. Работы с применением рельсофрезерного поезда РФП-1: опытный технологический процесс: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 07.06.2011 г. № 417у-11.

8. Анализ полученных результатов приёмочных испытаний РФП-1: отчёт о НИР: И-35-14 / ОАО «ВНИКТИ». – Коломна, 2014. – 181 с.

9. Анализ полученных результатов приёмочных испытаний РФП-1: отчёт о НИР: И-12-16 / ОАО «ВНИКТИ». – Коломна, 2016. – 125 с.

10. О проведении измерений поверхности резания кассет фрезерных колёс рельсофрезерного поезда РФП-1: отчёт о НИР: И-01-17 / АО «ВНИКТИ». – Коломна, 2017. – 29 с.

11. Расчёт построения поверхности резания кассет фрезерных колёс рельсофрезерного поезда РФП-01 / АО «ВНИКТИ». – Коломна, 2017. – 27 с.

12. Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. 2nd edition, Cambridge, Cambridge univ. press, 1992, 994 p. [Электронный ресурс]: https://www.ccc.uchile.cl/cinetica/pcordero/MC_libros/NumericalRecipesinC.pdf. Доступ 08.07.2019.

13. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с. [Электронный ресурс]: <http://www.inf.tsu.ru/library/Publications/2002/09.pdf>. Доступ 08.07.2019.

14. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение / Пер. с англ. С. А. Вичеса, М. М. Комарова. – М.: Мир, 1989. – 478 с. [Электронный ресурс]: <http://www.bookshare.net/index.php?author=preparata-f&book=1989&category=math&id1=4>. Доступ 08.07.2019.

15. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия (с изменением № 1). – Взамен ГОСТ Р 51685-2000; введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 95 с. [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293774/4293774917.pdf>. Доступ 08.07.2019.

16. Инструкция по текущему содержанию пути: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р. – М., 2016. – 286 с.





The Study of Geometric Parameters of Cutting Tool of a Rail-Milling Train



Oleg G. KRASNOV



Andrey V. NEDBAYLO

Krasnov, Oleg G., JSC Research and Design and Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.
Nedbaylo, Andrey V., JSC Research and Design and Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.*

ABSTRACT

The article presents the methods of study of geometric parameters of a working tool of a rail-milling train after revealing after the process of controlled operation of milling the polygon-shaped transverse profile of R65 rails not meeting the requirements of the standard. Those methods were tested in the case of rail-milling train of RFP-01 model. To eliminate the causes of formation of a poor-quality transverse profile, the specialists of JSC VNIKTI conducted a series of studies to establish the actual profile and incline of a working tool of milling wheels which are plate-holders with carbide plates. A plate-holder from each milling wheel was randomly selected. The geometric parameters of plate-holders were measured with a coordinate measuring machine. As a result of measure-

ments, clouds of points of working surfaces of plate-holders were obtained. To compress and recognize images, a singular $n \times 3$ matrix decomposition was used, where n is the number of rows equal to the number of points in the cloud, the columns are the coordinates X, Y, Z . The next step was to split the point cloud into triangles using the Delaunay triangulation algorithm.

Using the above methods, plate-holders' cutting lines were obtained that form the actually shaped rail profile. The cutting lines were aligned relative to the vertical axis with the R65 rail profile as per the condition of achieving the minimum root-mean-square deviation. As a result, the reasons for poor-quality shape of R65 rail profile after milling were established, and recommendations were formulated for their elimination.

Keywords: railways, coordinate measuring machine, milling wheel plate-holders, point cloud, cutting surface, Delaunay algorithm, singular decomposition of the point cloud of cutting surface of plate-holders.

*Information about the authors:

Krasnov, Oleg G. – Ph.D. (Eng), Head of the Division of Track and Technical Rolling Stock of JSC Research and Design and Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, vnikti@ptl-kolomna.ru.

Nedbaylo, Andrey V. – Leading engineer of the Division of Track and Technical Rolling Stock of JSC Research and Design and Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, vnikti@ptl-kolomna.ru.

Article received 17.09.2019, accepted 20.12.2019.

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

Rail milling: state-of-the-art

Rail milling is used to restore the shape of the rail head to suit the target profile (hereinafter the case of a new R65 rail is considered), to remove long and short wave-like irregularities, and to remove the defective metal layer from working surfaces of rail heads on the track [1–3].

In case of Russia requirements, the criterion for choosing the type of technology for surface treatment of rails is the depth of contact fatigue defects: grinding is used with a depth of defects less than 0,8 mm, and milling with a depth of 0,8 to 3,5 mm [4].

Track machines of mechanical treatment of rails should ensure compliance with the set standards of surface treatment, in the considered case they should comply with standards with regard to R65 rails. Obtaining of required parameters when new types of rail track machines, e.g. rail-milling trains, are manufactured, is associated with debugging. The JSC VNIKTI has developed the set of methods to eliminate the defaults revealed during testing. The *objective* of the article is to describe the methods of the study of geometric parameters of a working tool of rail-milling train. The study of RFP-01 rail-milling train was used as the case.

Results.

Case conditions

To implement the technology of milling of rails, JSC Kaluga Remputmash [Track Repair Machines] Plant together with the Austrian company MFL manufactured the RFP-1 rail-milling train, which simultaneously processes

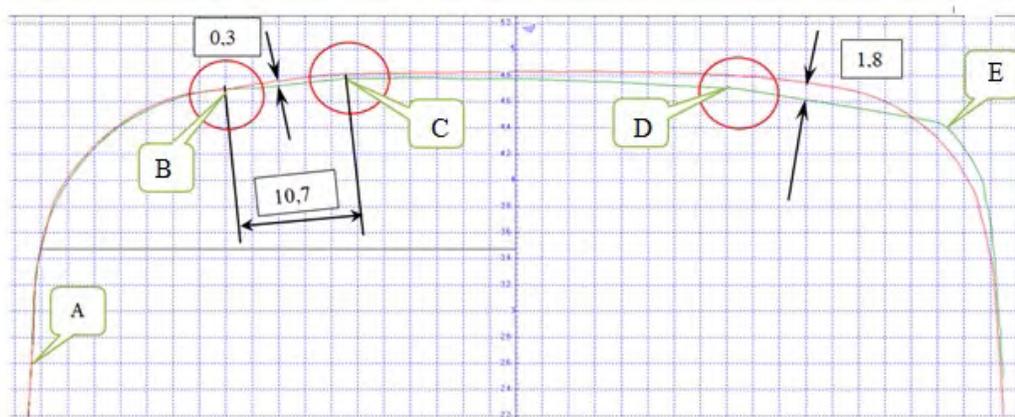
the rolling surface of both rails to a depth of up to 3,5 mm in only a single pass [5]. Instructions were developed for milling of rails along the route followed by the description of an experimental technological process «Operations using the RFP-1 rail-milling train» [6; 7].

When testing the RFP-1 rail-milling train on both the right and left rails, a broken profile was formed with a lowering of the rolling surface towards the outer side of rails. This pattern was observed on all profiles. An acute angle was formed in the mating zone of the treated and untreated surfaces [8; 9]. A typical broken profile of the rail head after milling is shown in Pic. 1. The red color (the corresponding line is also indicated by the upper arrow in the left and right parts of the picture) in the picture indicates the new R65 rail in accordance with GOST [State standard] 51685-2013, the green color (or lower arrow) shows the rail profile after milling.

Analysis of the transverse profile of the rail shaped during milling showed the need for conditionally dividing the transverse profile into several zones. The boundaries of zones are fixed by the letters of the alphabet.

It has been established that:

- profiles coincide completely in the zone on the working coving of the side face (in the area from A to B);
- on the inner side face of the profile (working face) following the coving (from B to C) instead of the mating radius of 80 mm a straight section of 10,7 mm wide is formed, forming a longitudinal strip, with a depth in the middle part of up to 0,5 mm;
- on the section from C to D, which is determined by a radius of 500 mm of the rail



Pic. 1. Transverse profiles of a new R65 rail and a rail milled simultaneously by two SF-1 and SF-2 sections of the rail-milling train; incline is 1:20 [8; 9].



Pic. 2. Fusion-6 coordinate measuring machine manufactured by FARO. [Electronic resource]:
http://www.metrologi.ru/img/flash/browyri/trexmer_kontr/kim_faro/fusion_arm5.pdf.
 Last accessed 20.10.2019.

head, the milled profile has an angular shift clockwise with respect to the original profile, which is possible when the axes of symmetry of the rail and the milling wheel diverge;

- on the outer surface of the rail head (non-working face) instead of a smooth surface of a symmetrical working face there is a surface with a fracture of the profile at points D and E. In D–E section, an inclined platform is formed with an understatement from a given profile up to 2 mm.

Thus, the transverse profile formed during milling by RFP-1 rail-milling train coincides with the given profile R65 only in the zone of the working coving, in other sites it does not correspond to the required shape.

Algorithm and methods for determining geometric parameters of a cutting tool of milling wheels

To establish the reasons for formation of the profile with a deviation from the new R65 rail profile, it became necessary to determine geometric parameters of cutting surfaces of plate-holders of milling wheels of the RFP-1 rail-milling train to

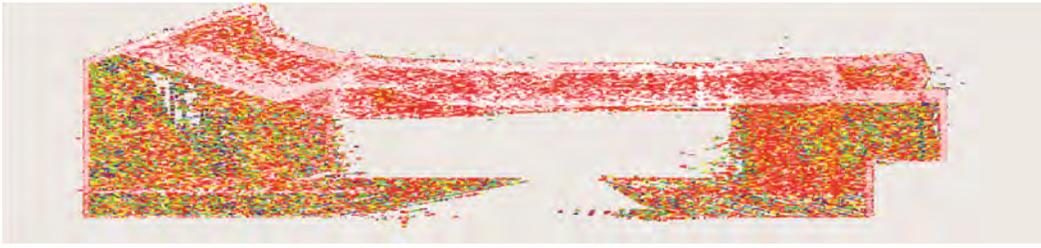
assess the degree of profile deviation. The study used as objects four plate-holders, dismantled from four milling cutters: two from the milling section No. 1 and two from the milling section No. 2 [10]. The geometric parameters of plate-holders were determined using a coordinate measuring machine (CMM), in our case we used CMM FARO Fusion-6 (Pic. 2)¹.

The design of CMM FARO is similar to the structure of a human hand. It has a shoulder, ulnar and carpal joints. There is a mounting plate on the shoulder joint, with which the machine is mounted on a flat surface. A measuring probe is mounted on the wrist joint.

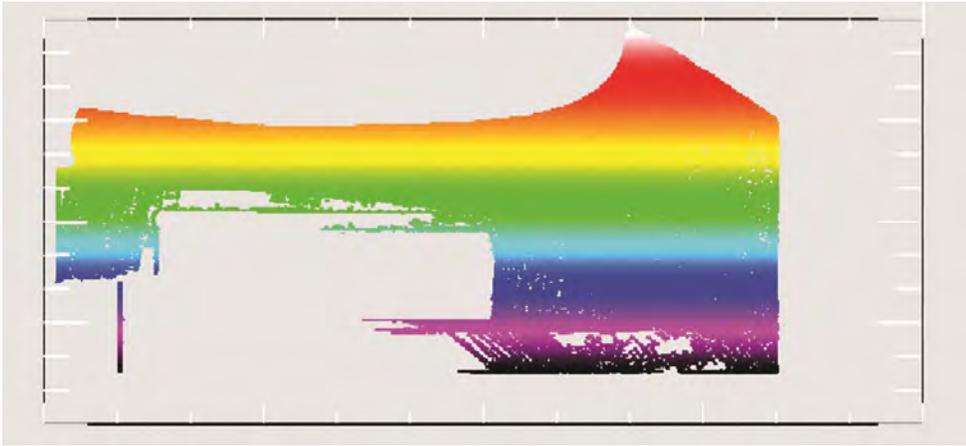
Each joint has angular displacement sensors. In real time, CMM calculates rotation angles of each of 12 rotation angle sensors and coordinates of the measuring probe in space.

CMM performs measurements in the working area of 1800 mm with a repeatability

¹ FARO Quantum Arm. https://www.vivtech.ru/production/kim_faro/faro_arm.



Pic. 3. The cloud of points of plate-holders in isometric view of the side surface of the plate-holder and the cutting surface [11].



Pic. 4. The cutting line of the plate in YZ plane built on the point cloud data [11].

of measuring the point of 0,036 mm with an accuracy of linear measurements of $\pm 0,051$ mm.

The complete measurement of four plate-holders of milling wheels of the rail-milling train RFP-01 was carried out.

As a result of measurements, a point cloud was obtained for each plate-holder. The results of measurements of the cloud of points of the working surface of the plate-holder are shown in Pic. 3.

From the common point cloud obtained as a result of measurements, point clouds for each of the carbide plates are selected. For each point cloud, using matrix transformations (singular expansion) [12] and using the Delaunay algorithm [13; 14] (dividing a point cloud into triangles), points lying in the horizontal and vertical planes of carbide plates were determined.

Based on the selected points, a formula of the plane of the form was derived:

$$x \cdot \cos a + y \cdot \cos b + z \cdot \cos c - p = 0,$$

where a, b, c are angles of the normal vector of the plane to the axes X, Y, Z .

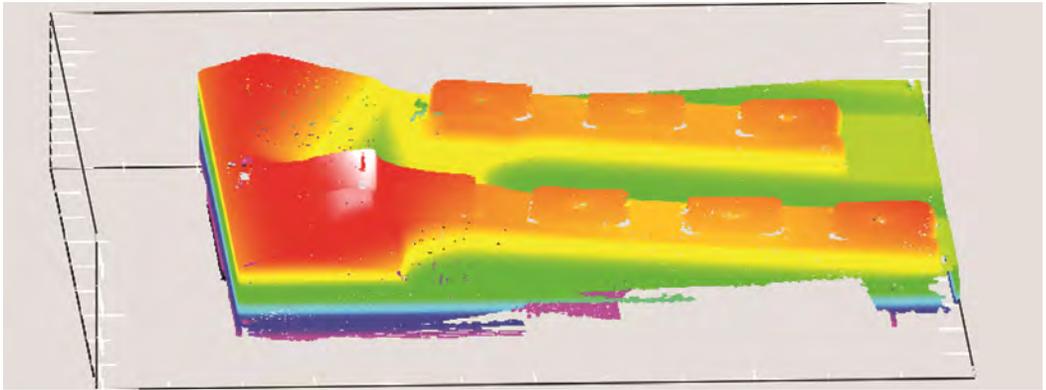
The shape of the cutting edge line of the carbide plate was defined as the intersection of

the front vertical and horizontal planes. Around the line obtained, real points from the original point cloud are selected. By combining the cutting edges of all the plates on the plate-holder, a plate-holder cutting line is obtained that forms the actual shaped rail profile (plate-holder cutting profile). The results of building the cutting line of the plate-holder are shown in Pic. 4.

Using the spatial coordinates of the point cloud, an isometric image of plate-holders is built. The image of carbide plates on the working surface of the plate-holder built from a point cloud is shown in isometry in Pic. 5.

The cutting line of the plate-holder, forming the actual rail profile after processing, and the rail profile R65 according to GOST R51685-2013 [15] were aligned relative to the vertical axis of the rail according to the condition of maximum coincidence of the contours, that is, until the minimum root-mean-square deviation (RMS) is achieved. By superimposing the cutting line of the plate-holder, forming the actual profile of the rail R65 after processing, and the profile of





Pic. 5. An image of a plate-holder with carbide plates in isometry in XYZ coordinates built on point cloud data [11].

Table 1

The results of calculations of incline on the cutting surface of cutters [12]

No.	Plate-holder number	Rotation angle, °	Incline
1	383_84	1,5	1:38
2	383_54	1,3	1:44
3	384_15	1,7	1:34
4	384_74	1,8	1:32

the rail R65, the position of the vertical axis Z of the plate-holder is obtained.

Based on the results of applying the profiles of the cutting lines of the plate-holder and the profile of the rail R65, the angle between the axis of symmetry of the transverse profile of the rail and the vertical axis Z of the cutting line of the plate-holder, which forms the actual profile of the rail after processing, was determined based on which the actual incline was determined.

The cutting lines constructed in accordance with the procedure for processing the measurement results were combined with the new R65 rail profile until the minimum RMS deviation between the superimposed profiles was achieved. The results of the combination and the calculation of incline of the cutting surface of the plate-holder is presented in Table 1.

Thus, the magnitude of the incline calculated from the measurements on the selected plate-holders, one from each cutter, varied from 1:32 to 1:44. The obtained values of the incline are close to the normative structure of the European rail gauge (1:40) and do not comply with the requirements [16], which determine the value of the incline 1:20 for Russian railways.

The measurement results of the geometry of the cutting tool

The results of combining the rolling surface of R65 rail and the cutting line obtained by measurements that are approximated by the «highest» line of ledges of irregularities, that is, R65 profile and the profile deployed to the actual cutting surface for all four plate-holders showed that:

- cutting profile of the plate-holder No. 1 has a surface close to the R65 profile;
- cutting profile of the plate-holder No. 2 has a surface that differs from R65 profile more significantly, taking into account wear of the cutting faces of the plates;
- cutting profile of the plate-holder No. 3 has a surface that is even more different from the R65 profile, taking into account more severe wear of the cutting faces of carbide plates;
- cutting profile of the plate-holder No. 4 has local horizontal sections with large protrusions resulting from improper adjustment of plates 1 and 3 of row No. 1 and plates 2 and 3 of row No. 2 of the plate-holder.

Conclusions

1. To establish the causes of formation of the R65 rail profile after milling by RFP-1

train, measurements were made of the geometric parameters of the cutting surfaces of the milling wheel of plate-holders using high-precision coordinate measuring machine.

2. A technique has been developed for determining the geometric parameters of the cutting tool of milling wheels with conversion of a point cloud by the method of singular decomposition and for construction of 3D models of plate-holders using Delaunay algorithms.

3. As a result of studies of geometric parameters of the cutting line of the plate-holders, the causes of the repeated defects of the rail profile shaped after milling are established:

- discrepancy between the value of actual incline of the plate-holders and the standard rail incline's nominal value established on the Russian railways;
- low-quality adjustment of the cutting faces of plates on the measuring table;
- lack of radial runout test.

Values of the actual incline of the plate-holders are close to the regulated status of the European rail track (1:40), but not to the Russian one (1:20).

The actual incline on randomly selected plate-holders on four milling wheels has a scatter from 1:32 to 1:44.

The relevant recommendations were addressed to rail-milling train manufacturers.

The set of methods to study geometric parameters of the cutting tool described in the article seems to be quite universal to be used under the conditions prevailing at railways of different countries, once its target parameters are adapted to relevant standards.

REFERENCES

1. Nagelkrämer, P., Wolff, K.-D. Fräsen und Schleifen in einem Arbeitsgang – DB Netz AG zeigt Profil [Milling and grinding in a single operation – DB Netz AG shows its mettle]. *Eisenbahningenieur*, April 2006, Vol. 57, Iss. 4, S. 20–22. [Electronic resource]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=2022>. Last accessed 08.07.2019.
2. Hartleben, D. Die neue Schienenfräse SFU04 für Vollbahnen und Metro-Netze im Einsatz. *Eisenbahningenieur*, September 2008, Vol. 59, Iss. 9, S. 38–44. [Electronic resource]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=20006>. Last accessed 08.07.2019.
3. Diest, von K. High-Speed Grinding: Schienenschleifen nach Fahrplan. *ZEVrail*, 2010, No. 5, pp. 164–169. [Electronic resource]: <https://www.zevrail.de/artikel/high-speed-grinding-schienenschleifen-nach-fahrplan>. Last accessed 08.07.2019.
4. Janicki, J. Instandhaltung der Fahrweganlagen. *Deine Bahn*, 2010, pp. 48–52. [Electronic resource]:

<https://www.system-bahn.net/unkategorierte/instandhaltung-der-fahrweganlagen/>. Last accessed 08.07.2019.

5. Rail-milling train RFP-1: tech. assignment: approved by JSC Russian Railways 22.09.2008 [*Poezd relsofrezerniy RFP-1: tekhn. zadanie: utv. OAO «RZD» 22.09.2008*].

6. Instructions for grinding and milling of rails on the route and under stationary conditions: approved by the order of JSC Russian Railways dated 29.12.2014 No. 3185r as amended by the decisions of JSC Russian Railways dated 03.06.2019 No. 1088/r [*Instruktsiya po shlifovke i frezerovaniyu relsov v puti i stacionarnykh usloviyakh: utv. rasporyazheniem OAO «RZD» ot 29.12.2014 No. 3185r v red. rasporyazheniya OAO «RZD» ot 03.06.2019 No. 1088/r*]. 72 p.

7. Operations using RFP-1 rail-milling train: an experimental process: approved by the order of JSC Russian Railways dated 07.06.2011 No. 417u-11 [*Raboty s primeneniem relsofrezernogo poezda RFP-1: opytnyy tekhnologicheskyy protsess: utv. rasporyazheniem OAO «RZD» ot 07.06.2011 No. 417u-11*].

8. Analysis of the obtained results of commissioning tests of RFP-1: research report: I-35-14/OJSC VNIKTI [*Analiz poluchennykh rezultatov priemochnykh ispytaniy RFP-1: otchet o NIR: I-35-14/OAO «VNIKTI»*]. Kolomna, 2014, 181 p.

9. Analysis of the obtained results of commissioning tests of RFP-1: research report: I-12-16/OJSC VNIKTI [*Analiz poluchennykh rezultatov priemochnykh ispytaniy RFP-1: otchet o NIR: I-12-16/OAO «VNIKTI»*]. Kolomna, 2016, 125 p.

10. On measurements of the cutting surface of plate-holders of milling wheels of RFP-1 rail-milling train: research report: I-01-17/JSC VNIKTI [*O provedenii izmerenii poverkhnosti rezaniya kasset frezernykh koles relsofrezernogo poezda RFP-1: ootchet o NIR: I-01-17/OAO «VNIKTI»*]. Kolomna, 2017, 29 p.

11. Calculation of construction of the cutting surface of plate-holders of milling wheels of the rail-milling train RFP-01/JSC VNIKTI [*Raschet postroeniya poverkhnosti rezaniya kasset frezernykh koles relsofrezernogo poezda RFP-01/JSC VNIKTI*]. Kolomna, 2017, 27 p.

12. Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, 2nd edition, Cambridge, Cambridge univ. press, 1992, 994 p. [Electronic resource]: https://www.ccc.uchile.cl/cinetica/pcordero/MC_libros/NumericalRecipesinC.pdf. Last accessed 08.07.2019.

13. Skvortsov, A. V. Delaunay triangulation and its application [*Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye*]. Tomsk, Publishing house of Tomsk University, 2002, 128 p. [Electronic resource]: <http://www.inf.tsu.ru/library/Publications/2002/09.pdf>. Last accessed 08.07.2019.

14. Preparata, F., Sheimos, M. Computational geometry [*Vychislitel'naya geometriya*]. Moscow, Mir publ., 1989, 478 p. [Electronic resource]: <http://www.bookshare.net/index.php?author=preparata-f&book=1989&category=math&id1=4>. Last accessed 08.07.2019.

15. GOST [State standard] R51685-2013. Railway rails. General technical conditions (with amendment No. 1). Instead of GOST R51685-2000; ent. 2014-07-01 [*GOST R51685-2013. Relys zheleznodorozhnie. Obshchie tekhnicheskije usloviya (s izmeneniyem No. 1). Vzamen GOST R51685-2000; vved. 2014-07-01*]. Moscow, Standartinform, 2014, 95 p. [Electronic resource]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293774/4293774917.pdf>. Last accessed 08.07.2019.

16. Instructions for current track maintenance: approved by the order of JSC Russian Railways dated 14.11.2016 No. 2288r [*Instruktsiya po tekushchemu soderzhaniyu puti: utv. rasporyazheniem OAO «RZD» ot 14.11.2016 No. 2288r*]. Moscow, 2016, 286 p. ●





Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок



Владимир ПОПОВ



Анна МАТЕШЕВА



Филипп СУХОВ



Юлия БОЛАНДОВА

Попов Владимир Георгиевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Матешева Анна Владимировна – Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия.

Сухов Филипп Игоревич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Боландова Юлия Константиновна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Статья раскрывает проблемы нарушения безопасности движения, возникающие в результате опрокидывания порожних контейнеров на ветрозависимых участках железных дорог.

В данной работе в качестве примера приведён ряд транспортных происшествий в различных регионах мира, вызванных срывом контейнеров различных типов со специализированных вагонов-платформ под воздействием шквалистого ветра различной скорости. Рост числа подобных транспортных происшествий делает актуальной необходимость разработки порядка организации безопасного пропуска грузовых поездов, в составе которых перевозятся порожние контейнеры, при прогнозировании опасного явления погоды по маршруту их следования.

Целью настоящего исследования является разработка инженерного метода определения условий опрокидывания от ветровой нагрузки порожних контейнеров со специализированных железнодорожных платформ. На основе методов теоретической механики, с использованием уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения, авторами найдены условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки.

Было получено выражение, позволяющее определить минимальную скорость ветра, которая приводит к опрокидыванию порожнего контейнера. В статье приведены расчёты скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов для прямых и для кривых участков пути железных дорог с учётом максимального превышения наружного рельса. Полученные результаты подтверждаются данными математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров, проведённого компанией ООО «Хекса» по заказу ПАО «Трансконтейнер».

На основании картографической информации были выявлены основные ветрозависимые районы Российской Федерации, где могут произойти транспортные происшествия с опрокидыванием порожних контейнеров.

Результаты исследования могут способствовать разработке универсальных для различных регионов мира технических решений, позволяющих обеспечить устойчивость порожнего контейнера при воздействии ветровых нагрузок.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, контейнерные перевозки, подвижной состав, ветровые нагрузки, нарушения безопасности движения, транспортные происшествия.

*Информация об авторах:

Попов Владимир Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, vrorov_miiit@mail.ru.

Матешева Анна Владимировна – доктор технических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия, matesheva@ifaran.ru.

Сухов Филипп Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, kafedra_ee_miiit@mail.ru.

Боландова Юлия Константиновна – аспирант кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта, Москва, Россия, jbolandova@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 17.10.2018, актуализирована 16.09.2019, принята к публикации 21.10.2019.

For the English text of the article please see p. 56

Железнодорожный транспорт находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой, круглосуточно функционируя под открытым небом, поэтому его чёткая и бесперебойная работа во многом зависит от климатических условий.

Многие явления погодных условий в отдельности или в совокупности с другими приводят не только к аварийным ситуациям при движении поездов, но и могут временно парализовать работу станций, узлов и даже целых направлений [1].

К этим явлениям относятся метеорологические погодные явления, проявляющиеся в виде сильного ветра, шквала или урагана, которые могут привести к нарушениям безопасности движения поездов [1; 2].

Ряд происшествий на железных дорогах мира показывает реальную опасность данных рисков.

Так, на ветрозависимых участках железных дорог Российской Федерации и стран СНГ имел место ряд случаев нарушений безопасности движения, возникших в результате опрокидывания порожних контейнеров.

22 апреля 2014 г. 11 контейнеров с грузом общим весом 20 тонн опрокинуло шквалистым ветром с грузового контейнерного поезда в Ямало-Ненецком автономном округе. Скорость ветра при этом достигала 20 м/с [3].

29 декабря 2015 г. в 5 часов 30 минут при сильном порывистом ветре более 25 м/с на перегоне Вишневка—Анар Карагандинского отделения АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» с грузового контейнерного поезда был опрокинут один порожний контейнер [4]. В результате чрезвычайной ситуации задержаны 12 пассажирских поездов.

13 августа 2016 г., на 8046 километре перегона Домикан—Архара Забайкальской железной дороги произошло падение семи порожних контейнеров с грузового поезда [5]. Контейнеры упали на чётный путь и перекрыли движение встречному грузовому поезду. Движение поездов было заблокировано в обоих направлениях. Авария случилась из-за

резкого ухудшения погодных условий: порожние контейнеры в хвостовой части состава сдуло штормовым ветром.

Подобные ситуации на железных дорогах, причём не только в отношении контейнерных поездов, происходят в странах Европы и США.

3 января 2018 г. в Швейцарии из-за воздействия ураганного ветра со скоростью более 50 м/с с рельсов сошёл поезд. Для предотвращения последствий стихийных явлений в этот день Федеральные железные дороги Швейцарии объявили об отмене транспортного сообщения по популярному туристическому маршруту Юнгфрауйох [6].

13 марта 2019 г. в американском штате Нью-Мексико, возле населённого пункта Логан сошли с рельсов 26 вагонов товарного поезда. Необычность ситуации заключалась в том, что вагоны упали с моста под воздействием сильного ветра [7].

В ряде исследований [8–10] проводились эксперименты, позволяющие вычислить локальные аэродинамические нагрузки на подвижной состав, вызванные боковым и встречным ветровым воздействием. Стоит отметить, что эти исследования были направлены на изучение устойчивости тягового высокоскоростного подвижного состава, в то время как интермодальным контейнерным перевозкам не уделялось должного внимания.

Распоряжением ОАО «РЖД» [2] был утверждён ряд мер, предполагающий снизить риск возникновения транспортных происшествий при перевозке порожних контейнеров на специализированных железнодорожных платформах в условиях прогнозирования по маршруту их следования сильного ветра, шквала или урагана. Они несут в себе только организационную корректировку перевозочного процесса.

Цель настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки инженерной методики оценки характеристик ветровых нагрузок, приводящих к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов. Используются методы теоретической механики, в том числе применены уравнения моментов сил.



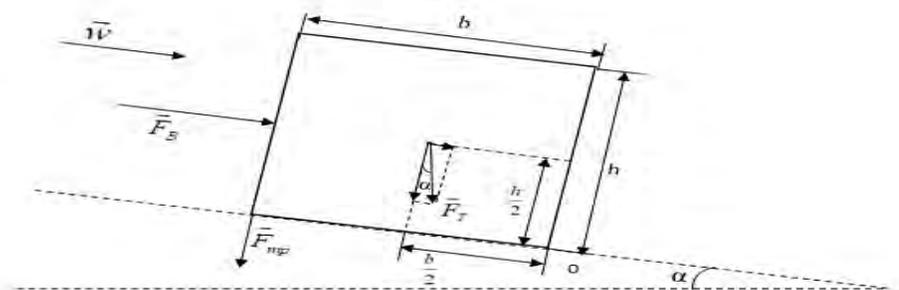


Рис. 1. Схема действия сил в срединном сечении контейнера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время в области интермодальных перевозок существуют единые требования к перевозимым контейнерам, их габаритам, массе и устройствам креплений. Эти требования регламентированы стандартами ИСО [11, с. 6] и ГОСТ [12, с. 5; 9, с. 4]. В случае транспортировки железнодорожным транспортом контейнер закрепляется на железнодорожной платформе четырьмя нижними угловыми фитингами посредством универсальных конусов. Такое крепление должно препятствовать скольжению и опрокидыванию под действием продольных и поперечных сил, однако при воздействии дополнительных ветровых нагрузок это крепление себя не оправдывает.

Найдём условия опрокидывания контейнера от воздействия ветровой нагрузки из уравнения моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения при нахождении грузового поезда на кривом участке пути железной дороги (см. рис. 1). Правила технической эксплуатации в России устанавливают максимальную величину возвышения наружного рельса на кривом участке пути железной дороги в размере 150 мм [14, табл. 2, 3].

Основную распределённую ветровую нагрузку \vec{w} (Па) заменим сосредоточенной силой давления ветра, приложенной к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующей

нормально к ней. Учтём силу тяжести контейнера \vec{F}_T , а также силу трения поверхности контейнера о фитинги F_{mp} , действующую вдоль поверхности трения и возникающую от силы давления ветра на контейнер и нормальной составляющей силы тяжести контейнера к поверхности трения.

Тогда уравнение моментов сил, приложенных к контейнеру, относительно к оси его вращения, будет иметь следующий вид:

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (1)$$

где $M_i = F_i \cdot l_i$ – произведение модуля силы \vec{F}_i на плечо силы;

l_i – кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения контейнера.

Момент силы считается положительным, если он вращает контейнер по часовой стрелке, в противном случае момент силы считается отрицательным.

Силы, действующие на контейнер, с учётом сделанных предположений можно записать в следующем виде:

- сила давления ветра, приложенная к геометрическому центру подветренной поверхности контейнера и действующая нормально к ней:

$$\vec{F}_B = \vec{w} \cdot S, H, \quad (2)$$

где $S = L \cdot h$ – площадь подветренной поверхности контейнера, m^2 (здесь L , h – длина и высота контейнера соответственно);

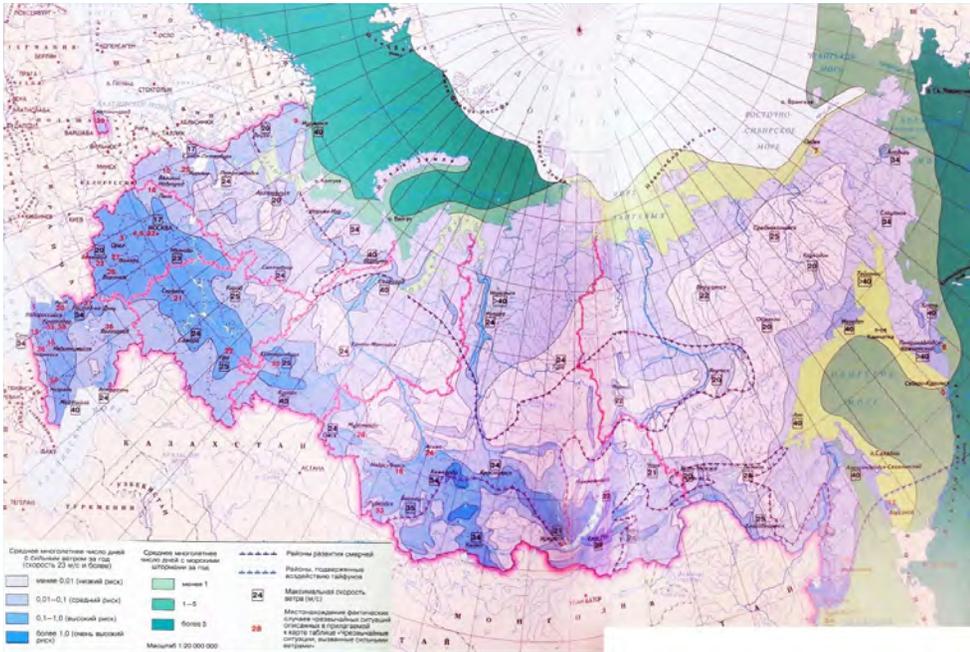


Рис. 2. Риск сильных ветров.

• сила тяжести контейнера будет действовать в центре масс:

$$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}, H, \quad (3)$$

где m – масса порожнего контейнера;

• сила трения поверхности контейнера о фитинги $\vec{F}_{тр}$, действующая вдоль поверхности трения:

$$F_{мп} = k_{мп} \cdot (F_B + F_T \sin \alpha), H, \quad (4)$$

где $k_{тр}$ – коэффициент трения покоя.

На рис. 1 была представлена схема срединного сечения контейнера, показывающая основные силы, действующие на контейнер, при прохождении кривоуго участка пути.

В срединном сечении на контейнер относительно оси вращения действуют следующие моменты сил:

$$M_1 = F_B \cdot \frac{h}{2}; \quad (5)$$

$$M_2 = -F_T \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} + F_T \sin \alpha \cdot \frac{h}{2}; \quad (6)$$

$$M_3 = -F_{мп} \cdot b = -k_{мп} (F_B + F_T \sin \alpha) \cdot b. \quad (7)$$

Из уравнения (1) с учётом уравнений (2–7) получим уравнение для основной ветровой нагрузки, приводящей к опрокидыванию контейнера:

$$w \geq \frac{m \cdot g \cdot [b \cos \alpha - (h - k_{мп} b) \sin \alpha]}{h \cdot L \cdot (h - 2k_{мп} b)} \text{ Па.} \quad (9)$$

В соответствии с [15] нормативное значение основной ветровой нагрузки w определяется как сумма средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$W = w_m + w_p. \quad (10)$$

В свою очередь, нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты контейнера z_e над поверхностью земли определяется по формуле [15, с. 18]:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (11)$$

где $w_0 = 0,43 V^2$ – нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для эквивалентной высоты z_e ;

c – аэродинамический коэффициент;

V – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли.

Тогда нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_p на эквивалентной высоте контейнера z_e определяется по следующей формуле [15, с. 20]:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (12)$$

где $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсаций давления ветра;



Результаты расчёта

Тип контейнера	Кривой участок пути железной дороги			Прямой участок пути железной дороги		
	Ветровая нагрузка, w , (Па)	Скорость ветра V , (м/с)	Классификация ветров, [2]	Ветровая нагрузка, w , (Па)	Скорость ветра V , (м/с)	Классификация ветров, [2]
трёхтонный контейнер, УК-3	617,48	24,96	Сильный ветер, шквал	724,78	27,04	Сильный ветер, шквал
40-футовый высокий контейнер (High Cube) 40° HC	1057,39	32,67	Ураган	1165	34,29	Ураган
40-футовый стандартный контейнер (Dry Van) 40° DV	1319,2	36,49	Ураган	1435,5	38,06	Ураган
20-футовый стандартный контейнер (Dry Cube) 20° DC	1466,85	38,48	Ураган	1596,16	40,13	Ураган
пятитонный контейнер, УК-5	2444,6	49,67	Ураган	2620,39	51,42	Ураган

N – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

С учётом уравнений (10–12) уравнение (9) представим в следующем виде относительно V (м/с) – скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot [bc \cos \alpha - (h - 2k_{mp} b) \sin \alpha]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e) \nu] \cdot (h - 2k_{mp} b)}}. \quad (13)$$

Расчёты скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, проведём как для прямых участков пути, так и для кривых участков пути железных дорог с учётом максимального превышения наружного рельса в 150 мм.

В качестве географического района транспортного происшествия выбран район А – «открытые побережья морей, озёр и водохранилищ, в сельской местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра» [15, прил. Е] – как наиболее опасный.

На рис. 2 представлена карта риска сильных ветров на территории Российской Федерации [16, с. 152].

Результаты расчёта скорости ветра, приводящей к опрокидыванию порожних контейнеров различных типов, представлены в табл. 1.

Полученные результаты подтверждаются данными математического моделирования устойчивости крепления порожних контейнеров, проведённого компанией ООО «Хекса» по заказу ПАО «Трансконтейнер» [17].

Анализ скорости ветра и риска его возникновения показывает, что наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдается в прибрежных районах Севера и Дальнего Востока, а в континентальной части страны – в степях. На Севере страны скорость ветра варьируется в пределах 28–35 м/с, на Дальнем Востоке – 31–38 м/с, в степях Северного Кавказа – 28–31 м/с. Скорость ветра в порывах в этих районах – более 40 м/с [16, с. 151].

Именно эти районы наиболее опасны для опрокидывания порожних контейнеров в составе грузовых поездов, особенно на кривых участках пути железных дорог. А трёхтонный порожний контейнер широко используемого в России типа УК-3 является наиболее уязвимым для воздействия ветровых нагрузок по сравнению с другими типами.

Важность выводов исследования возрастает с учётом того, что суммарная пропускная способность российских контейнерных терминалов к 2020 году увеличится и составит 11–12 миллионов ДФЭ [18, с. 53], а также тенденции к увеличению контейнеропотока по транс-континентальному грузовому коридору ЕС–КНР при том, что значительная доля контейнеров, направляемых по этому маршруту, находится в порожнем состоянии, и статистика этого не учитывается [19].

ВЫВОД

Наличие большого числа районов России с заданными характеристиками ветровых нагрузок, способных привести к опрокидыванию порожних контейнеров в составе грузовых поездов, даёт возможность сделать общий вывод. Исключительно организационные мероприятия не решают проблемы опрокидывания порожних контейнеров. Необходима разработка технических решений, позволяющих обеспечить устойчивость порожнего контейнера при воздействии ветровых нагрузок, одним из которых может быть изменение конструкции фитингового упора.

Поскольку интермодальные контейнерные перевозки используются практически во всех странах мира, предложенные в исследовании методы расчёта ветровых нагрузок, приложенных к порожним контейнерам различных типов, могут быть адаптированы под особенности железнодорожной колеи стран Европы, Северной Америки, Ближнего Востока, Северной Африки, Австралии, Китая, Кореи и других стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зябриков В. А., Кобышева Н. В., Циркунов В. С. Климат и железнодорожный транспорт. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2000. – 193 с.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 19.10.2016 г. № 2115р (ред. от 13.10.2017) «Об утверждении порядка организации безопасного пропуска грузовых поездов, в составе которых имеются порожние контейнеры, при прогнозировании опасного явления погоды по маршруту их следования».
3. Новости: В ЯНАО с поезда дуло ветром 20 тонн. [Электронный ресурс]: <http://xn--7sbooi1kl10c.xn--p1ai/2014/04/v-ya-nao-s-poezda-sdulo-vetrom-20-tonn/>. Доступ 17.10.2018.
4. В Карагандинской области сильным ветром с грузового поезда дуло контейнер. [Электронный ресурс]: <https://365info.kz/2015/12/v-karagandinskoy->

oblasti-silnym-vetrom-s-gruzovogo-poezda-sdulo-kontejner/. Доступ 17.10.2018.

5. Новости дороги: О движении поездов на перегоне Архара–Домикан Свободненского региона Забайкальской железной дороги. [Электронный ресурс]: http://zabzd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=39&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=109673. Доступ 17.10.2018.

6. Storm Burglind causes havoc in Switzerland, derails train. [Электронный ресурс]: https://www.swissinfo.ch/eng/business/wind-up_switzerland-battered-by-hurricane-speed-winds/43795876. Доступ 17.10.2018.

7. Wind pushes train off track sending 26 railcars into the ground below. [Электронный ресурс]: <https://www.kob.com/new-mexico-news/wind-causes-train-to-derail-in-eastern-new-mexico/5277830/>. Доступ 17.10.2018.

8. Baker, C., Reynolds, S. Wind-induced accidents of road vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, December 1992, Vol. 24, Iss. 6, pp. 559–575. DOI: 10.1016/0001-4575(92)90009-8.

9. Baker, C., Jones, J., Lopez-Calleja, F., Munday, J. Measurements of the cross wind forces on trains. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 547–563. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.002.

10. Sanquer, S., Barré, C., Dufresne, M., Cléon, L. Effect of cross winds on high-speed trains: development of a new experimental methodology. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 535–545. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.004.

11. ИСО 668. Грузовые контейнеры. Наружные размеры и максимальная масса брутто.

12. ГОСТ Р 53350-2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.

13. ГОСТ Р 52202-2004. Контейнеры грузовые. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2004. – 23 с.

14. Технические требования и нормы содержания железнодорожных путей промышленного транспорта: № АН-132-Р: утв. Министерством транспорта России от 31.03.2003 г. – М.: Управление промышленного транспорта, 2003.

15. СП 20.13330.2016. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. Утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр, введён в действие с 4 июня 2017 г.

16. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / МЧС России; РАН; Роскартография – геогр. основа; Ред. кол.: С. К. Шойгу (пред.) и др.; Вед. ред. карт Н. Б. Трохина. – М.: ДИК, 2005. – 1 атл. (269 с.).

17. Березин А. Упор для инициативы. [Электронный ресурс]: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1356016>. Доступ 17.10.2018.

18. Gopkalo, O. O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia. *Baltic Transport Journal*, 2014, Vol. 5, pp. 52–55.

19. Рейнхард Х. Значительная доля контейнеров, направляемых по маршруту ЕС–КНР, находится в порожнем состоянии, и статистика этого не учитывается. [Электронный ресурс]: http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/znachitelnaya-dolya-kontejnerov-napravlyаемых-po-marshrutu-es-knr-nakhoditsya-v-porozhnem-sostoyani/?sphrase_id=41196. Доступ 17.10.2018.





Conditions Leading to Overturning of Empty Containers under the Influence of Wind Load



Vladimir G. POPOV



Anna V. MATESHEVA



Philip I. SUKHOV



Yulia K. BOLANDOVA

*Popov, Vladimir G., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Matesheva, Anna V., A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Sukhov, Philip I., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Bolandova, Yulia K., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article reveals the problems of traffic safety violations resulting from the overturning of empty containers on wind-dependent sections of railways.

The paper refers to examples of several traffic accidents caused by detachment of containers of various types from specialized flat wagons under the influence of a squally wind of various speed. The increase in the number of such traffic accidents urges development of a procedure for safe transit of freight trains, transporting empty containers, if a dangerous weather event may be forecasted along their route.

The objective of this study is to develop an engineering method for determining the conditions leading to overturning of empty containers from specialized railway wagons under the wind load.

Based on the methods of theoretical mechanics, using the moment of force equation as applied to the container relative to the axis of its rotation, the authors found the

conditions that cause container overturning under the influence of wind load.

An expression was obtained that allows one to determine the minimum wind speed, which leads to the overturning of an empty container. The article presents the calculation of wind speed leading to the overturning of empty containers of various types for straight and curved sections of the railway track, considering the maximum superelevation (cant) of the outer rail. The obtained results are confirmed by the mathematical modelling of stability of fastening of empty containers by LLC Hexa requested by PJSC Transcontainer.

Based on the cartographic information, the main wind-dependent regions of the Russian Federation were identified where transport accidents caused by overturning of empty containers might occur.

The results of the study can contribute to development of universal technical solutions for different world regions to ensure stability of an empty container when exposed to wind loads.

Keywords: railway transport, container transportation, rolling stock, wind load, traffic safety violations, traffic accidents.

*Information about the authors:

Popov, Vladimir G. – D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Chemistry and Engineering Ecology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, vpopov_mit@mail.ru.

Matesheva, Anna V. – D.Sc. (Eng), Senior Researcher at A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, matesheva@ifaran.ru.

Sukhov, Philip I. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Chemistry and Engineering Ecology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kafedra_ee_mit@mail.ru.

Bolandova, Yulia K. – Ph.D. student at the Department of Chemistry and Engineering Ecology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, jbolandova@gmail.com.

Article received 17.10.2018, revised 16.09.2019, accepted 21.10.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 50.

Background. Railway transport is in constant interaction with the environment, working around the clock in the open air, therefore, its clear and uninterrupted operation largely depends on climatic conditions.

Many weather phenomena, individually or in combination with others, lead not only to emergency situations during train movement, but can also temporarily paralyze operation of stations, junctions, and even entire railway directions [1].

These phenomena include weather meteorological phenomena, manifested in the form of a strong wind, a flurry, or a hurricane, which can lead to violations of safety of train traffic [1; 2].

Accidents at world railways show real danger of those risks.

Hence, on the wind-dependent sections of railways of the Russian Federation and CIS countries, there have been several cases of traffic safety violations resulting from overturning of empty containers.

On April 22, 2014, 11 containers with cargo weighing 20 tons were blown away by a squalling wind from a freight container train in the Yamal-Nenets Autonomous District. The wind speed reached 20 meters per second [3].

On December 29, 2015, at 5.30 a.m., with a strong gusty wind of more than 25 meters per second on Vishnevka–Anar section of Karaganda area of the JSC National Company Kazakhstan Temir Zholy, an empty container was overturned from a freight container train [4]. As a result of the emergency, 12 passenger trains were delayed.

On August 13, 2016, at the 8046th kilometer of Domican–Arkhara section of Zabaikalskaya railway, seven empty containers fell from a freight train [5]. The containers fell on an even track and blocked traffic to an oncoming freight train. Train traffic was blocked in both directions. The accident occurred due to a sharp deterioration in weather conditions: empty containers in the rear of the train were blown away by a gale.

Similar situations at railways, referring to container and other trains, occur in Europe and the USA.

On January 3, 2018, in Switzerland a train was derailed by a hurricane wind of a speed of more than 50 m/s. To prevent negative impact of natural disaster the Swiss Federal Railways announced cancellation of transportation on the popular tourist route Jungfrauoch [6].

On March 13, 2019 in the US state of New Mexico, near the settlement of Logan, 26 freight train wagons derailed. The situation was unusual as the wagons fell from the bridge under the influence of a strong wind [7].

Several studies [8–10] included experiments that made it possible to determine local aerodynamic load on rolling stock caused by lateral and headwind. It is worth noting that these studies were aimed at studying stability of traction high-speed rolling stock, while intermodal container transportation did not draw due attention.

The decree of JSC Russian Railways [2] approved a few measures to reduce the risk of traffic accidents when empty containers are transported on specialized railway wagons under conditions when strong wind, squall or hurricane are forecasted along their route. They are limited to organizational adjustment of the transportation process.

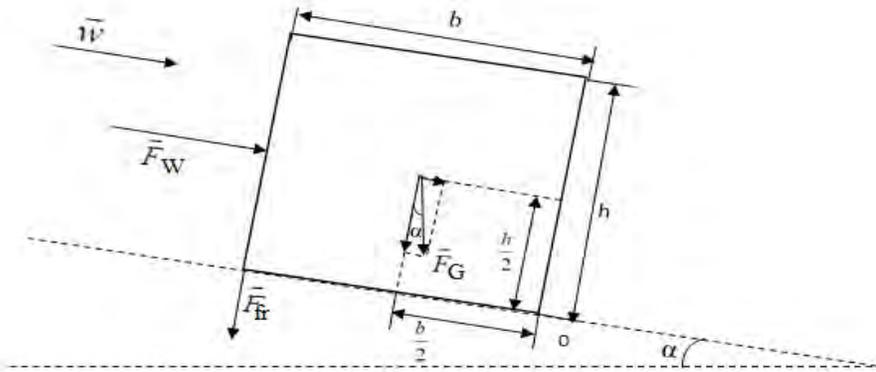
The *objective* of the present study is associated with the necessity to develop an engineering methodology for assessing the characteristics of wind load, leading to the overturning of empty containers in freight trains. The *methods* of theoretical mechanics, comprising moment of force equations.

Results.

Currently, in the field of intermodal transportation, there are uniform requirements for transported containers, their overall dimensions, weight and fastening devices. These requirements are regulated by ISO standards [11, p. 6] and. In Russia, by State standard (GOST) [12, p. 5; 9, p. 4]. In case of transportation by rail, the container is secured to the railway flat wagon with four lower corner fittings using universal cones. Such fastening should prevent sliding and overturning under the action of longitudinal and transverse forces, however, under the influence of additional wind load, this fastening does not justify itself.

Let us find the conditions of the container overturning caused by influence of the wind load based on the equation of the moments of force applied to the container relative to the axis of its rotation when the freight train is moving on the curved section of the railway track (see Pic. 1). The technical operation rules in Russia establish the maximum superelevation of the outer rail on the curved section of the railway track at 150 mm [14, Table 2, 3].





Pic. 1. Scheme of action of forces in the middle section of the container.

The main distributed wind load \bar{w} (Pa) is replaced by the concentrated force of the wind pressure applied to the geometric center of the leeward surface of the container and acting normally to it. We take into account the gravity of the container \bar{F}_G , as well as the friction force of the surface of the container along the fittings \bar{F}_{fr} , acting along the friction surface and arising from the force of wind pressure on the container and from the normal component of the gravity of the container to the friction surface.

Then the equation of the moments of forces applied to the container, relative to the axis of its rotation, will have the following form:

$$\sum_i M_i \geq 0, \quad (1)$$

where $M_i = F_i \cdot l_i$ is product of the force modulus \bar{F}_i and of the arm force;

l_i is the shortest distance from the line of action of the force to the axis of rotation of the container.

The moment of force is considered positive if it rotates the container clockwise, otherwise the moment of force is considered negative.

The forces acting on the container, taking into account the assumptions made, can be written as follows:

- wind pressure force applied to the geometric center of the leeward surface of the container and acting normally to it:

$$\bar{F}_W = \bar{w} \cdot S, H, \quad (2)$$

where $S = L \cdot h$ is area of the leeward surface of the container, m^2 (here L , h are length and height of the container, respectively).

- gravity force of the container will act in the center of masses

$$\bar{F}_G = m \cdot \bar{g}, H, \quad (3)$$

where m is weight of an empty container.

- friction force of the container on the fittings \bar{F}_{fr} , acting along the friction surface

$$F_{fr} = k_{fr} \cdot (F_W + F_G \sin \alpha), H, \quad (4)$$

where k_{fr} is coefficient of static friction.

Pic. 1 above is a diagram of the middle section of the container, showing the main forces acting on the container when passing a curved track section.

In the middle section the following moments of forces act on the container relative to the axis of rotation:

$$M_1 = F_W \cdot \frac{h}{2}; \quad (5)$$

$$M_2 = -F_G \cos \alpha \cdot \frac{b}{2} + F_G \sin \alpha \cdot \frac{h}{2}; \quad (6)$$

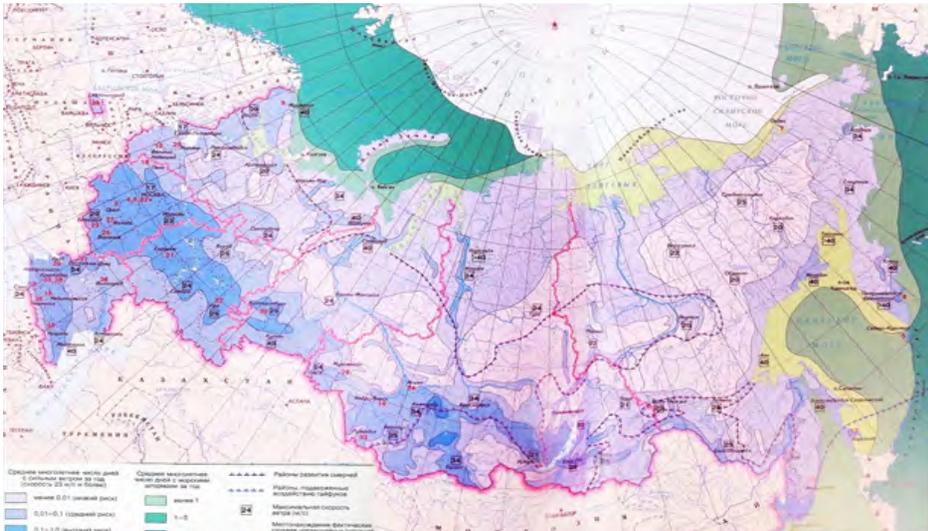
$$M_3 = -F_{fr} \cdot b = -k_{fr} (F_W + F_G \sin \alpha) \cdot b. \quad (7)$$

From equation (1), taking into account equations (2–7), we obtain the equation for the main wind load, leading to overturning of the container:

$$w \geq \frac{m \cdot g \cdot [b \cos \alpha - (h - k_{fr} b) \sin \alpha]}{h \cdot L \cdot (h - 2k_{fr} b)}, Pa. \quad (9)$$

In accordance with [15] the normative value of the main wind load w is defined as the sum of the middle w_m and pulse w_p components:

$$W = w_m + w_p. \quad (10)$$



Pic. 2. Risk of strong winds.

In turn, the normative value of the middle component of the main wind load w_m depending on the equivalent height of the container z_e above the ground is determined by the formula [15, p. 18]:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (11)$$

where $w_0 = 0,43V^2$ is normative value of wind pressure;

$k(z_e)$ is coefficient, taking into account the change in wind pressure for equivalent height z_e ;

c is aerodynamic coefficient;

V is wind speed, m/s, at the level of 10 m above the surface of the ground.

Then the normative value of pulse component of the main wind load w_p at the equivalent height of the container z_e is determined by the following formula [15, p. 20]:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (12)$$

where $\zeta(z_e)$ is coefficient of pulsation of wind pressure;



Calculation results

Container type	Curved section of railway track			Straight section of railway track		
	Wind load, w , (Pa)	Wind speed V , (m/s)	Classification of winds, [2]	Wind load, w , (Pa)	Wind speed V , (m/s)	Classification of winds, [2]
Three-ton container, UK-3	617,48	24,96	Strong wind, windsquall	724,78	27,04	Strong wind, squall wind
40-foot high container (HighCube), 40' HC	1057,39	32,67	Hurricane	1165	34,29	Hurricane
40-foot standard container (Dry Van) 40' DV	1319,2	36,49	Hurricane	1435,5	38,06	Hurricane
20-foot standard container, (Dry Cube) 20' DC	1466,85	38,48	Hurricane	1596,16	40,13	Hurricane
Five-ton container, UK-5	2444,6	49,67	Hurricane	2620,39	51,42	Hurricane

N is coefficient of spatial correlation of pulsation of wind pressure.

Taking into account equations (10–12), equation (9) can be represented in the following form with respect to V (m/s) which is wind speed at the level of 10 m above the surface of the ground:

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot [bcos\alpha - (h - 2k_r b) \sin\alpha]}{0,43 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot h \cdot l \cdot [1 + \zeta(z_e) \nu] \cdot (h - 2k_r b)}}. \quad (13)$$

We will calculate the wind speed leading to the overturning of empty containers of various types, both for straight sections of the track and for curved sections of the track of railways, taking into account the maximum superelevation of the outer rail of 150 mm.

Region A as the most dangerous was chosen as the geographical area of the transport accident, its features assume «open coasts of seas, lakes and reservoirs, in rural areas, including those with buildings less than 10 m high, deserts, steppes, forest-steppes, tundra» [15, annex E].

The Pic. 2 shows the map of risks of strong winds in the territory of the Russian Federation [16, p. 152].

The results of calculating the wind speed leading to the overturning of empty containers of various types are presented in Table 1.

The results obtained are confirmed by the mathematical modelling of stability of fastening of empty containers, carried out by LLC Hexa on the demand of PJSC Transcontainer [17].

An analysis of wind speed and the risk of its occurrence shows that the highest frequency of strong winds is observed in the coastal regions of the North and the Far East, and in the steppes in the continental part of the country. In the North of the country, wind speed varies between 28–35 m/s, in the Far East its range is 31–38 m/s, in the steppes of the North Caucasus it is of 28–31 m/s.

These areas are most dangerous as for overturning of empty containers transported by freight trains, especially on curved sections of the railway track. And UK-3 three-ton empty container is the most vulnerable to the impact of wind load among all types of containers.

The significance of conclusions of the research grows as the total transit capacity of Russian container terminals will increase by 2020 and will amount to 11–12 million TEU [18, p. 53] and as there is also a tendency to increase container traffic along the transcontinental EU–China freight corridor, while a significant share of containers sent along this route is empty, and statistics do not take this into account [19].

Conclusion

Since many Russian regions have predetermined characteristics of wind load that can lead to overturning of empty containers in freight trains it is possible to draw a general conclusion. Organizational measures solely do not solve the problem of neutralizing risks of overturning of empty containers. It is necessary to develop technical solutions to ensure stability of the empty container when exposed to wind load, one of those solutions may be developed through a change in the design of the fitting stop.

Since intermodal container transportation is widely used almost worldwide, the methods of calculating wind load applied to different types of empty containers that are suggested in the article, can be adapted to features of railway track in different countries of Europe, North America, Middle East, Northern Africa, Australia, China, Korea, and other countries.

REFERENCES

1. Zybrikov, V. A., Kobysheva, N. V., Tsirkunov, V. S. Climate and railway transport [*Klimat i zheleznodorozhnyy transport*]. Moscow, Weather Agency of Roshydromet, 2000, 193 p.
2. Order of JSC Russian Railways dated October 19, 2016 No. 2115r (as amended on October 13, 2017) «On approving the procedure for organizing safe transit of freight trains, which include empty containers, if a dangerous weather phenomenon is forecasted along their route». [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 19.10.2016 No. 2115r (red. ot 13.10.2017) «Ob utverzhdenii poryadka organizatsii bezopasnogo propuska gruzovykh poezdov, v sostave kotorykh imeyutsya porozhnie konteynery, pri prognozirovanii opasnogo yavleniya pogody po marshrutu ikh sledovaniya»*].
3. News: 20 tons were blown off the train in the Yamal-Nenets Autonomous District [*Novosti: V Yanao s poezda sdulo vetrom 20 tonn*]. [Electronic resource]: <http://xn--7sbooiiklil0c.xn--p1ai/2014/04/v-yanao-s-poezda-sdulo-vetrom-20-tonn/>. Last accessed 17.10.2018.
4. In Karaganda region, a container was blown off by a strong wind from a freight train [*V Karagandinskoy oblasti silnym vetrom s gruzovogo poezda sdulo konteyner*]. [Electronic resource]: <https://365info.kz/2015/12/v-karagandinskoy-oblasti-silnym-vetrom-s-gruzovogo-poezda-sdulo-konteyner/>. Last accessed 17.10.2018.
5. Railway news: On movement of trains on Arkhara-Domican section of Svobodnensky region of Zabaikalskaya railway [*Novosti dorogi: O dvizhenii poezdov ns peregone Arkhara—Dominican Zvobodnenskogo regiona Zabaikalskoy zheleznoy dorogi*]. [Electronic resource]: http://zabzd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=39&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=109673. Last accessed 17.10.2018.
6. Storm Burglind causes havoc in Switzerland, derails train. [Electronic resource]: https://www.swissinfo.ch/eng/business/wind-up_switzerland-battered-by-hurricane-speed-winds/43795876. Last accessed 17.10.2018.
7. Wind pushes train off track sending 26 railcars into the ground below. [Electronic resource]: <https://www.kob.com/new-mexico-news/wind-causes-train-to-derail-in-eastern-new-mexico/5277830/> Last accessed 17.10.2018.
8. Baker, C., Reynolds, S. Wind-induced accidents of road vehicles. *Accident Analysis & Prevention*, December 1992, Vol. 24, Iss. 6, pp. 559–575. DOI: 10.1016/0001-4575(92)90009–8.
9. Baker, C., Jones, J., Lopez-Calleja, F., Munday, J. Measurements of the cross wind forces on trains. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 547–563. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.002.
10. Sanquer, S., Barré, C., Dufresne, M., Cléon, L. Effect of cross winds on high-speed trains: development of a new experimental methodology. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, June 2004, Vol. 92, Iss. 7–8, pp. 535–545. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.03.004.
11. ISO 668 «Cargo containers. Outside dimensions and maximum gross mass» [*ISO 668 «Gruzovye konteynery. Naruzhnie razmery i maksimalnaya massa brutto»*].
12. GOST R [Russian state standard] 53350-2009. Cargo containers series 1. Classification, dimensions and weight [*GOST R53350-2009. Konteynery gruzovye serii 1. Klassifikatsiya, razmery, massa*]. Moscow, Standartinform publ., 2009, 20 p.
13. GOST R [Russian state standard] 52202-2004. Freight containers. Terms and Definitions [*GOST R52202-2004. Konteynery gruzovye. Terminy i opredeleniya*]. Moscow, Gosstandart of Russia, 2004, 23 p.
14. Technical requirements and standards for maintenance of railway tracks of industrial transport: No. AN-132-R: approved by the Ministry of Transport of Russia dated 31.03.2003 [*Tekhnicheskie trebovaniya i normy sodержaniya zheleznodorozhnykh putei promyshlennogo transporta: No. AN-132-R: utv. Ministerstvom transporta Rossii ot 31.03.2003*]. Moscow, Department of industrial transport, 2003.
15. SP 20.13330.2016. SNiP 2.01.07-85* Loads and impacts. Approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia) dated December 3, 2016 No. 891/pr and entered into force on June 4, 2017 [*SP 20.13330.2016 «SNiP 2.01.07-085* Nagruzki i vozdeystviya». Utverzhden prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii (Minstroy Rossii) ot 3 dekabrya 2016 No. 891/pr i vveden v deystvie s 4 iyunya 2017 g.*].
16. Atlas of natural and technological hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation [*Atlas prirodnykh i tekhnicheskikh opasnostei i riskov chrezvychaynykh situatsii v Rossiiskoi Federatsii*]. EMERCOM of Russia; RAS; Roskartografiya – geogr. foundation; Editorial: S. K. Shoigu (head) and others; Chief ed. cards N. B. Trokhina. Moscow, DIK publ., 2005, 1 atl. (269 p.).
17. Berezin, A. Emphasis for initiative [*Upor dlya initsiativy*]. [Electronic resource]: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1356016>. Last accessed 17.10.2018.
18. Gopkalo, O. O. Trends and problems in container transport infrastructure development in Russia. *Baltic Transport Journal*, 2014, Vol. 5, pp. 52–55.
19. Reinhard, H. A significant proportion of containers sent along EU—PRC route are empty, and statistics do not take this into account [*Znachitel'naya dolya konteynerov, napravlyaemykh po marshrutu ES—KNR, nakhoditsya v porozhnem sostoyanii, i statistika etogo ne uchityvaet*]. [Electronic resource]: http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/znachitel'naya-dolya-konteynerov-napravlyaemykh-po-marshrutu-es-knr-nakhoditsya-v-porozhnem-sostoyanii/?sphrase_id=41196. Last accessed 17.10.2018.





Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов



Виталий МИНАКОВ



Валентин ФОМЕНКО

Минаков Виталий Анатольевич – Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия.

Фоменко Валентин Константинович – Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия.*

Повышение качества предоставляемых транспортных и логистических услуг в современных условиях связано с внедрением новых и улучшением существующих технологий информатизации и цифровизации транспорта. Одной из задач внедрения цифровых технологий в технологические процессы железнодорожного транспорта является повышение безопасности движения поездов.

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов, посвящённых вопросам повышения безопасности движения поездов, показал, что в настоящее время одной из задач является внедрение цифровых устройств анализа объектов инфраструктуры по ходу движения локомотива. Особое значение это приобретает при увеличении скоростей следования поездов или наличии длительных поездов, когда человеку (машинисту) бывает сложно правильно оценить сложившуюся ситуацию и принять правильное решение.

Целью данной работы является разработка способа автоматического контроля объектов железнодорожной инфраструктуры за счёт оснаще-

ния локомотива технологией машинного зрения, а именно возможность визуального контроля показаний сигналов путевых светофоров по ходу его следования. Локомотив оснащается видеомодулем для фиксации потокового изображения по ходу его движения и микропроцессорной аппаратурой для анализа получаемого изображения. В качестве алгоритма по распознаванию путевых сигналов на фиксируемом изображении применён математический аппарат, основанный на моделях сверточных нейронных сетей.

Выполненная работа показала хорошие результаты по идентификации путевых сигналов на анализируемых изображениях. Оснащение тягового подвижного состава техническим зрением позволит выполнять своевременную идентификацию путевых сигналов, это особенно важно на железнодорожных путях, где отсутствует кодировка в рельсовой цепи, что способствует повышению уровня безопасности движения поездов. Развитие представленной технологии способствует цифровизации железнодорожного транспорта, что делает его конкурентоспособным на мировом рынке.

Ключевые слова: железная дорога, локомотив, машинное зрение, сигнализация, безопасность движения, техническое зрение, сверточные нейронные сети.

*Информация об авторах:

Минаков Виталий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры локомотивов Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия, vitalya_13@mail.ru.

Фоменко Валентин Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры локомотивов Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия, fomenkovk@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.11.2019, принята к публикации 29.12.2019.

For the English text of the article please see p. 68.

Машинное зрение является подразделом инженерии, а именно обширным набором методов, позволяющих компьютерам «видеть» при помощи цифровых камер. Сегодня машинное зрение является неотъемлемой частью многих автоматизированных процессов. Его область применения на транспорте разнообразна, например, определение автомобильных номеров или подсчёт людей в транспорте. Задачами машинного зрения является анализ изображений или видеопотока.

Зарубежные компании, такие, как Siemens, Rio Tinto, General Electric, показывают большую заинтересованность в развитии машинного зрения на железнодорожном транспорте. Ими предложены системы, позволяющие осуществлять автоматизированный визуальный контроль состояния пути, контролировать техническое состояние систем в режиме реального времени, автоматизировать движение автономных локомотивов.

Машинное зрение имеет большое значение для повышения безопасности движения, в том числе призвано содействовать совершенствованию существующих систем сигнализации.

Если мы обратимся к примеру России, то основным устройством железнодорожной техники в обеспечении безопасности движения и повышении пропускной способности на сети железных дорог Российской Федерации является автома-

тическая локомотивная сигнализация непрерывного действия (АЛСН). При следовании поезда (локомотива) АЛСН по непрерывному каналу связи в виде рельсовых нитей получает шифрованную информацию о показаниях впереди расположенного сигнала путевого светофора. Работа АЛСН заключается в передаче показаний путевых светофоров на локомотивный светофор и на устройства контроля бдительности машиниста, контроля скорости движения, автостопа и др. [1].

На участках железнодорожного пути, где располагаются временные путевые сигналы, либо отсутствует кодировка железнодорожного пути (отсутствие кодированного электрического сигнала в рельсовых цепях), показания сигналов не передаются к системам безопасности движения тягового подвижного состава, что снижает уровень безопасности при следовании локомотива на заданном участке.

В подобных случаях функцию дополнительного контроля возможно осуществлять с помощью применения современных средств компьютерного мониторинга — оснащения тягового подвижного состава машинным зрением.

Целью работы является разработка технологии визуального контроля показаний путевых сигналов локомотивами. Оснащение локомотива технологией машинного зрения позволит ему «видеть» путевые



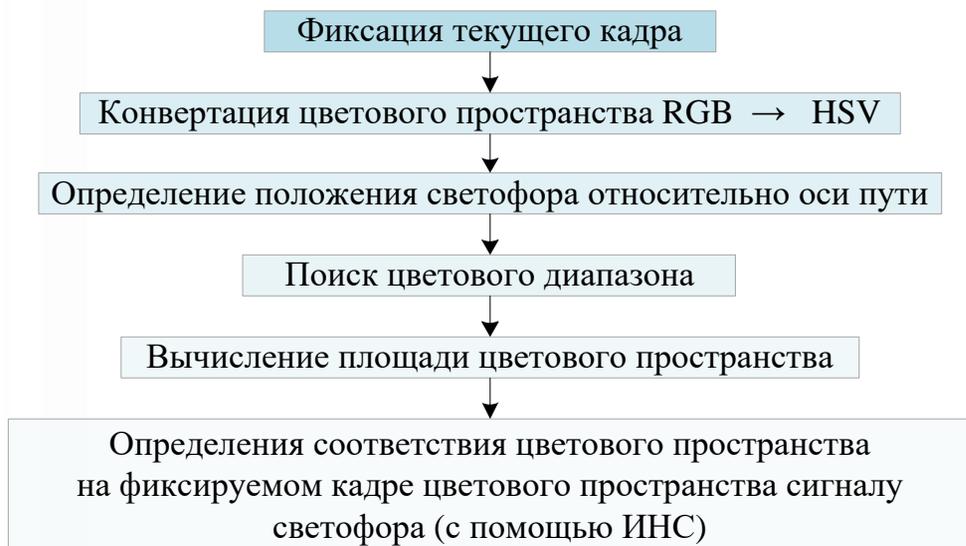


Рис. 1. Алгоритм технологии машинного зрения. Авторский рисунок.

сигналы, а методы визуального анализа на основе свёрточной нейронной сети – определять их показание.

Применение машинного зрения на локомотивах для визуального контроля поездных сигналов позволит производить обнаружение, классификацию объектов и отслеживание их состояния. При данном подходе путевые сигналы будут выступать в качестве объектов, а показания путевых сигналов – в качестве классификации. Следует отметить, что применение машинного зрения может использоваться только в качестве дополнительного контроля, совместно с системой АЛСН, для исключения ошибок, периодически возникающих в рельсовой цепи [2].

При следовании тягового подвижного состава по участку железнодорожного пути

устройство видеоконтроля фиксирует цифровое изображение по ходу движения поезда. Зона машинного зрения определяется в зависимости от технических требований и условий эксплуатации. Поинтервальная фиксация цифрового изображения в пределах зоны контроля («зрения локомотива») позволит производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов инфраструктуры железных дорог.

Анализ фиксированного кадра (цифрового изображения) путевых сигналов осуществляется техническими средствами с использованием различных библиотек алгоритмов с открытым исходным кодом. Поиск соответствия цветовых компонентов на цифровом изображении при идентификации определённых путевых сигналов заключается в анализе каждого пиксе-

Таблица 1

Соответствие идентифицируемых сигналов светофора к цветовому пространству¹

Пространство цветов			
RGB (red, green, blue)	{255, 0, 0 ÷ 100, 50, 50}	{0, 0, 255 ÷ 50, 50, 100}	{0, 255, 0 ÷ 50, 100, 50}
HSV (hue, saturation, value)	{0, 155, 155 ÷ 15, 255, 255}	{255, 50, 50 ÷ 255, 100, 100}	{120, 155, 155 ÷ 150, 255, 255}

¹ По данным авторов.

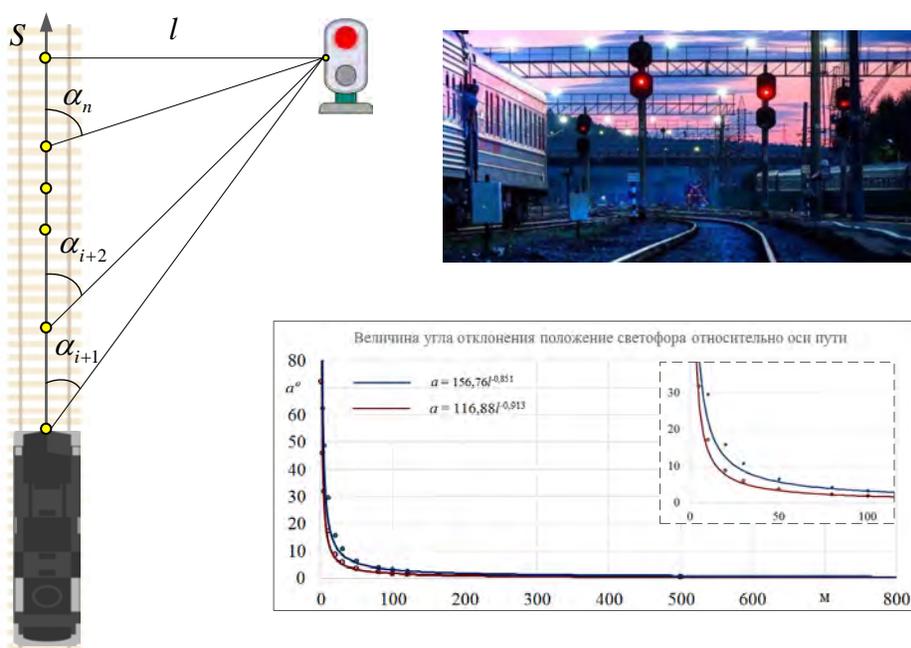


Рис. 2. Определение принадлежности светофора к пути следования. Авторский рисунок выполнен на основе работы [2].

ля и определении кластеров цветов с последующим распознаванием образов при помощи искусственных нейронных сетей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачами технологии машинного зрения на локомотивах является разработка алгоритмов по анализу цветового пространства, определению местоположения светофоров и их идентификации на цифровом изображении.

Сложностью при идентификации путевых сигналов является то, что фоновая среда не монотонна и изменяется в период анализа изображений. Поэтому значение путевого сигнала не может быть сегментировано от фона по разнице в цвете. Цветовая модель RGB (*red, green, blue*) имеет много ограничений при использовании для описания цвета [3]. В отличие от RGB цветовая модель HSV (*hue, saturation, value*) менее чувствительна к внешней среде, к яркости света и тени, её легче отделить от фона. Одной из задач алгоритма (рис. 1) является конвертация фиксируемого кадра из RGB в пространство HSV и их сравнение с диапазоном идентифицируемых цветов. Идентифицируемый цвет – это соотношение цветовой палитры, к которой принад-

лежит диапазон цветов сигнальных указателей.

Таким образом, для поиска цветовой палитры, соответствующей идентифицируемым сигналам светофора, устанавливается диапазон цветовой модели в HSV. При идентификации цветовой палитры необходимо определить площадь цветового пространства для исключения случайных бликов, помех и шумов на фиксируемом изображении. Данный параметр площади установлен опытным путём при работе над алгоритмом (табл. 1).

При контроле железнодорожной световой сигнализации способом машинного зрения при движении локомотива по станционным путям важно выполнить фиксацию именно того светофора, что относится к пути, по которому следует поезд. Это становится сложной задачей, так как светофоры на территории станции расположены на небольшом расстоянии друг от друга и в процессе анализа изображения возможна идентификация «не своего» светофора. Для определения «своего» светофора, зная расстояние до светофора (l) по приборам контроля параметров движения локомотива и расположение удалённости светофора от пути (S) [2], вычисляется угол



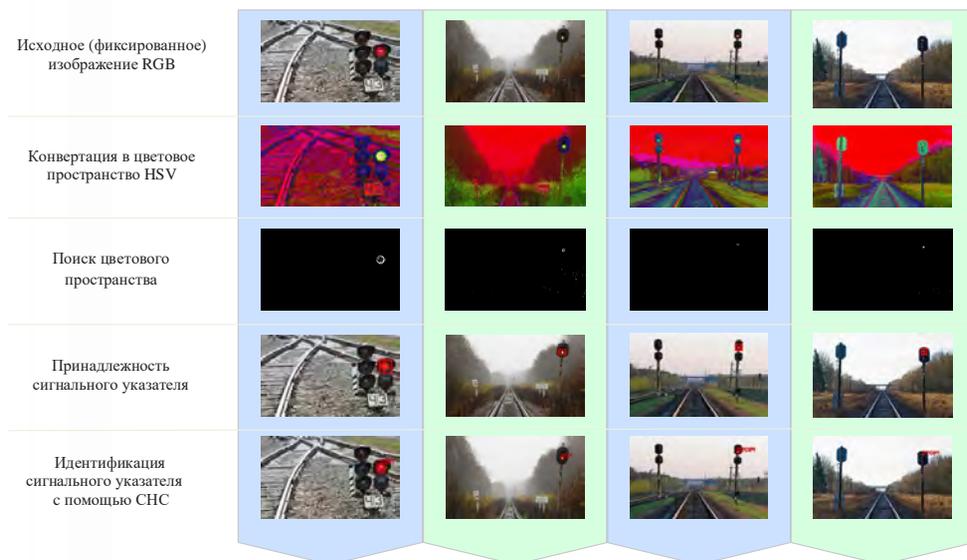


Рис. 3. Результаты тестирования разработанной технологии. Авторский рисунок.

между линией визирования и указателя светофора по формуле:

$$tg\alpha = \frac{l}{S}. \tag{1}$$

Таким образом, определена область поиска световой сигнализации, что также позволяет сократить число операций, требуемых для обнаружения объекта на изображении. На рис. 2 представлена схема определения и результаты расчёта угла линии визирования, исходя из расположения светофоров на станции.

Способ обработки цифровых изображений основан на методах машинного обучения, с применением свёрточной нейронной сети (СНС) глубокого обучения, которая является эффективным инструментом по распознаванию образов [4; 5]. Свёрточная нейронная сеть состоит из двух блоков: первый отвечает за выделение признаков, а второй – за их классификацию.

Входными данными для обучения нейронной сети являются сегментированные изображения путевых сигналов, установленных на путях общего пользования (в нашем случае взят пример станции Омск). Данные изображения разбиты на подгруппы: обучающую и тестовую. Общее количество выборки составляет более 500 изображений.

Для обучения СНС приняты стандартные методы вычисления значений каждого нейрона согласно формулам [6; 7]:

$$x_j^l = f \left(\sum_i x_i^{l-1} w_{i,j}^l + b_i^{l-1} \right), \tag{2}$$

где x_i^l – карта признаков j выходного слоя l ;

f – функция активации;

b_i^l – коэффициент сдвига слоя l ;

$w_{i,j}^l$ – весовые коэффициенты слоя l .

В качестве функции активации приняты [8; 9]:

– для скрытых слоёв функция *ReLU*

(rectified linear unit):

$$f(s) = \max(0, s); \tag{3}$$

– для выходного слоя функция *softmax*:

$$f(s) = \exp(q_i) / \sum_{i=1}^m \exp(q_i), \tag{4}$$

где q_i – сигнал i -го нейрона.

Для измерения качества распознавания объектов на изображении применена функция среднеквадратичной ошибки:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1} (t_i - y_i)^2, \tag{5}$$

где t_i – желаемый результат i -го нейрона;

y_i – выходной сигнал i -го нейрона.

Для снижения числа случаев переобучения сети, что может исчисляться тысячей эпох, применена функция регуляризации Dropout, то есть, осуществляется изменение структуры сети тем, что каждый нейрон выбрасывается с некото-

рой вероятностью p . В общем случае функция описывается как:

$$f(s) = D \cdot f(s), \quad (6)$$

где D – мерный вектор случайных величин.

Свёрточная нейронная сеть по поиску световой сигнализации на цифровых изображениях реализована на языке программирования Python 3.6 с использованием библиотек с открытым доступом – Keras, NumPy, TensorFlow, Scikit-learn [2], имеющих возможность потоковой обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам обучения разработанной СНС получена оценка точности отклика для обучающей выборки – 88,3 %, для тестовой – 87,15 %.

Разработан алгоритм технологии машинного зрения от момента фиксации текущего кадра (изображения) до идентификации наличия путевого светофора на нём, представленный на рис. 1.

В качестве примера выполнены тестовые оценки разработанной технологии, использованы цифровые изображения запрещающих сигналов путевых светофоров, что ранее не были использованы при обучении СНС. Результаты представлены на рис. 3.

Повышение качества оценки СНС для идентификации путевых сигналов на анализируемых изображениях возможно при изменении количества слоёв свёртки, увеличении цифровых изображений обучающей выборки, повышении качества анализируемых изображений [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм на основе свёрточной нейронной сети, обеспечивает нахождение, выделение и идентификацию путевых сигнальных указателей. Применение технологии машинного зрения на подвижном составе позволит осуществлять компьютерный мониторинг поездных сигнальных указателей как временных, так и постоянных, повысить бдительность машиниста локомотива, что является неотъемлемым условием обеспечения безопасности движения поездов.

В настоящее время, на кафедре «Локомотивы» Омского государственного

университета путей сообщения, ведётся работа по решению задачи отслеживания и идентификации объектов при различных трансформациях, относящихся к путевым сигналам, техническим устройствам подвижного состава, несъёмных подвижных единиц, и других устройств, что является одним из векторов дальнейшего развития исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Посмитюха А. А. Локомотивные приборы безопасности и контроль за их работой. – М.: Транспорт, 1992. – 61 с.

2. Иванов Ю. А. Разработка локомотивной системы технического зрения: Автореф. дис... канд. юрид. наук. – М.: МГУПС, 2015. – 24 с.

3. Друки А. А. Применение сверточных нейронных сетей для выделения и распознавания автомобильных номерных знаков на изображениях со сложным фоном // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – № 5. – С. 85–92.

4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с. [Электронный ресурс]: <https://studizba.com/files/show/djvu/1762-1-haykin-s-neyronnye-seti.html>. Доступ 23.11.2019.

5. Chiang, Cheng-Chin; Ho, M.-C.; Liao, H.-S.; Pratama, Andi; Syu, W.-C. Detecting and recognizing traffic lights by genetic approximate ellipse detection and spatial texture layouts. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, December 2011, Vol. 7, No. 12, pp. 6919–6934. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/286958803_Detecting_and_recognizing_traffic_lights_by_genetic_approximate_ellipse_detection_and_spatial_texture_layouts. Доступ 23.11.2019.

6. Cortes, C., Vapnik, V. Support-vector networks. *Machine Learning*, 1995, Vol. 20, Iss. 3, pp. 273–297. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1022627411411>. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1022627411411.pdf>. Доступ 23.11.2019.

7. Diao, Yunfeng; Cheng, Wenming; Du, Run; Wang, Yaqing; Zhang, Jun. Vision-based detection of container lock holes using a modified local sliding window method. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019, Vol. 69. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1186/2Fs13640-019-0472-1>. Доступ 29.12.2019.

8. Джули А., Пал С. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 294 с.

9. Kecman, V., Melki, G. Fast Online Algorithms for Support Vector Machines Models and Experimental Studies. *IEEE South East Conference (SoutheastCon 2016)*, Virginia, USA, 2016. pp. 26–31. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/303257413_Fast_Online_Algorithms_for_Support_Vector_Machines_Models_and_Experimental_Studies. Доступ 29.12.2019.

10. Platt, J. C. Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines, Microsoft Research, Technical Report MSR-TR-98-14, 1998. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/2624239_Sequential_Minimal_Optimization_A_Fast_Algorithm_for_Training_Support_Vector_Machines. Доступ 29.12.2019.





Machine Vision Technology for Locomotives to Identify Railway Colour-Light Signals



Vitaly A. MINAKOV



Valentin K. FOMENKO

*Minakov, Vitaly A., Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia.
Fomenko, Valentin K., Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia*.*

ABSTRACT

Improving quality of transport and logistics services in modern conditions is associated with introduction of new technology and improvement of existing technologies of informatization and digitalization of transport. A particular task of introducing digital technologies into the technological processes of railway transport is to increase safety of train traffic.

The analysis of the works of domestic and foreign authors on issues of improving safety of train traffic revealed that at present there is a task of introduction of digital devices for analyzing infrastructure objects along the route of a locomotive. This is of importance when increasing speed of trains or when the trips are long, and it is difficult for a person (a driver) to correctly assess the situation and make a right decision.

The objective of this work is to develop a method for automatic monitoring of railway infrastructure

facilities, by equipping the locomotive with machine vision technology, namely, to ensure the ability to visually control the indications of railway colour-light signals along the route. The locomotive is equipped with a video module for fixing the streaming image along its movement, and with the microprocessor equipment for analyzing the resulting image. As an algorithm for recognizing railway signals in a fixed image, a mathematical apparatus based on models of convolutional neural networks is used.

The work performed showed good results in identifying colour-light signals in the analyzed images. Equipping traction rolling stock with technical vision will allow timely identification of track signals, this is especially important on railway tracks where there is no coding in the track circuit, which helps to increase the level of train safety. The development of the presented technology contributes to digitalization of railway transport, which makes it competitive in the world market.

Keywords: railway, locomotive, machine vision, signalling, traffic safety, machine vision, convolutional neural networks.

*Information about the authors:

Minakov, Vitaly A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Locomotives of Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia, vitalya_13@mail.ru.

Fomenko, Valentin K. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Locomotives of Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia, fomenkovk@mail.ru.

Article received 23.11.2019, accepted 29.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 62.

Background. Machine vision is a subsection of engineering, namely it is a general set of methods that allow computers to «see» using digital cameras. Today, machine vision is an integral part of many automated processes. The scope of its implementation in transport field is varied, for example, it is intended for identifying car plates or for counting people in vehicles. The tasks of machine vision is the analysis of images or video stream.

International companies, such as Siemens, Rio Tinto, General Electric, show great interest in development of machine vision for railways. They proposed systems that allow for automated visual monitoring of the condition of track, monitoring the technical condition of systems in real time, and automated control of autonomous locomotives.

Machine vision is significantly important for ensuring growth of traffic safety, particularly through modernization of existing signalling systems.

If we address practices used in Russia, the main device of railway equipment in ensuring traffic safety and increasing transit capacity of the railway network of the Russian Federation is an automatic continuous locomotive signalling system (ACLSS). When a train (locomotive) is moving, ACLSS, through a continuous communication channel which is provided by rails, receives encrypted information about the readings of the forward light-colour signal device. The ACLSS operation consists in transmitting the readings of track colour-light signals to a locomotive colour-light device and to devices monitoring the vigilance of the driver, controlling traffic speed, providing automatic train stop, etc. [1].

On sections of the railway track where temporary track signals are located, or there is no coding of the railway track (lack of a coded electrical signal in the rail circuits), the signal readings are not transmitted to traffic safety systems of traction rolling stock, thus reducing the level of safety when a locomotive moves within a given section.

In such cases, the function of additional control can be carried out using modern computer monitoring tools by equipping traction rolling stock with machine vision.

The *objective* of the work is to develop a technology for visual control of readings of railway signals by locomotives. Equipping a locomotive with machine vision technology will

allow it to «see» railway signals, while visual analysis methods based on a convolutional neural network will allow it to identify their readings.

The use of machine vision for locomotives to visually control railway signals will allow detection, classification of objects and tracking their condition. Using this approach, railway signals will act as objects, and readings of railway signals will serve as a classification attribute. It should be noted that the use of machine vision can only be used as an additional control, together with ACLSS system, to eliminate errors that periodically occur in the rail circuit [2].

When traction rolling stock moves along a section of a railway track, a video control device captures a digital image along the train route. The zone of machine vision is determined depending on technical requirements and operating conditions. Interval capture of a digital image within the control zone (locomotive vision zone) will allow for detection, tracking and classification of railway infrastructure facilities.

The analysis of a fixed frame (digital image) of railway signals is carried out by technical means using various libraries of open source code algorithms. The search for correspondence of colour components in a digital image, when identifying certain railway signals, consists in analyzing each pixel and determining colour clusters, followed by pattern recognition using artificial neural networks.

TASK SETTING

The tasks of machine vision technology for locomotives is to develop algorithms for analyzing colour space, determining the location of colour-light devices and identifying them in a digital image.

The difficulty in identifying railway signals is that the background medium is not monotonous and is changing during the image analysis period. Therefore, the value of the railway signal cannot be segmented from the background by the difference in colour. The colour model RGB (*red, green, blue*) has many limitations when used to describe colour [3]. Unlike RGB, the HSV (hue, saturation, value) colour model is less sensitive to the external environment, to brightness of light and shadow, it is easier to separate it from the background. One of the tasks of the algorithm (Pic. 1) is the



Pic. 1. Algorithm of machine vision technology. Authors' design.

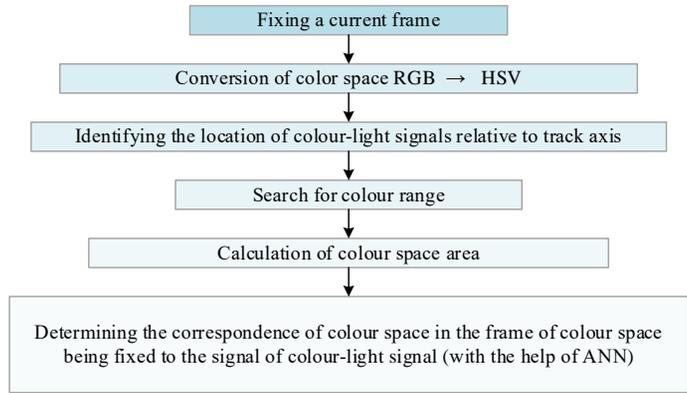


Table 1

Correspondence of identified signals of a colour-light signal device to the colour space¹

Colour space			
RGB (red, green, blue)	{255, 0, 0 ÷ 100, 50, 50}	{0, 0, 255 ÷ 50, 50, 100}	{0, 255, 0 ÷ 50, 100, 50}
HSV (hue, saturation, value)	{0, 155, 155 ÷ 15, 255, 255}	{255, 50, 50 ÷ 255, 100, 100}	{120, 155, 155 ÷ 150, 255, 255}

¹ According to the authors' data.

conversion of a fixed frame from RGB to HSV space and their comparison with a range of identifiable colours. An identifiable colour is the ratio of the colour palette to which the colour range of the signal pointers belongs.

Thus, to search for a colour palette corresponding to the identified signals of colour-light device, the range of the colour model in HSV is set. When identifying a colour palette, it is necessary to determine the area of the colour space to exclude random glare, interference, and noise in the captured image. This area parameter is set empirically when developing the algorithm (Table 1).

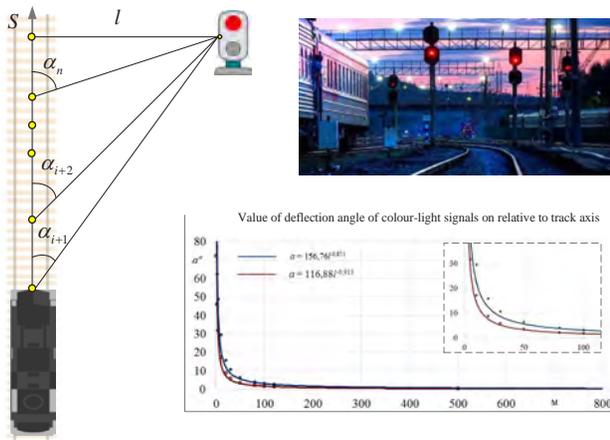
When controlling the railway light signalling using the machine vision method, while the locomotive is moving along station tracks, it is important to fix the machine vision on the colour-light signal device that is intended for the track, along which the train moves. This becomes a difficult task, since the colour-light signals in the station are located at a small distance from each other, and in the process of image analysis, identification of «alien» signal

device is probable. To determine «one's own» colour-light signal device, knowing the distance to the signalling device (*l*) according to the devices controlling locomotive's motion parameters, and the remoteness distance of the device from the track (*S*) [2], the angle between the line of sight and the light indicator is calculated by the formula:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{S} \quad (1)$$

Thus, the search area for the light signalling is determined, which also reduces the number of operations required to detect an object in the image. Pic. 2 shows the identification pattern and the results of calculating the angle of the line of sight, considering the location of colour-light signals at the station.

A method of processing digital images is based on machine learning methods using a convolutional neural network (CNN) of deep learning, which is an effective tool for pattern recognition [4; 5]. The convolutional neural network consists of two blocks: the first is responsible for selection of features (attributes),



Pic. 2. Determining attribution of a colour-light signal to the track that the locomotive uses. The authors' picture is based on the work [2].

and the second one is responsible for their classification.

The input data for training the neural network are segmented images of track colour-light signals installed on the public tracks (we use the example of Omsk station for illustrating the described case). Image data is divided into two subgroups: training subgroup and test one. The total number of samples is more than 500 images.

To learn CNN, standard methods for calculating the values of each neuron according to the formulas [6; 7] are accepted:

$$x_j^l = f \left(\sum_i x_i^{l-1} w_{i,j}^l + b_i^{l-1} \right), \quad (2)$$

where x_i^l is map of attributes j of the output layer l ;

- f is activation function;
- b_i^l is shear coefficient of the layer l ;
- $w_{i,j}^l$ are weight coefficients of the layer l .

As an activation function are accepted [8; 9]:

- for hidden layers, the *ReLU (rectified linear unit)* function:
- $$f(s) = \max(0, s); \quad (3)$$

- for the output layer the *softmax* function:

$$f(s) = \exp(q_i) / \sum_{i=1}^m \exp(q_i), \quad (4)$$

where q_i is signal of the i -th neuron.

To measure the quality of recognition of the objects in the image, the root-mean-square error function is used:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2, \quad (5)$$

where t_i is desired result of the i -th neuron;
 y_i is output signal of the i -th neuron.

To reduce the number of network retraining cases, which can be estimated in a thousand eras, the Dropout regularization function is applied, i.e. the network structure is changed by each neuron's ejection with a certain probability p . In general, a function is described as:

$$f(s) = D \cdot f(s), \quad (6)$$

where D is dimensional vector of random variables.

A convolutional neural network for searching for light signalling in digital images is implemented in the Python 3.6 programming language using open access libraries, e.g. Keras, NumPy, TensorFlow, Scikit-learn [2], which have the ability to stream data.

Results.

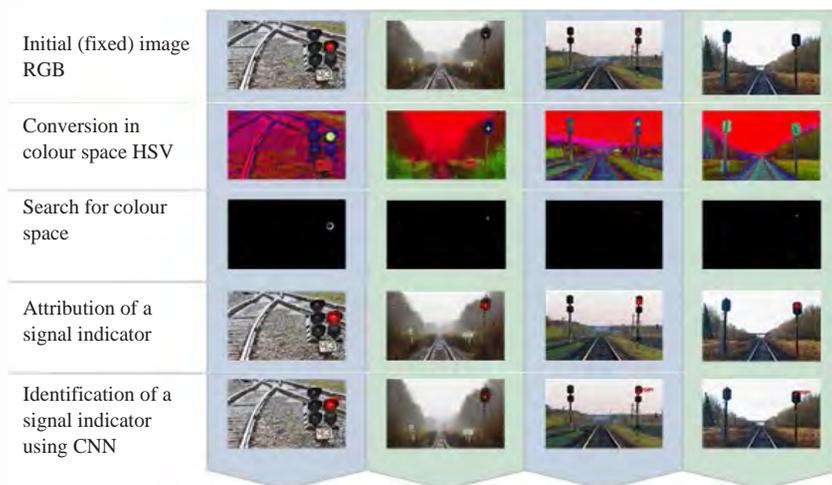
According to the results of the training of the developed CNN, estimates of accuracy of the response were obtained, for the training sample the estimate is of 88,3 %, for the test one it is of 87,15 %.

An algorithm has been developed for the technology of machine vision, extended from the moment of fixing the current frame (image) to identifying the presence of a colour-light signal in it, shown in Pic. 1.

As an example, test evaluations of the developed technology were carried out, digital images of the stop signals of colour-light signals were used, which had not been previously used in the training of CNN. The results are presented in Pic. 3.

Improving the quality of CNN assessment for identifying colour-light signals in the analysed images is possible by changing the number of convolution layers, increasing the digital images of the training sample, and





Pic. 3. Testing results of the developed technology. Authors' picture.

improving the quality of the analysed images [10].

Conclusion

The developed algorithm based on the convolutional neural network provides finding, selection and identification of the readings of colour-light signals. The use of on board machine vision technology will allow computer monitoring of railway signals, both temporary and constant ones, increased vigilance of a locomotive driver, which is an integral condition of train traffic safety.

Currently, the department of locomotives of Omsk State Transport University works carries out research to solve the problem of tracking and identifying objects under various transformations related to railway signals, technical devices of rolling stock, fixed movable units, and other devices, as a further development of the described study.

REFERENCES

1. Posmityukha, A. A. Locomotive safety devices and control over their operation [*Lokomotivnie pribory bezopasnosti i control' za ikh rabotoi*]. Moscow, Transport publ., 1992, 61 p.
2. Ivanov, Yu. A. Development of a locomotive system of technical vision: Abstract of Ph.D. (Law) thesis [*Razrabotka lokomotivnoi sistemy tekhnicheskogo zreniya: Avtoref. dis... kand. yur. nauk*]. Moscow, MGUPS [RUT] publ., 2015, 24 p.
3. Druki, A. A. Application of convolutional neural networks for identification and recognition of car license plates in images with a complex background [*Primenenie svertochnykh neironnykh setei dlya vydeleniya i raspoznavaniya avtomobilnykh nomernykh znakov na izobrazheniyakh so slozhnym fonom*]. *Izvestiya*

Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014, Iss. 5, pp. 85–92.

4. Khaikin, S. Neural networks: full course [*Neironnie seti: polny kurs*], 2nd ed. Moscow, «I. D. Williams» LLC, 2006, 1104 p. [Electronic resource]: <https://studizba.com/files/show/djvu/1762-1-haykin-s-neyronnye-seti.html>. Last accessed 23.11.2019.

5. Chiang, Cheng-Chin; Ho, M.-C.; Liao, H.-S.; Pratama, Andi; Syu, W.-C. Detecting and recognizing traffic lights by genetic approximate ellipse detection and spatial texture layouts. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, December 2011, Vol. 7, No. 12, pp. 6919–6934. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/286958803_Detecting_and_recognizing_traffic_lights_by_genetic_approximate_ellipse_detection_and_spatial_texture_layouts. Last accessed 23.11.2019.

6. Cortes, C., Vapnik, V. Support-vector networks. *Machine Learning*, 1995, Vol. 20, Iss. 3, pp. 273–297. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1022627411411>. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1022627411411.pdf>. Last accessed 23.11.2019.

7. Diao, Yunfeng; Cheng, Wenming; Du, Run; Wang, Yaqing; Zhang, Jun. Vision-based detection of container lock holes using a modified local sliding window method. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019, Vol. 69. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/article/10.1186%2F13640-019-0472-1>. Last accessed 29.12.2019.

8. Julie, A., Pal, S. Keras Library – A Deep Learning Tool [*Biblioteka Keras – instrument glubokogo obucheniya*]. Moscow, DMK Press, 2018, 294 p.

9. Kecman, V., Melki, G. Fast Online Algorithms for Support Vector Machines Models and Experimental Studies. IEEE South East Conference (SoutheastCon 2016), Virginia, USA, 2016, pp. 26–31. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/303257413_Fast_Online_Algorithms_for_Support_Vector_Machines_Models_and_Experimental_Studies. Last accessed 29.12.2019.

10. Platt, J. C. Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines, Microsoft Research, Technical Report MSR-TR-98-14, 1998. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/2624239_Sequential_Minimal_Optimization_A_Fast_Algorithm_for_Training_Support_Vector_Machines. Last accessed 29.12.2019.



НОВАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ ДЛЯ АВИАЦИИ

В ноябре 2019 года введена в действие новая служба круглосуточного непрерывного предоставления обновлённой информации о глобальной космической погоде в режиме реального времени.

Новая служба будет генерировать и предоставлять международной авиации консультативные сообщения о космической погоде, используя существующую авиационную фиксированную службу и данные, полученные от целевых глобальных центров космической погоды, созданных в 14 странах: консорциум с участием Австралии, Канады, Франции и Японии (ACFJ); консорциум PECASUS с участием Австрии, Бельгии, Кипра, Финляндии, Германии, Италии, Нидерландов, Польши и Соединённого Королевства; и третий центр, управляемый Соединёнными Штатами Америки.

Не позднее ноября 2022 года также будут созданы два новых региональных центра обнаружения явлений космической погоды. Первый из них будет управляться консор-

циумом с участием Китая и Российской Федерации, а второй – Южной Африкой. Все глобальные и региональные центры будут уделять основное внимание проявлениям солнечной активности, которые могут потенциально оказывать влияние на связанную с воздушным транспортом высокочастотную (ВЧ) связь, навигацию и наблюдение, основанные на GNSS, а также уровни радиации на борту гражданских воздушных судов.

«Эта новая возможность позволит лётному экипажу и специалистам по производству полётов пользоваться самой свежей информацией о любых проявлениях солнечной активности, которые могут потенциально повлиять на работу авиационных систем или здоровье пассажиров», – отметила генеральный секретарь ИКАО д-р Фан Лю.

На основе материалов ИКАО:

<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/RU/New-global-aviation-space-weather-network-launched.aspx> ●

NEW GLOBAL AVIATION SPACE WEATHER NETWORK

A new 24/7 service has been launched in November 2019 to provide real-time and worldwide space weather updates for commercial and general aviation.

The new service will generate and share space weather advisories using the existing aeronautical fixed network for international aviation using data collected from dedicated space weather centers established by 17 countries: the ACFJ consortium of Australia, Canada, France and Japan; the PECASUS consortium comprising Austria, Belgium, Cyprus, Finland, Germany, Italy, Netherlands, Poland and the United Kingdom; and a 3rd center operated by the United States.

Two new regional space weather detection centers are also going to be established, no later than November 2022. The first of these will be operated by a consortium of China and the

Russian Federation, and the second by South Africa. All of the global and regional centers will be focusing on solar events which can potentially impact air transport-related High Frequency (HF) communications, GNSS-based navigation and surveillance, and radiation levels on board civilian aircraft.

«This new capability will permit flight crew and flight operations experts to make use of the most updated information possible on any solar events which could potentially impact aircraft systems or passenger health», commented ICAO Secretary General Dr. Fang Liu.

Compiled from ICAO news:

<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/RU/New-global-aviation-space-weather-network-launched.aspx> ●





Конструктивное решение и методика исследования нагруженности колёсных пар



Любовь СЛАДКОВА



Алексей НЕКЛЮДОВ

*Сладкова Любовь Александровна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Неклюдов Алексей Николаевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.**

Колёсная пара относится к наиболее уязвимой части экипажа с точки зрения возникновения отказов. Как правило, это выявляется на этапе эксплуатации и зависит не только от вида применяемого материала, из которых изготовлены колесо и рельсы, но также и от технологии их изготовления и эксплуатации. Основные неисправности колёсных пар, характер и причина их появления рассмотрены с точки зрения эксплуатации железнодорожных составов.

Целью исследования являлся краткий анализ отказов колёсных пар, способов борьбы с ними, а также разработка подходов к принятию конструктивных решений.

В качестве темы для дискуссии авторы выдвигают тезис, что существующие способы восстановления колёс наплавкой менее перспективны по сравнению с представленным ими техническим решением, которым предлагается повысить надёжность колёсных пар на этапе проектирования путём внесения несущественных изменений в конструкцию колеса без изменения его геометрических характеристик и параметров. Учитывая причину и места, подвергающиеся наибольшему дефектам (гребни колёс и реборда), на колесо существующей конструкции в местах наиболее

вероятного возникновения дефекта напрессовывается обод (обруч), выполненный из материала, твёрдость которого соизмерима с твёрдостью рельса. Внутренняя поверхность обруча должна полностью повторять внешний контур колеса, контактирующий с ободом, что обеспечивает необходимую прочность соединения. Предлагаемое техническое решение позволит снизить напряжённо-деформированное состояние гребня колеса, являющегося основной причиной отказа.

Для оценки целесообразности предложения рекомендуется использовать методику расчёта суммарного напряжения, возникающего на поверхности контакта колеса и для этого воспользоваться классической теорией прочности.

Эту же методику предлагается использовать и для решения других задач, связанных с расчётом подходов к повышению ресурса колёсных пар.

Таким образом, основная идея проведённых исследований заключается в разработке цели, задач и основных направлений, связанных с принятием принципиально новых решений по повышению ресурса колёсных пар в процессе их эксплуатации и разработке для этого теоретических положений и научно-методологического аппарата.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, техническое решение, колёсная пара, колесо, экипаж, железнодорожный вагон, исследования, нагруженность, износ, отказ.

*Информация об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических средств Российского университета транспорта, Москва, Россия, rich.cat2012@yandex.ru.

Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой путевых, строительных машин и робототехнических комплексов Российского университета транспорта, Москва, Россия, neklyudov.an@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 04.06.2019, принята к публикации 12.11.2019.

For the English text of the article please see p. 78.

ВВЕДЕНИЕ

Научный интерес к колёсной паре определён тем, что колёсная пара является одной из главных и ответственных частей вагона и относится к наиболее уязвимой части экипажа с точки зрения возникновения отказов при эксплуатации. Также не стоит сбрасывать со счетов, что её надёжность, как и любого изделия, закладывается на этапе проектирования.

Выявлено, что неисправностями колёсных пар, основные из которых приведены на рис. 1, являются прокат, ползуны, трещины, подрезы, выщербины и раковины на поверхности катания колёс, изнашивание гребня колеса и др., которые требуют замены колёс [1, с. 1; 2, с. 8; 3, с. 56]. Их появление связывают, как правило, с эксплуатацией техники.

Считается, что интенсивность изнашивания колёс и рельсов зависит от более чем 60 факторов [4, с. 7], часть которых входят в группу конструктивных.

Автор [4, с. 2] полагает, что по оценке экспертов, в России «в начале 80-х годов XX века срок службы бандажей колёсных пар локомотивов составлял 6–7 лет, а в 90-е годы он сократился уже до 2–3 лет. В 2010 г. ремонту с обточкой при восстановлении конфигурации их профиля подвергалось около 3 млн колёсных пар» [4, с. 1].

Основной причиной роста числа отказов колёсных пар является разность между твёрдостью колеса и рельса. В настоящее время твёрдость рельсов составляет 400–450 НВ, а твёрдость бандажей колёсных пар ТПС осталась на уровне 275–315 НВ, что предопределяет увеличение износа бандажей и рельсов. При переходе на тип рельсов Р65 (с Р50) износ колёсных пар увеличился более чем в два раза [4, с. 1; 5, с. 156; 6, с. 181], с преобладанием бокового износа (с преобладанием износа по боковой по-

верхности) [4, с. 12], что не может не сказаться на повышении интенсивности изнашивания колеса.

Данная проблема будет иметь неуклонную тенденцию к росту в результате увеличения скоростей передвижения железнодорожного транспорта [7, с. 13].

В России в определённый момент в эксплуатации находилось порядка 50 % колёсных пар грузовых вагонов с толщиной обода менее 40 мм, из них 50 % с толщиной менее 30 мм. Стандартами устанавливается средний срок службы колёс в пределах 12 лет [8, с. 17], однако фактически срок службы колёс существенно меньше.

Установлено, что в среднем при ремонте колёс по гребню методом механической обработки в стружку уходит 12–15 мм толщины обода с каждого колеса (см. рис. 2 [9, с. 48]), а при ремонте по термоконтактно-усталостным дефектам 5–7 мм и более [4, с. 1; 5, с. 156; 6, с. 181]. Учитывая, что в настоящее время колёсная пара интенсивно эксплуатируемого рабочего парка вагонов в год обтачивается по одному из дефектов не менее одного раза, то средний срок службы колёс составляет порядка 3–4 года [4, с. 32; 6, с. 181].

Более того, существующий способ восстановления гребней колёсных пар наплавкой является неэффективным с точки зрения расхода материалов и трудоёмкости технологического процесса. При восстановлении колёс наплавкой, после двухтрёх обточек, упрочнённый при термической обработке заводской слой срезается в стружку. В результате, весь остальной период службы колёсные пары интенсивнее изнашиваются и поражаются дефектами термоконтактно-усталостного происхождения [4, с. 32; 6, с. 181; 9, с. 48].

Очевиден тот факт, что увеличение объёмов перевозок неизбежно приводит

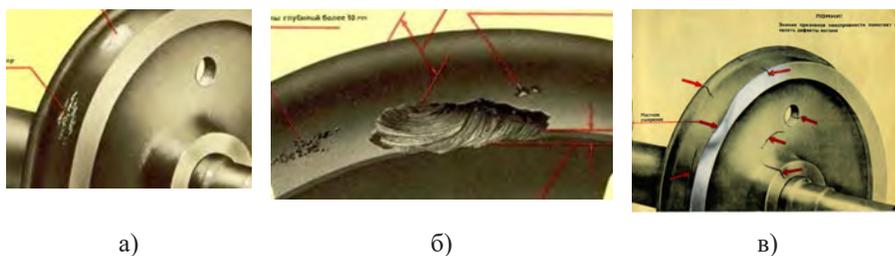


Рис. 1. Основные неисправности колеса колёсной пары: а – ползуны; б – выщербины; в – замятие [2].



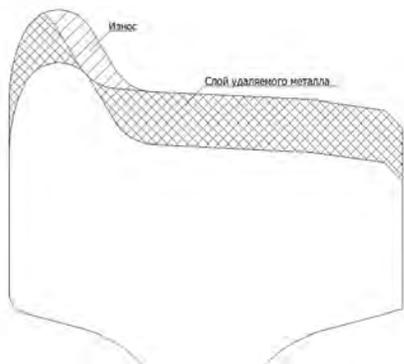


Рис. 2. Ремонт ЦКК методом механической обработки [9].

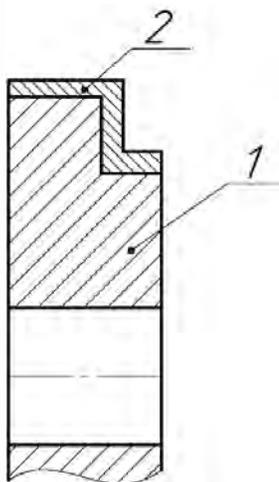


Рис. 3. Конструктивное решение колеса вагона.

к увеличению эксплуатационных затрат предприятиями железных дорог, в том числе российскими, на восстановительные и ремонтные работы колёсных пар [10, с. 11; 11, с. 4; 12, с. 13–14; 13, с. 21–22; 14, с. 24].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ДИСКУССИИ

Нами предлагается повысить надёжность колёсных пар на этапе проектирования путём внесения несущественных изменений в конструкцию колеса без изменения его геометрических характеристик и параметров. Учитывая причины и места, подвергающиеся наибольшему дефектам (гребни колёс и реборда), на колесо 1 существующей конструкции (рис. 3) в местах наиболее вероятного возникновения дефекта (гребня) напрессовывается обод (обруч) 2, выполненный из материала, твёрдость которого соизмерима с твёрдо-

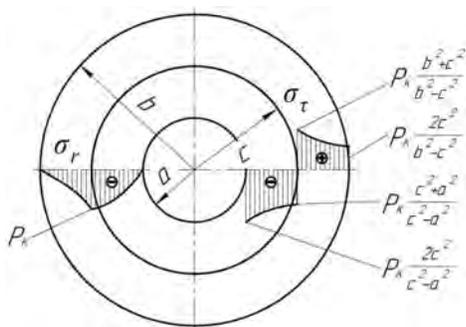


Рис. 4. Напряжённо-деформированное состояние колеса предлагаемой конструкции, использована базовая схема [15, рис. 314].

стью рельса. Внутренняя поверхность обруча должна полностью повторять внешний контур колеса, контактирующий с ободом, что обеспечивает необходимую прочность соединения.

Для оценки напряжений, возникающих на поверхности контакта колеса, воспользуемся классической теорией прочности [15, с. 287, рис. 314; 16, с. 356–358] (см. рис. 4).

На рис. 4 видно, что для обеспечения прочности необходимо, чтобы контактное напряжение между колесом и ободом соответствовало допускаемому напряжению натяга. Колесо в процессе эксплуатации будет испытывать, в совокупности, различные виды напряжённо-деформированного состояния.

Контактные напряжения, возникающие между колесом и рельсом, будут изменяться в зависимости от удалённости от точки контакта, они детально изучены в трудах [5, с. 46; 8, с. 17; 10, с. 11; 11, с. 4; 12, с. 13–14]. Кроме контактных напряжений, возникнут тангенциальные и радиальные напряжения в зависимости от усилий, передающихся с оси на ступицу колеса, которые в расчётах примем за давление p , приходящееся на единицу поверхности (см. рис. 4). Температурные напряжения, возникающие в конструкции, являются следствием контактных напряжений между колесом и рельсом. Сюда же можно добавить циклические напряжения, возникающие при перекачивании колеса по прямолинейной поверхности. Не следует исключать напряжения, возникающие в колесе, принимая его за быстровращающиеся диски.

Таким образом, суммарное напряжение, возникающее в колесе выбранной конструкции, определим как векторную сумму напряжений:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6, \quad (1)$$

где σ_1 – контактные напряжения;

σ_2 – тангенциальные напряжения;

σ_3 – радиальные напряжения;

σ_4 – температурные напряжения;

σ_5 – циклические напряжения;

σ_6 – напряжения, возникающие при перемещении по стыкам рельсов.

В результате расчётов суммарное напряжение в колесе выбранной конструкции не будет отличаться в отрицательную сторону от колёс применяемой ныне конструкции, что позволяет продолжать исследования по доработке предложенной конструкции.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ УЧЁТА НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЫХ ЗАДАЧ

Учёт всех перечисленных видов напряжений и исследование их влияния на напряжённо-деформированное состояние колеса позволит:

- выявить физическую природу возникновения дефектов на поверхности колеса существующей конструкции;
- оценить параметры колеса существующей конструкции;
- оценить целесообразность изготовления колеса новой конструкции.

Кроме сказанного выше, глубокий анализ, проведённый по указанным направлениям, позволит:

- изучить кинетическую среду взаимодействия колеса с рельсом;
- разработать концепцию конструктивных и технологических изменений при изготовлении колёс;
- разработать методологию многофакторного анализа взаимодействия колеса с рельсом;
- осуществить моделирование кинетики технологических процессов при изготовлении колёсных пар;
- разработать формы и способы повышения срока службы колёс вагонов.

Дальнейшее исследование указанных направлений представляется превалирующим в выявлении физической природы изнашивания колёсных пар и позволит разработать технически грамотные и ре-

ализуемые на практике предложения по устранению причин изнашивания и созданию принципиально новых конструктивных решений и повысить срок службы изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дефекты и неисправности колёсных пар и буксового узла. [Электронный ресурс]: http://www.вагонник.рф/2018/01/blog-post_21.html. Доступ 04.06.2019.

2. Неисправности колёсных пар подвижного состава. [Электронный ресурс]: <https://poznayka.org/s62361t1.html>. Доступ 04.06.2019.

3. Коржин С. Н. Анализ и выбор технологических решений по повышению износостойкости гребней колёсных пар / Дис... канд. техн. наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2000. – 196 с.

4. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колёсных пар тягового подвижного состава / Автореф. дис... док. техн. наук. – Екатеринбург, УрГУПС, 2011. – 44 с.

5. Dumpala, R., Chandran, M., Rao, M. S. R. Engineering CVD diamond for machining and tribological applications. JOM, 2015, Vol. 67, No. 7, pp. 1565–1577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>.

6. Pefiffer, H., Solf, W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertatten des Betriebsmaschinen-dienstes des Deutschen Bundesbahn. Elektrische Bahnen, 1978, No. 7, pp. 171–186.

7. Sohst, D., Greschke, K. H. Wirtschaftliche Unterhaltung der elektrischen Lokomotiven im Bahnbetriebswerk. Eisenbahntechnische Praxis, 1979, No. 3, pp. 12–17.

8. ГОСТ. Колёсные подвижные пары железнодорожного подвижного состава. Методы определения показателей прочности. – М.: Межгосударственный стандарт, 2018. – 99 с.

9. Саврухин А. В., Киселёв С. Н., Неклюдов А. Н., Кузьмина Г. Д., Киселёв А. С. Компьютерная диагностика формирования структурного состава при закалке цельнокатаного колеса // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 6. – С. 45–49.

10. Воробьёв А. А., Сорокин П. Г. Исследования напряжённого состояния пятна контакта колеса и рельса. – СПб.: ПГУПС, 2017. – 17 с.

11. Сладковский А. В. Особенности контактного взаимодействия колёс и рельсов с различными профилями // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2004. – № 8. – С. 4.

12. Тариков Г. П., Акулова Е. М. Определение напряжений под площадкой контакта в системе «рельс–колесо» // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. Машиностроение и машиноведение. – 2015. – № 3. – С. 10–18.

13. Epp, C. J., Fuller, R. N. The influence if suspension characteristics on wheel wear. Prepr. Pap. Conf. Railway Eng. Manag. Assets., 23–25 Sept. 1991, pp. 18–25.

14. Tulecki, A. Renewal of the external profile of the road wheel of wheel sets. Monogr. Techn. Univ., Cracow, 1988, No. 72, pp. 1–59.

15. Феодосьев В. И. Сопrotивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 416 с.

16. Любошиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопроtивлению материалов. – Минск: Вышэйш. Шк., 1969. – 464 с. ●





Design and Methodology for Studying Wheelset Load



Lyubov A. SLADKOVA



Alexey N. NEKLYUDOV

*Sladkova, Lyubov A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Neklyudov, Alexey N., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The wheelset is one of the most vulnerable parts of a carriage in terms of failures. As a rule, the failure is revealed at the stage of operation and depends not only on the type of material, of which wheel and rails are made, but also on the technology of their manufacture and operation. The main malfunctions of wheelsets, the nature and causes of their appearance are considered from the point of view of train operations.

The objective of the study is a brief analysis of wheelsets' failures, measures to fight them, as well as development of approaches to introduction of new design decisions.

As a debatable problem, the authors suggest a thesis that the existing methods for repairing wheels flanges by surfacing are less promising compared to the technical solution proposed by them. The study proposes to increase reliability of wheelsets at the design stage by making minor changes to the wheel design without changing its geometric characteristics and parameters. Taking into account the cause and the places exposed to the greatest

defects (wheel flanges and rims), it is proposed that a rim (hoop) made of a material whose hardness is commensurate with hardness of the rail is pressed onto the wheel of the existing structure in places of the most likely occurrence of the defect. The inner surface of the hoop should completely repeat the outer contour of the wheel in contact with the rim, which provides the necessary bond strength. The proposed technical solution will reduce the stress-strain state of the wheel flange, which is the main cause of failure.

To assess the suggestion by calculating total stresses arising on the contact surface of the wheel, it is proposed to use the classical theory of strength.

The same method is proposed to solve other problems referring to calculation of solutions aimed to increase the life of wheelsets.

So, the main idea of the research is to develop goals and objectives and main directions related to making fundamentally new decisions to increase the life cycle of wheelsets during their operation, as well as to develop relevant theoretical principles and a scientific and methodological apparatus.

Keywords: transport, railway, technical solution, wheelset, wheel, carriage, railway wagon, research, loading, wear, failure.

*Information about the authors:

Sladkova, Lyubov A. – D.Sc. (Eng), Professor of the Department of Land Transport Vehicles and Technology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, rich.cat2012@yandex.ru.

Neklyudov, Alexey N. – Ph.D (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Track & Construction Machines and Robotic Complexes of Russian University of Transport, Moscow, Russia, neklyudov.an@gmail.com.

Article received 04.06.2019, accepted 12.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 74.

Introduction

The scientific interest in the wheelset is determined by the fact that the wheelset is one of the most important, responsible but also vulnerable parts of a carriage in terms of failures. Also, it is necessary to consider that its reliability, like of any product, is laid at the design stage.

It was revealed that the main malfunctions of wheelsets, the main of which are shown in Pic. 1, are milling bars, sliders, cracks, undercuts, chips and flaws on the surface of the wheels, wear of the wheel flange, etc., which require replacement of the wheels [1, p. 1; 2, p. 8; 3, p. 56]. Their emergence is associated, as a rule, with operation of the equipment and vehicles.

It is considered that the wear rate of wheels and rails depends on more than sixty factors [4, p. 7], some of which are part of the design group.

The author [4, p. 2], believes that according to experts, in Russia «in the early 80s of 20th century, the service life of bandages of locomotive wheelsets was 6–7 years, and in the 1990s it reduced to 2–3 years. In 2010, about 3 million wheelsets were subjected to repair with turning when restoring the configuration of their profile» [4, p. 1].

The main reason for increase in the number of failures of wheelsets is the difference between hardness of the wheel and the rail. Currently, hardness of rails is 400–450 HB, and hardness of bandages of wheelsets of traction rolling stock remains at the level of 275–315 HB, which determines the increase in wear of bandages and rails. When switching to the rail type R65 (from R50), wear of wheelsets more than doubled [4, p. 1; 5, p. 156; 6, p. 181], with a predominance of lateral wear (with a predominance of wear on the lateral surface) [4, p. 12], which cannot but affect the increase in the wear rate of the wheel.

This problem will have a steady upward trend because of increased traffic speeds of railway transport [7, p. 13].

In Russia at a moment, about 50 % of wheelsets of freight cars were in operation with a rim thickness of less than 40 mm, of which 50 % with a thickness of less than 30 mm. The standards set the average service life of the wheels up to 12 years [8, p. 17], but in fact the service life of the wheels is significantly less.

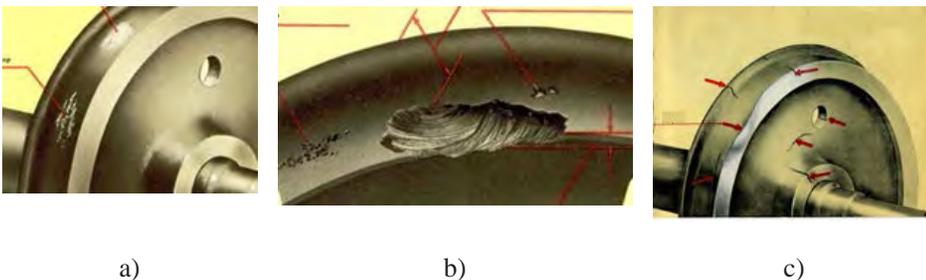
It has been established that, on average, when repairing wheels along a ridge by a machining method, 12–15 mm of rim thickness from each wheel goes to shavings (see Pic. 2 [9, p. 48]), and when repairing thermo-contact-fatigue defects 5...7 mm or more does [4, p. 1; 5, p. 156; 6, p. 181]. Given that at present the wheelset of an intensively operated working fleet of wagons is machined per year because of one of the defects at least once, the average service life of the wheels is about 3–4 years [4, p. 32; 6, p. 181].

The existing method for restoring wheelset flanges by surfacing is ineffective in terms of material consumption and complexity of the process. When restoring the wheels by surfacing, after two or three turns, the layer hardened at the plant during heat treatment is cut into chips. As a result, for the rest of the service period, the wheelsets wear out more intensively and are affected by defects of thermo-contact fatigue origin [4, p. 32; 6, p. 181; 9, p. 48].

The fact is obvious that an increase in traffic volumes inevitably leads to an increase in operating costs by the enterprises, comprising Russian enterprises, paid for restoration and repair of wheelsets [10, p. 11; 11, p. 4; 12, pp. 13–14; 13, pp. 21–22; 14, p. 24].

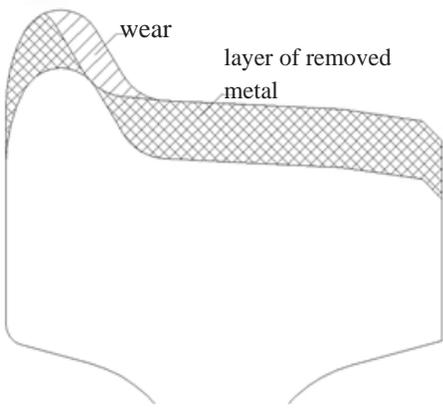
Suggestion for discussion

We propose to increase reliability of wheelsets at the design stage by making minor

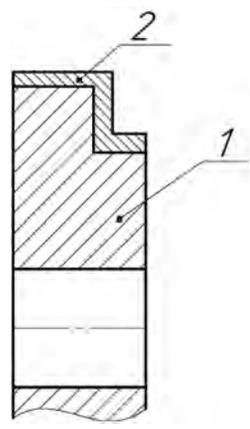


**Pic. 1. Main failures of a wheel of a wheelset:
a – sliders; b – chips; c – wrecks [2].**





Pic. 2. Repair of all-rolled wheel by mechanical processing method [9].



Pic. 3. Design of a wagon's wheel.

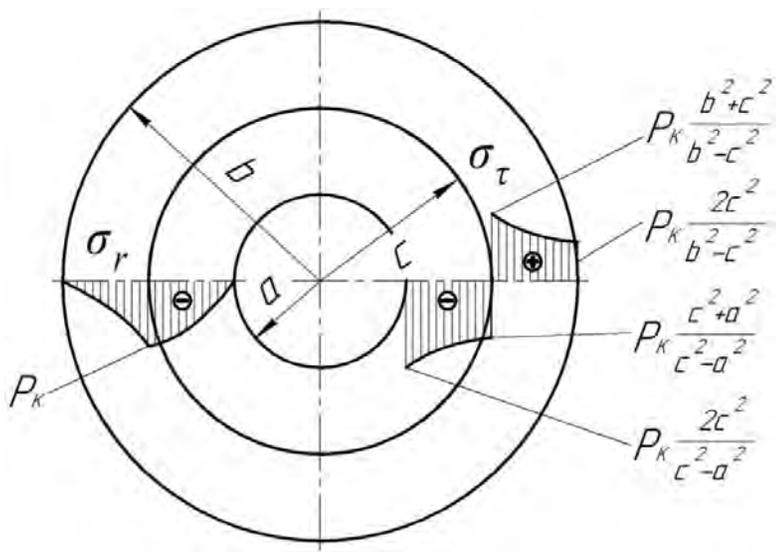
changes to the wheel design without changing its geometric characteristics and parameters. Considering the cause and the places that are subject to the greatest defects (wheel flanges and rims), a rim (hoop) 2 is pressed onto the wheel 1 of the existing design (Pic. 3), made of a material whose hardness is commensurate with hardness of the rail. The inner surface of the hoop should completely repeat the outer contour of the wheel in contact with the rim, which provides the necessary bond strength.

To assess the stresses arising on the contact surface of the wheel, we use the classical theory of strength [15, p. 287, Pic. 314; 16, pp. 356–358] (see Pic. 4).

In Pic. 4 it is seen that to ensure strength, it is necessary that the contact stress between

the wheel and the rim corresponds to the permissible interference tension. During operation, the wheel will suffer, in aggregate, various types of stress-strain state.

Contact stresses arising between the wheel and the rail will vary depending on the distance from the contact point; they have been studied in detail in the works [5, p. 46; 8, p. 17; 10, p. 11; 11, p. 4; 12, pp. 13–14]. Besides contact stresses, tangential and radial stresses will arise depending on the forces transmitted from the axis to the wheel hub, which in calculations will be taken as the pressure p per unit surface (see Pic. 4). Temperature stresses arising in the structure are the result of contact stresses between the wheel and the rail. Here you can add cyclic stresses that occur when the wheel rolls on a



Pic. 4. Stress-strain state of a wheel of a proposed design [15, Pic. 314].

rectilinear surface. The stresses arising in the wheel should not be excluded, taking it for fast-rotating disks.

Thus, the total stress arising in the wheel of the selected design is defined as the vector sum of stresses:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6, \quad (1)$$

where σ_1 are contact stresses;

σ_2 are tangential stresses;

σ_3 are radial stresses;

σ_4 are temperature stresses;

σ_5 are cyclic stresses;

σ_6 are stresses arising when moving along the joints of rails.

Following the calculation the total stress in the wheel of selected design will not differ negatively compared to the wheels of now existing design, allowing thus to continue research to develop the suggested design.

Using suggested technique to consider stresses to solve other problems

Consideration of all the listed types of stresses and the study of their influence on the stress-strain state of the wheel will allow:

- to identify the physical nature of occurrence of defects on the surface of the wheel of the existing structure;
- to evaluate wheel parameters of an existing design;
- to evaluate feasibility of manufacturing a wheel of a new design.

In addition to the above, a deep analysis conducted in these areas will allow:

- to study the kinetic environment of interaction of the wheel with the rail;
- to develop a concept of design and technological changes in the manufacture of wheels;
- to develop a methodology for multivariate analysis of interaction of the wheel with the rail;
- to carry out modelling of the kinetics of technological processes in the manufacture of wheelsets;
- to develop forms and ways to increase the service life of wheels of wagons.

The further research in those areas is prevailing in identifying the physical nature of wear of wheelsets, which will allow development of technically competent and practical solutions to eliminate the causes of wear as well as to create a fundamentally new design projects, and to extend the service life of the wheelset.

REFERENCES

1. Defects and malfunctions of wheelsets and axle box [*Defekty i neispravnosti kolesnykh par i buksovogo uzla*]. [Electronic resource]: http://www.вагонник.рф/2018/01/blog-post_21.html. Last accessed 04.06.2019.
2. Malfunctions of wheelsets of rolling stock [*Neispravnosti kolesnykh par podvizhnogo sostava*]. [Electronic resource]: <https://poznayka.org/s62361t1.html>. Last accessed 04.06.2019.
3. Korzhin, S. N. Analysis and selection of technological solutions to increase wear resistance of wheel flange ridges. Ph.D. (Eng) thesis [*Analiz i vybor tekhnologicheskikh reshenii po povysheniyu iznosostoikosti grebnei kolesnykh par. Dis.. kand. tekhn. nauk*]. Moscow, MGUPS (MIIT) publ., 2000, 196 p.
4. Buinosov, A. P. Methods of increasing the resource of bandages of wheelsets of traction rolling stock. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [*Metody povysheniya resursa bandazhei kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava. Avtoref. dis... dok. tekhn. nauk*]. Yekaterinburg, UrGUPS, 2011, 44 p.
5. Dumpala, R., Chandran, M., Rao, M. S. R. Engineering CVD diamond for machining and tribological applications. *JOM*, 2015, Vol. 67, No. 7, pp. 1565–1577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>.
6. Pefiffer, H., Solf, W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertatten des Betriebsmaschinendienstes des Deutschen Bundesbahn. *Elektrische Bahnen*, 1978, No. 7, pp. 171–186.
7. Sohst, D., Greschke, K. H. Wirtschaftliche Unterhaltung der elektrischen Lokomotiven im Bahnbetriebswerk. *Eisenbahntechnische Praxis*, 1979, No. 3, pp. 12–17.
8. GOST [Russian state standard]. Wheelsets of railway rolling stock. Methods for determining strength indicators [*Kolesnie podvizhnie pary zhelezнодорожного podvizhnogo sostava. Metody opredeleniya pokazatelei prochnosti*]. Moscow, Interstate Standard, 2018, 99 p.
9. Savrukhin, A. V., Kiselev, S. N., Neklyudov, A. N., Kuzmina, G. D., Kiselev, A. S. Computer diagnostics of formation of structural composition during quenching of an all-rolled wheel [*Kompyuternaya diagnostika formirovaniya strukturnogo sostava pri zakalke tselnokatanogo kolesa*]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2008, Iss. 6, pp. 45–49.
10. Vorobyov, A. A., Sorokin, P. G. Study of the stress state of the contact spot between the wheel and the rail [*Issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya pyatna kontakta kolesa i rel'sa*]. St. Petersburg, PGUPS, 2017, 17 p.
11. Sladkovsky, A. V. Features of the contact interaction of wheels and rails with different profiles [*Osobennosti kontaktного vzaimodeistviya koles i rel'sov s razlichnymi profilyami*]. *Visnik skhidnoukrainskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya*, 2004, Iss. 8, p. 4.
12. Tarikov, G. P., Akulova, E. M. Determination of stresses under the contact area in the rail–wheel system [*Opredelenie napryazhenii pod ploschadkoi kontakta v sisteme «rel's–koleso»*]. *Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo. Mashinostroenie i mashinovedenie*, 2015, Iss. 3, pp. 10–18.
13. Epp, C. J., Fuller, R. N. The influence if suspension characteristics on wheel wear. Prepr. Pap. Conf. Railway Eng. Manag. Assets., 23–25 Sept. 1991, pp. 18–25.
14. Tulecki, A. Renewal of the external profile of the road wheel of wheelsets. Monogr. Techn. Univ., Cracow, 1988, No. 72, pp. 1–59.
15. Feodosiev, V. I. Resistance of materials [*Soprotivlenie materialov*]. Moscow, Publishing House of Bauman MSTU, 2016, 416 p.
16. Lyuboshits, M. I., Itskovich, G. M. Handbook of resistance to materials [*Spravochnik po soprotivleniyu materialov*]. Minsk, Higher. Shk., 1969, 464 p.





Направления повышения эффективности эксплуатации локомотивов



Игорь ЛАКИН



Александр СЕМЕНОВ



Игорь ХРОМОВ

Лакин Игорь Капитонович – Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги, Красноярск, Россия.

Семенов Александр Павлович – Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта (НИИТКД), Омск, Россия.

Хромов Игорь Юрьевич – ООО «ЛокоТех», Москва, Россия.*

В статье выполнен анализ статистики эксплуатации локомотивов и определены основные направления повышения эффективности тяги поездов. Основная цель исследования – выявление факторов повышения надёжности локомотивов.

При этом использованы данные выборки по 40 локомотивам всех основных серий, эксплуатируемых в России, за 400–500 дней эксплуатации, что гарантирует достоверность полученных результатов. Метод исследования – статистическая обработка данных. При этом в дополнение к общепринятым состояниям «исправное» и «неисправное» рассмотрены новые «в голове поезда» (полезная

работа) и ряд других. Введён коэффициент полезной работы. В результате доказан реально возможный уровень полезного использования локомотива до 75 % от общего времени против 49 % в настоящее время. Показано, что сокращение времени и стоимости технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР) является важным направлением повышения эффективности эксплуатации локомотивов. При этом ранее было показано, что одна из причин перепростоя локомотивов на ремонте – это существенный объём нарушений режимов эксплуатации, что было подтверждено статистическими данными.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, локомотив, эффективность эксплуатации локомотивов, техническое обслуживание и ремонт, нарушения режимов эксплуатации, алгоритмические защиты.

*Информация об авторах:

Лакин Игорь Капитонович – доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги» (АО «ДЦВ Красноярской железной дороги»), Красноярск, Россия, i.k.lakin@dsv.ru.

Семенов Александр Павлович – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «НИИ Технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД»), Омск, Россия, corp@niitkd.ru.

Хромов Игорь Юрьевич – главный специалист ООО «ЛокоТех», Москва, Россия, KhromovIYu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.07.2019, актуализирована 16.12.2019, принята к публикации 20.12.2019.

For the English text of the article please see p. 88.

Повышение эффективности использования локомотивов является одной из важнейших составляющих роста эффективности перевозочной деятельности железнодорожной компании — оператора подвижного состава. Для определения основных направлений повышения эффективности тяги поездов необходимы совершенствование методов анализа статистики эксплуатации локомотивов, построение методологической базы оценки рекомендаций по повышению надёжности использования локомотивов и, соответственно, его эффективности.

В этих целях авторами предлагаются результаты исследования, основанного на *методах* анализа статистических данных эксплуатации локомотивов основных серий, используемых в России, на сети ОАО «РЖД». Основная *цель* исследования — выявление факторов повышения надёжности локомотивов.

1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ: ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРИМЕНЁННАЯ МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В информационной системе оперативного управления перевозками (далее — АСОУП) компании ОАО «РЖД» [1] в процессе управления движением поездов среди прочих параметров перевозочного процесса фиксируется использование локомотивного парка. Авторами выполнен анализ этих данных для выявления резервов повышения эффективности локомотивной тяги. Для обеспечения достоверности выводов об эффективности использования локомотивов взята репрезентативная выборка по наиболее массовым сериям локомотивов, включающим электровозы ВЛ10, ВЛ80Р, ВЛ80С, ВЛ85, 2(3)ЭС5К, 2(3)ЭС4К, тепловозы 2(3)ТЭ10МК, 2ТЭ25КМ и 2ТЭ116У. По каждой серии из информационной системы АСОУП взято по 40 локомотивов, что представляет собой статистически достоверную (репрезентативную), случайным образом сформированную выборку. По каждому локомотиву выбраны сведения за 400–500 дней эксплуатации с мая 2017 года по октябрь 2018 года. Общее число исходных данных — около 5 млн событий. Обработка данных

осуществлена с использованием специально разработанной авторами программы на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications (VBF) в среде Excel (подробнее об алгоритмическом языке см., напр. [2]). Предварительно из выборок с использованием правила трёх сигм [3, с. 67] удалены артефакты, относящиеся к локомотивам, длительно находившимся в запасе или на внеплановом ремонте. В результате по ряду серий число наблюдаемых экземпляров локомотивов сократилось с $N = 40$ до $N = 38$.

В АСОУП данные об эксплуатации локомотивов классифицированы, для чего используется более 100 кодов состояний: «тяга в голове поезда», «обслуживание на пункте технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ)», «ожидание работы», «ожидание ТО-2» (ТР-1, ТР-2 и др.), «ожидание ремонта», «обточка колёсных пар», «подготовка к заводскому ремонту» и др. Все эти состояния обычно делятся на две группы: «исправное» и «неисправное». Исходя из этого, введены коэффициент технической готовности (КТГ) или коэффициент готовности к эксплуатации (КГЭ), которые позволяют оценить надёжность локомотивов, но не позволяют оценить эффективность использования локомотивов в целом. Много потерь имеет место и когда локомотив исправен, так как полезную работу магистральные локомотивы совершают в основном в состоянии «тяга в голове поезда». Все остальные состояния, согласно терминологии методов Lean Production и Toyota Production System [4–6], следует отнести к потерям первого (можно устранить сразу) и второго рода. В связи с этим предлагается показатель «коэффициент (процент) полезной работы» $K_{АП}$:

$$K_{АП} = T_{\text{тяга}} / \sum T_i, \quad (1)$$

или

$$K_{АП} = 100 \% \cdot T_{\text{тяга}} / \sum T_i, \quad (2)$$

где $T_{\text{тяга}}$ — время нахождения локомотива в состоянии «тяга в голове поезда»;

$\sum T_i$ — общее время жизненного цикла локомотива за рассматриваемый период.

По выборкам локомотивов по каждой серии в объёме N рассчитаны классические статистические параметры: математическое ожидание коэффициента $K_{АП}$, его среднеквадратичное отклонение σ , коэф-



Статистика полезной работы локомотивов по сериям

Серия/ Параметр	Выборка, N	К-т полезной работы, $K_{\text{АП}}$	СКО, σ	К-т вариации, K_v	Мин. значение, Min	Макс. значение, Max	Критерий Пирсона, χ^2	Вероятность соотв., P
ВЛ10	40	40 %	13	0,3	8 %	52 %	42,5	0,000
ВЛ80С	40	53 %	14	0,3	18 %	73 %	8,7	0,050
ВЛ80Р	39	65 %	5	0,1	53 %	73 %	7,4	0,100
ВЛ85	39	71 %	4	0,1	61 %	76 %	19,9	0,000
2ЭС5К	40	44 %	13	0,3	16 %	71 %	3,3	0,500
3ЭС5К	39	66 %	8	0,1	29 %	76 %	290,3	0,000
2ЭС4К	40	33 %	11	0,3	5 %	50 %	8,1	0,050
3ЭС4К	40	51 %	7	0,1	34 %	58 %	23,1	0,000
2ТЭ116У	40	40 %	11	0,3	15 %	57 %	11,8	0,010
2ТЭ25КМ	40	41 %	7	0,2	24 %	49 %	14,5	0,001
2ТЭ10МК	40	34 %	12	0,4	14 %	57 %	8,0	0,050
3ТЭ10МК	40	37 %	13	0,3	5 %	55 %	13,5	0,001
В среднем		48,1 %				76,2 %		

коэффициент вариации K_v , минимальное *Min* и максимальное *Max* значения. По критерию Пирсона рассчитан показатель χ^2 и вероятность *P* соответствия нормальному закону распределения случайной величины, что рассматривается как признак уни-modalности данных: по закону больших чисел унимодалные выборки стремятся к нормальному распределению, а объём выборки позволяет пользоваться этим законом. Основные результаты приведены в табл. 1.

2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА И ФАКТОР ТОиР

Выполненный анализ показал, что в среднем коэффициент (процент) полезной работы $K_{\text{АП}} < 50$ %. У электровозов коэффициент $K_{\text{АП}}$ существенно выше. Полученные данные не являются унимодалными, причина этого – различные условия эксплуатации локомотивов в течение года. Относительно унимодалными являются данные по локомотивам серии 2ЭС5К ($P = 0,5$), занятым в местной и вывозной работе. Самой эффективной является эксплуатация локомотивов серии ВЛ85 (71,4 % при максимальном 76,2 %). Отметим достоверность вывода, так как по каждому из 40 локомотивов по каждой серии рассмотрен период в 400–500 дней

их эксплуатации. Поэтому коэффициент эффективности использования локомотивов $K_{\text{АП}} = 75$ % корректно принять за целевой показатель.

Традиционный показатель, характеризующий эффективность эксплуатации локомотивов, – это среднесуточный пробег. Расчёт показал, что корреляция этого показателя с коэффициентом эффективности $K_{\text{АП}}$ составляет $r = 0,993$, то есть практически равен 100 %. Таким образом, достаточно рассматривать один из этих двух параметров. При этом параметр коэффициента эффективности является более удобным, так как позволяет сравнивать эффективность тяги по различным сериям локомотивов в различных регионах и полигонах.

Авторами рассмотрены основные потери полезного времени локомотива. Один из основных источников потерь – ожидание работы в исправном состоянии, которое превышает 10 % от времени полезной работы, а для отдельных серий достигает 40 %.

Важный резерв повышения коэффициента полезной работы $K_{\text{АП}}$ – повышение эффективности технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР). В качестве интегрированного показателя взят процент нахождения локомотивов во всех состояниях, связанных с ТОиР (табл. 2),



с аналогичными табл. 1 статистическими показателями.

Унимодальность данных по критерию Пирсона χ^2 достаточно выражена у электровозов переменного тока старых серий ВЛ80 и ВЛ85 с одновременно низким коэффициентом вариации K_v . У новых серий 2(3)ЭС5К продолжается отладка технологических процессов технического обслуживания и ремонта, из-за чего процесс мультимодален. У тепловозов и электровозов постоянного тока унимодальность практически отсутствует, что связано с наличием сверхцикловых работ и неплановых ремонтов. Об этом же свидетельствует

высокий коэффициент вариации K_v . По результатам расчётов процент времени на ТОиР существенно превышает расчётный (5%), который поставлен в качестве целевого в перспективном плане развития ОАО «РЖД» 5% [7, с. 42] и составляет от 11,6 до 37,1%. Наименьший простой на ТОиР имеют электровозы переменного тока (10,5%). Имеются отдельные локомотивы со среднегодовым простоем на обслуживании менее 5% – это электровозы серий ВЛ80С (4,1%), ЗЭС5К (4,7%) и ВЛ10 (2,5%). Близок к 5% показатель у серий 2ЭС4К (5,1%), ЗЭС4К (5,8%), 2ТЭ10МК (5,4%). Следовательно, сокращение про-

Таблица 2

Статистика времени ТОиР в общем бюджете времени локомотива

Серия/ Параметр	Выборка, N	К-т полезной работы, $K_{АП}$	СКО, σ	К-т вариации, K_v	Мин. значение, Min	Макс. значение, Max	Критерий Пирсона, χ^2	Вероятность соотв., P
ВЛ10	39	13 %	6,6	0,5	2 %	31 %	14,70	0,001
ВЛ80С	38	10 %	3,7	0,4	4 %	20 %	4,70	0,300
ВЛ80Р	39	11 %	2,1	0,2	7 %	15 %	1,70	0,700
ВЛ85	39	10 %	1,9	0,2	6 %	14 %	2,20	0,700
2ЭС5К	39	10 %	4,6	0,4	3 %	20 %	6,70	0,100
ЗЭС5К	40	10 %	3,7	0,4	5 %	18 %	10,80	0,020
2ЭС4К	40	17 %	6,9	0,4	5 %	37 %	5,40	0,200
ЗЭС4К	39	12 %	5,2	0,4	6 %	26 %	10,80	0,020
2ТЭ116У	39	19 %	6,4	0,3	8 %	34 %	2,10	0,700
2ТЭ25КМ	39	15 %	4,2	0,3	7 %	24 %	7,80	0,050
2ТЭ10МК	40	20 %	7,3	0,4	5 %	37 %	2,30	0,500
3ТЭ10МК	40	25 %	9,5	0,4	10 %	52 %	6,00	0,100



Статистика по видам (объёмам) ТОиР

Серии/ показатель	ТОиР в бюджете времени	Процент времени по различным видам ТОиР в общем бюджете времени без учёта ожидания				
		ТО-2	ТР-1	ТР-2	ТР-3	НР
ВЛ10	8 %	14 %	74 %	3 %	3 %	6 %
ВЛ80С	4 %	29 %	46 %	4 %	5 %	16 %
ВЛ80Р	5 %	31 %	35 %	5 %	5 %	24 %
ВЛ85	6 %	27 %	37 %	7 %	10 %	19 %
2ЭС5К	3 %	45 %	28 %	3 %	8 %	15 %
3ЭС5К	3 %	36 %	35 %	6 %	12 %	12 %
2ЭС4К	5 %	37 %	37 %	1 %	9 %	16 %
3ЭС4К	55 %	15 %	45 %	8 %	15 %	17 %
2ТЭ116У	4 %	21 %	16 %	14 %	13 %	36 %
2ТЭ25КМ	3 %	39 %	25 %	21 %	0 %	15 %
2ТЭ10МК	7 %	19 %	32 %	7 %	6 %	36 %
3ТЭ10МК	10 %	17 %	22 %	10 %	2 %	49 %
В среднем	5 %	28 %	36 %	7 %	7 %	22 %

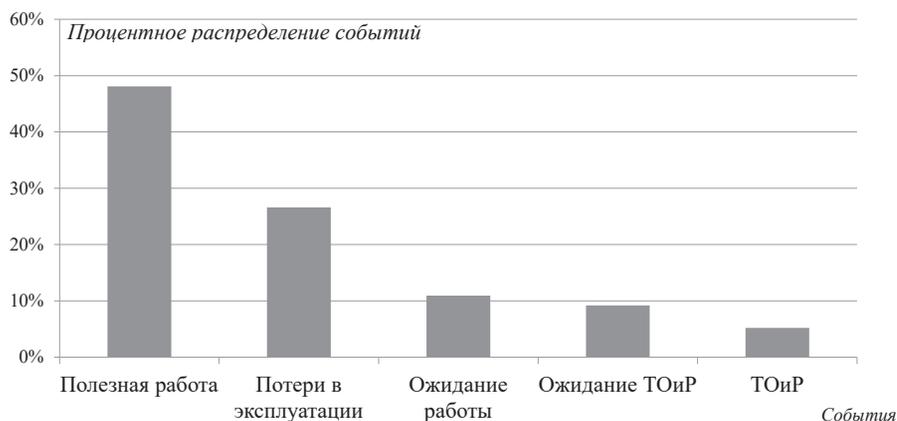


Рис. 1. Среднее распределение бюджета времени локомотивов.

стоя по электровозам переменного тока до 5 % является возможным. Простой на техническом обслуживании и ремонте значительно влияет на среднесуточный пробег локомотивов: коэффициент корреляции $r = -0,87$. У тепловозов новых серий простой на ТОиР хоть и выше заданного, но существенно ниже, чем у старых серий: 2ТЭ116У – 18,5 %, 2ТЭ25КМ – 14,9 %.

Расчёты выявили большие потери при ожидании ремонта: от 5 до 19,6 %. В состоянии «неисправное» ожидание составляет в среднем 58 %. Только за счёт уменьшения простоя в ожидании обслуживания можно сократить потери на ТОиР вдвое, причём

это требует наведения логистической дисциплины, а не капитальных затрат. В табл. 3 приведены потери на различных видах ТОиР: сам ТОиР составляет примерно 5,2 % потерь $\Delta K_{\text{ЛП}}$, но вместе с ожиданием ТОиР потери составляют 14,4 %. При этом основную долю (85,2 %) в ТОиР составляют обслуживания в объёме ТО-2 (27,5 %), ТР-1 (35,9 %) и НР (21,8 %). Анализ авторов позволил сделать вывод о возможности двукратного сокращения времени простоя локомотивов на ТОиР, то есть совершенствование системы технического обслуживания и ремонта является одним из факторов, отвечающим *целям* исследования.

На рис. 1 приведено распределение времени жизненного цикла локомотивов на этапе их эксплуатации, что подтверждает вывод о том, что ТОиР является важным резервом повышения эффективности эксплуатации.

Очевидно, что на время и стоимость ТОиР влияют имеющие место нарушения режимов эксплуатации (НРЭ), анализу которых посвящены работы авторов [8]. Авторами, на основании анализа ремонтов, выполняемых после НРЭ, разработан комплекс алгоритмических защит, предотвращающих ошибочные действия локомотивных бригад во время эксплуатации [9], реализация которых в программно-аппаратном обеспечении локомотивов позволит существенно повысить их надёжность.

ВЫВОДЫ

1. Традиционно используемый в России показатель, характеризующий эффективность эксплуатации локомотивов, — это среднесуточный пробег. Расчёт показал высокую корреляцию этого показателя с коэффициентом эффективности $K_{\text{Ап}}$ ($r = 0,993$), что позволяет рассматривать на выбор один из этих двух параметров. При этом параметр коэффициента эффективности является более удобным, так как позволяет сравнивать эффективность тяги по различным сериям локомотивов в различных регионах и полигонах.

2. Использование предложенного коэффициента полезной работы позволяет определить реальные резервы для повышения эффективности эксплуатации локомотивов, главным из которых является собственно организация перевозочного процесса. На втором месте — сокращение времени простоя в ожидании ТОиР. На третьем месте — собственно ТОиР, главную долю в которых составляют ТР-1 и НР.

3. Низкая вероятность соответствия статистических данных нормальному закону распределения случайной величины свидетельствует о мультимодальности данных, как следствие — об их низкой достоверности. Необходима кластеризация данных для получения унимодальности, при получении которой дальнейшая

детализация не требуется. Для эффективного использования в исследованиях эксплуатационной информации необходима её кластеризация по видам тяги, сериям, регионам эксплуатации, видам движения, межремонтным пробегам и другим влияющим факторам.

4. Сокращение времени простоя на ТОиР возможно не только за счёт повышения качества процессов ремонта, но и за счёт повышения качества самой эксплуатации локомотивов. Имеют место массовые случаи нарушения режимов эксплуатации (НРЭ), существенно снижающие надёжность локомотивов: более трети всех отказов происходит из-за НРЭ. Реализация алгоритмических защит существенно повысит надёжность локомотивов и эффективность их эксплуатации.

5. Хотя на данном этапе исследования задача апробации разработанной методики при анализе эффективности использования локомотивов на иных железнодорожных сетях, кроме ОАО «РЖД», в других странах, не ставилась, она представляется достаточно универсальной для применения на различных железных дорогах при условии её адаптации к параметрам исходных данных, их величинам и целевым значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система оперативного управления перевозками. Дорожный уровень. База данных АСОУП-2. — М.: АО «НИИАС», 2005. — 24 с.
2. Уокенбах Дж. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA: Пер. с англ. — М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2014. — 944 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Высш. шк., 1999. — 576 с.
4. Тайити О. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства. — М.: Издательство ИКСИ, 2012. — 96 с.
5. Лайкер Дж. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. — М.: Альпина Паблишер, 2011. — 400 с.
6. Сигео С. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. — М.: ИКСИ, 2010. — 312 с.
7. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года. — М., 2018. — 93 с.
8. Хромов И. Ю. Повышение надёжности тепловозов за счёт автоматизации соблюдения режимов эксплуатации // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2019. — № 3 (20). — С. 30–33.
9. Лакин И. К., Хромов И. Ю. Обоснование необходимости алгоритмических защит локомотивов от опасных режимов их эксплуатации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т. 64. — № 4. — С. 102–107. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).102–107.





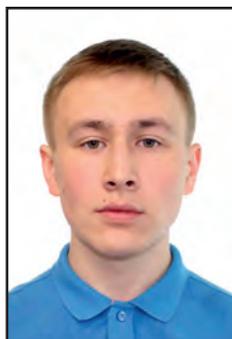
Opportunities to Increase Efficiency of Locomotives' Operation



Igor K. LAKIN



Alexander P. SEMENOV



Igor Yu. KHROMOV

*Lakin, Igor K., Centre of Adaptation of New Developments of Krasnoyarsk railway, Krasnoyarsk, Russia.
Semenov, Alexander P., Research Institute of Railway Technology, Control and Diagnostics, Omsk, Russia.
Khromov, Igor Yu., LocoTech LLC, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article contains the analysis of statistics of locomotives' operation and define main opportunities to increase its efficiency. The main objective of the study is to reveal factors influencing the increase in reliability of locomotives.

Data of the sample of 40 locomotives of main series operated in Russia for the period of 400–500 days are used, which ensures accuracy of results obtained. The method of the study is mainly statistical processing of data. Besides commonly statistically analyzed positions like «in operation» and «faulty» new positions «at the head of the train» (effective work

and some other are considered. The coefficient of useful (effective) work is introduced. As a result, it is proved that feasible level of value-added use of locomotive up to 75 % of total time versus 49 % nowadays is possible. It is shown that reduction of time and cost of technical maintenance and repair of locomotives (TMR) is an important opportunity to increase efficiency of locomotives' operation. Besides, it has been proved that one of the reasons of over-downtime of locomotives under repair is a significant volume of violations of operating modes, which is also confirmed by statistical data used in previous publications.

Keywords: transport, railway, locomotive, efficiency of locomotives' operation, technical maintenance and repair, violations of operating modes, algorithmic protection.

*Information about the authors:

Lakin, Igor K. – D.Sc. (Eng), professor, First Deputy General Director of JSC Railroad Centre of Adaptation of New Developments of Krasnoyarsk Railway, Krasnoyarsk, Russia, i.k.lakin@dvcv.ru.

Semenov, Alexander P. – Ph.D. (Eng), General Director of JSC Research Institute of Railway Technology, Control and Diagnostics (JSC NIITCD), Omsk, Russia, corp@niitkd.ru.

Khromov, Igor Yu. – Principal Expert of LLC LokoTekh, Moscow, Russia, KhromovYu@yandex.ru.

Article received 09.07.2019, revised 16.12.2019, accepted 20.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 82.

Introduction

Growing efficiency of locomotives' operation is among most significant components of the process of increasing haulage activity efficiency of a railway rolling stock operating company. To identify main opportunities to obtain more efficient use of rolling stock it is necessary to update methods of processing of statistical data on the operation of locomotives, to develop methods of evaluation of recommendations on the reliability, and, consequently, on the efficiency of operations.

The authors suggest to this end the results of a study which is based on the *methods* of statistical analysis of data on operation of locomotives of main models used in Russia by JSC Russian Railways. The main *objective* is to reveal the factors leading to increased reliability of locomotives' operation.

1. Efficiency of locomotives' operation: initial data and application of the methods of statistical analysis

In the information system of automated traffic operations management (hereinafter called ASOUP) of JSC Russian Railways [1] the operation of locomotive fleet is fixed along other parameters of transportation process. The authors performed analysis of these data to identify reserves to increase efficiency of the use of locomotive rolling stock. To ensure accuracy of findings about efficiency of locomotives' use representative sample of the most mass series of locomotives was selected that included electric locomotives VL10, VL80R, VL80S, VL85, 2(3) ES5K, 2(3) ES4K, diesel locomotives 2(3) TE10MK and 2TE116U. For each series, the data on 40 locomotives were retrieved from ASOUP, which made a statistically reliable (representative) sample, formed randomly. For each locomotive data on 400–500 days of operation from May 2017 until October 2018 were selected. The total number of initial data are equivalent to about 5 mln events. Processing of data is carried out using the program using the algorithmic language Visual BASIC for Applications (VBF) in Excel environment (more details on algorithmic language are proposed in e.g. [2]), specially developed by the authors. Preliminarily using three sigma rule [3, p. 67] artefacts referred to locomotives, which have been in reserve for a long time or under unscheduled repairs, had been deleted from samples. As a result, for some series the number

of locomotives under consideration reduced from $N = 40$ to $N = 38$.

In ASOUP data on operation of locomotives are classified, for which more than 100 codes of state are used, particularly «locomotive at the head of the train», «service at planned technical maintenance of locomotives», «waiting for work», «waiting for second technical maintenance (or current repair-1, current repair-2 and etc.)», «waiting for repair», «wheel sets turning», «preparation for repair at a plant», etc. All these states are usually divided into two groups: «healthy state» and «defective state». Based on this, coefficient of technical readiness (CTR) or coefficient of readiness for operation (CRO) are introduced, which enable to assess general efficiency of locomotives' use. There are also many losses when a locomotive is operable since useful work is carried out by main-line locomotives mostly in the state «locomotive at the head of the train». All other states, according to terminology of methods of Lean Production and Toyota Production System [4–6] should be attributed to the losses of the first (can be eliminated immediately) and the second kind. In this regard, it is proposed to introduce an indicator «coefficient (per cent) of useful work» C_{uw} :

$$C_{uw} = T_{\text{traction}} / \sum T_i, \quad (1)$$

or

$$C_{uw} = 100 \% \cdot T_{\text{traction}} / \sum T_i, \quad (2)$$

where T_{traction} is the time during which the locomotive stays in the state «locomotive at the head of the train»;

$\sum T_i$ is total time of locomotive life cycle for the period under consideration.

For the samples of N locomotives for each series classic statistical parameters are calculated: mathematical expectation of coefficient C_{uw} , its root-mean-square deviation σ , coefficient of variation C_v , minimum *Min* and maximum *Max* values. According to Pearson criterion an indicator χ^2 and probability P of correspondence to the normal distribution law of a random variable, which is considered as a feature of unimodality of data: according to the law of large numbers unimodal samples tend to normal distribution, and the volume of sample allows to use this law. The main results are shown in Table 1.

2. Locomotives' operation efficiency: main results and TMR factor

The performed analysis showed that on average coefficient (per cent) of useful work is $C_{uw} < 50 \%$. For electric locomotives coefficient





Table 1

Statistics of useful work of locomotives per series

Series/ Parameter	Sample, N	Coefficient of useful work, C_{uw}	RMS deviation, σ	Coefficient of variation, C_v	Min. value, Min	Max. value, Max	Pearson criterion, χ^2	Probability of correspondence, P
VL10	40	40 %	13	0,3	8 %	52 %	42,5	0,000
VL80S	40	53 %	14	0,3	18 %	73 %	8,7	0,050
VL80R	39	65 %	5	0,1	53 %	73 %	7,4	0,100
VL85	39	71 %	4	0,1	61 %	76 %	19,9	0,000
2ES5K	40	44 %	13	0,3	16 %	71 %	3,3	0,500
3ES5K	39	66 %	8	0,1	29 %	76 %	290,3	0,000
2ES4K	40	33 %	11	0,3	5 %	50 %	8,1	0,050
3ES4K	40	51 %	7	0,1	34 %	58 %	23,1	0,000
2TE116U	40	40 %	11	0,3	15 %	57 %	11,8	0,010
2TE25KM	40	41 %	7	0,2	24 %	49 %	14,5	0,001
2TE10MK	40	34 %	12	0,4	14 %	57 %	8,0	0,050
3TE10MK	40	37 %	13	0,3	5 %	55 %	13,5	0,001
On average		48,1 %				76,2 %		

C_{uw} is significantly higher. The results obtained are not unimodal, the reason is associated with different conditions of locomotives' operation during the year. Data for locomotives of series 2ES5K ($P = 0,5$), involved in local work and as road switchers, are relatively unimodal. Operation of locomotives of series VL85 (71,4 % with maximum 76,2 %) is the most efficient. We should highlight the reliability of the finding, since for each of 40 locomotives of each series the period of 400–500 days of their operation is considered. Therefore, coefficient of locomotives' use $C_{uw} = 75 %$ should be accepted as a target indicator.

The traditional indicator, which characterized efficiency of locomotives' operation is daily average run. The calculation showed that

correlation of this indicator with coefficient of efficiency C_{uw} is $r = 0,993$, that is almost equal to 100 %. Thus, it is enough to consider one of these two parameters. At the same time parameter of coefficient of efficiency is more convenient since it allows to compare efficiency of traction work for various series of locomotives in different regions and at different sites.

The authors considered losses of useful time of locomotives. One of main sources of losses is waiting for work in healthy state, which exceeds 10 % of time of useful work and for individual series it reaches 40 %.

The important reserve to increase coefficient of useful work C_{uw} is to increase efficiency of technical maintenance and repair of locomotives (TMR). We can consider an integrated indicator

Table 2

Statistics of time of TMR in total time budget of the locomotive

Series/ Parameter	Sample, N	Coefficient of useful work, C_{uw}	RMS deviation, σ	Coefficient of variation, C_v	Min. value, Min	Max. value, Max	Pearson criterion, χ^2	Probability of correspondence, P
VL10	39	13 %	6,6	0,5	2 %	31 %	14,70	0,001
VL80S	38	10 %	3,7	0,4	4 %	20 %	4,70	0,300
VL80R	39	11 %	2,1	0,2	7 %	15 %	1,70	0,700
VL85	39	10 %	1,9	0,2	6 %	14 %	2,20	0,700
2ES5K	39	10 %	4,6	0,4	3 %	20 %	6,70	0,100
3ES5K	40	10 %	3,7	0,4	5 %	18 %	10,80	0,020
2ES4K	40	17 %	6,9	0,4	5 %	37 %	5,40	0,200
3ES4K	39	12 %	5,2	0,4	6 %	26 %	10,80	0,020
2TE116U	39	19 %	6,4	0,3	8 %	34 %	2,10	0,700
2TE25KM	39	15 %	4,2	0,3	7 %	24 %	7,80	0,050
2TE10MK	40	20 %	7,3	0,4	5 %	37 %	2,30	0,500
3TE10MK	40	25 %	9,5	0,4	10 %	52 %	6,00	0,100

Table 3

Statistics for types (volumes) of TMR

Series/ indicator	Share of TMR in time budget	Percentage of time for various types of TMR in total time budget without taking into account waiting				
		Technical maintenance-2	Current repair-1	Current repair-2	Current repair-3	Unscheduled repair
VL10	8 %	14 %	74 %	3 %	3 %	6 %
VL80S	4 %	29 %	46 %	4 %	5 %	16 %
VL80R	5 %	31 %	35 %	5 %	5 %	24 %
VL85	6 %	27 %	37 %	7 %	10 %	19 %
2ES5K	3 %	45 %	28 %	3 %	8 %	15 %
3ES5K	3 %	36 %	35 %	6 %	12 %	12 %
2ES4K	5 %	37 %	37 %	1 %	9 %	16 %
3ES4K	55 %	15 %	45 %	8 %	15 %	17 %
2TE116U	4 %	21 %	16 %	14 %	13 %	36 %
2TE25KM	3 %	39 %	25 %	21 %	0 %	15 %
2TE10MK	7 %	19 %	32 %	7 %	6 %	36 %
3TE10MK	10 %	17 %	22 %	10 %	2 %	49 %
On average	5 %	28 %	36 %	7 %	7 %	22 %

as a percentage of stay of locomotives in all states, related to TMR (Table 2) with statistical indicators similar to Table 1.

Unimodality of data according to Pearson criterion χ^2 is sufficiently expressed for locomotives of alternating current of old series: VL80 and VL85 with simultaneously low coefficient of variation C_v . For new series 2(3) ES5K adjustment of technological processes of technical maintenance and repair continues, therefore the process is multimodal. For diesel locomotives and electric locomotives of direct current unimodality is practically absent, which relates to the presence of over-cycle works and unscheduled repairs. This is evidenced by high coefficient of variation C_v . According to the calculation results, percentage of time for TMR significantly exceeds the calculated level (5 %), which is set as a target in the perspective plan of development of JSC Russian Railways [7, p. 42] and is within the range from 11,6 to 37,1 %. The lowest downtime for TMR is for electric locomotives of alternating current (10,5 %). There are individual locomotives with average annual downtime for maintenance of less than 5 %, and these are electric locomotives of series VL80S (4,1 %), 3ES5K (4,7 %) and VL10 (2,5 %). The indicator of series 2ES4K (5,1 %), 3ESK (5,8 %), 2TE10MK (5,4 %) is close to 5 %. Therefore, reduction of downtime for electric locomotives of alternating current to 5 % is possible. Downtime for technical maintenance and repair affects significantly average daily run

of locomotives: correlation coefficient $r = -0,87$. For diesel locomotives downtime of new series for TMR is higher than the set one, but is significantly lower than for old series: 2TE116U (18,5 %), 2TE25KM (14,9 %).

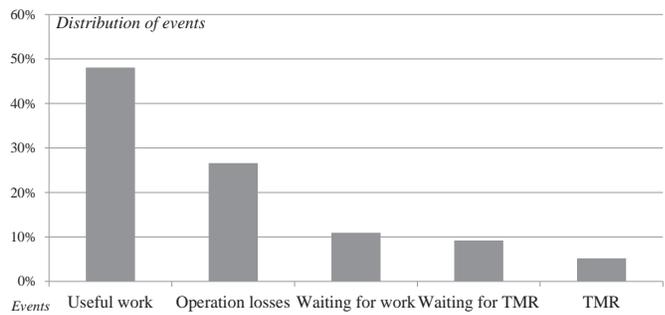
The calculations showed big losses when waiting for repair: from 5 to 19,6 %. In the state «defective» waiting is on average 58 %. Only due to reduction of downtime when waiting for maintenance it is possible to reduce losses for TMR almost twice, it requires logistics discipline and not capital expenses. Table 3 shows losses for various types of TMR. TMR itself is equal to approximately 5,2 % of losses of ΔC_{uw} , but together with waiting for TMR the losses are of 14,4 %. The main share (85,2 %) in TMR refers to technical maintenance-2 (27,5 %), current repair-1 (35,9 %) and unscheduled repair (21,8 %). The authors' analysis allowed to conclude that it is possible to reduce downtime of locomotives for TMR twice. So, the improvement in the system of technical maintenance and repair is among the factors, complying with the objectives of the study.

Pic. 1 shows distribution of locomotive life cycle time at the stage of their operation. The data confirms the conclusion that TMR has important reserves to increase the efficiency of operation.

It is evident, that the TMR time and costs are influenced by violations of operation mode (VOM), which is considered in authors' papers, e.g. [8]. The authors after analyzing



Pic. 1. Average distribution of time budget of locomotives.



the repairs after VOM, developed a set of algorithmic protection measures, preventing faulty behavior of locomotive teams during operations [9]. The implementation of those algorithms in software of microprocessor locomotive control systems will allow to significantly increase the reliability of locomotives.

Conclusions.

1. The indicator traditionally used in Russia to evaluate the operation efficiency of locomotives is the average daily mileage. The calculations showed high correlation of that indicator with the coefficient of useful work C_{uw} ($r = 0,993$) that allows to choose between those two indicators. Hence, C_{uw} is more comfortable to be used as it allows comparisons of different locomotive series in different regions and at different sites.

2. The use of suggested coefficient of useful work allows to determine real reserves to increase efficiency of locomotives' operation, the main of which is associated with the organization of transportation process. The second place belongs to reduction of downtime when waiting for TMR, and the third place belongs to TMR, consisting mainly of current repair-1 and unscheduled repair.

3. Low probability of correspondence of statistical data to normal distribution law of a random variable proves multimodality of data, and as a result their low reliability. It is necessary to cluster data to obtain unimodality, after receipt of which further detailing is not required. For efficient use of information on operations in the research, it is necessary to cluster it in terms of traction type, locomotive series, regions of operation, types of traffic, between-repairs runs, and other influencing factors.

4. Reduction of downtime at TMR is possible not only through increase in quality of repair

processes, but also through increase in quality of locomotives' operation itself. There are mass cases of violations of operating modes (VOM), which significantly reduce reliability of locomotives: more than one third of all failures take place because of VOM. Implementation of algorithmic protection measures will significantly increase reliability of locomotives and efficiency of their operation.

5. While at this stage the research has not followed the objective to test the suggested methods to evaluate efficiency of locomotives' operation at railways other than network of JSC Russian Railways, nor in other countries, the methods seem to be rather universal to be used for different railways, once they are adapted to parameters of initial data, their range and target values.

REFERENCES

1. Automated system of traffic operation control. Railway level. Database ASOUP-2 [*Avtomatizirovannaya sistema operativnogo upravleniya perezovzkami. Dorozhniy uroven'. Baza dannykh ASOUP-2*]. Moscow, JSC NIIAS, 2005, 24 p.
2. Walkenbach, J. Excel 2010: professional programming with VBA [Russian edition]. Moscow, LLC Publishing house Williams, 2014, 944 p.
3. Venttsel, E. S. Probability theory [*Teoriya veroyatnostey*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1999, 576 p.
4. Taiichi Ohno. Toyota production system. Beyond Large-Scale Production [Russian edition]. Moscow, Publishing house IKSI, 2012, 96 p.
5. Liker, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer [Russian edition]. Moscow, Alpina Publisher, 2011, 400 p.
6. Shigeo Shingo. A Study of the Toyota Production System [Russian edition]. Moscow, IKSI, 2010, 312 p.
7. Long-term development program of JSC Russian Railways until 2025 [*Dolgosrochnaya programma razvitiya OAO «RZD» do 2025 goda*]. Moscow, 2018, 93 p.
8. Khromov, I. Yu. Locomotive reliability improvement by automation of operating modes. *Transport of Asia-Pacific region*, 2019, Iss. 3 (20), pp. 30–33.
9. Lakin, I. K., Khromov, I. Yu. The rationale of algorithmic protection of locomotives against hazardous operating modes. *Sovremennye tehnologii. Systemnyy analiz. Modelirovanie*, 2019, Vol. 64, Iss. 4, pp. 102–107. DOI: 10.26731/1813–9108.2019.4(64).102–107. ●



КОНЬЮНКТУРА И ИНФРАСТРУКТУРА 94

Экономические параметры и спрос, влияющие на планы развития сети железных дорог.

ТРАНСПОРТ И ЛИЗИНГ 112

Долговые инструменты фондирования.

КЛИЕНТО- ОРИЕНТИРОВАННОСТЬ 130

Бизнес-единицы во внутренней среде транспортного обслуживания.

СВОЯ ВЕРСИЯ 142

Новый взгляд на устойчивость систем поставок ресурсов.

ЭКОНОМИКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ 166

Формализация функции стоимости искусственных сооружений.

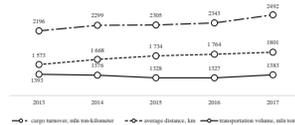


ЭКОНОМИКА • ECONOMICS



INFRASTRUCTURE AND ECONOMIC CONDITIONS 103

Economic parameters and demand, and their impact on railway network development projects.



TRANSPORT AND LEASING 122

Debt instruments of funding.

CUSTOMER FOCUS 136

Business entities in internal environment of transport service providing.

AUTHOR'S POINT 154

New view on sustainability of resource delivery chain systems.

HSR ECONOMICS 176

Formalising the cost function of engineering structures.

Оценка проектов развития сети железных дорог с учётом экономической конъюнктуры



Виктор ПОДСОРИН



Роман МАРТЫШКИН

В статье рассмотрены теоретические и практические вопросы взаимосвязи спроса на грузовые железнодорожные перевозки и развития пропускной и провозной способности сети железных дорог.

Описано текущее положение железнодорожного транспорта общего пользования в транспортной системе России, проанализирована динамика основных объёмных показателей работы транспортного комплекса за ряд лет, в структуре объёмов перевозок выделены ключевые группы грузов, на которые приходится более 75 % объёмов перевозок. Предложен алгоритм экономической оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры в увязке с динамикой развития товарных рынков, определены взаимосвязи и характер взаимного влияния элементов алгоритма экономической оценки проектов развития сети железных дорог, приведены примеры реализуемых в настоящее время комплексных инвестиционных проектов ОАО «РЖД», направленных на привлечение в перспективе объёмов перевозок грузов.

Цель статьи заключается в разработке методического инструментария экономической оценки проектов развития пропускной и провозной способности сети железных дорог в условиях изменения направлений и объёмов грузовых потоков с учётом динамики развития внешнего и внутреннего товарных рынков. В соответ-

Подсорин Виктор Александрович – Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), Москва, Россия.

Мартышкин Роман Викторович – АО «Институт экономики и развития транспорта», Москва, Россия.*

ствии с поставленной целью основными задачами являются: сравнительная оценка применяемых в отечественной практике показателей, используемых при определении влияния конъюнктуры рынка с показателями, применяемыми ведущими зарубежными компаниями для этих целей; оценка значения комплексных инвестиционных проектов развития пропускной и провозной способности (на примере сети железных дорог России) в условиях динамично развивающихся внешних и внутренних товарных рынков; разработка алгоритма оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры для обеспечения высокого уровня качества транспортного обслуживания с целью оценки взаимного влияния отдельных параметров проектов и их сбалансированности в зависимости от динамики конъюнктуры внешних и внутренних товарных рынков, а также необходимости привлечения инвестиционных ресурсов.

Для реализации поставленных в статье цели и задач использовались эмпирические и теоретические методы, такие, как сбор и анализ информации, дедукция, моделирование, сравнение, технико-экономические расчёты, экономико-статистический метод.

Сделан вывод о необходимости учёта динамично изменяющейся конъюнктуры товарных рынков при оценке перспектив развития сети железных дорог.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, спрос на грузовые перевозки, проекты развития, товарный рынок, конъюнктура рынка.

*Информация об авторах:

Подсорин Виктор Александрович – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и управления на транспорте Российского университета транспорта РУТ (МИИТ), Москва, Россия, podsorin@mail.ru.

Мартышкин Роман Викторович – начальник отдела прогнозирования внешнеторговых перевозок АО «Институт экономики и развития транспорта», Москва, Россия, martyshkinrv@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.01.2019, актуализирована 20.04.2019, принята к публикации 07.10.2019.

For the English text of the article please see p. 103

АКТУАЛЬНОСТЬ

Железнодорожный транспорт, являясь составной частью транспортного комплекса любого государства, постоянно находится как во взаимодействии, так и в состоянии конкуренции с иными видами транспорта за перевозки грузов. Одним из важных условий конкурентоспособности железнодорожного транспорта является качественное и своевременное удовлетворение спроса грузоотправителей на перевозки грузов.

Учитывая, что транспорт не производит продукции в физическом смысле и является инфраструктурной отраслью [1, с. 74], важным аспектом его экономически эффективного функционирования (для всех участников перевозочного процесса), а также перспективного развития является достижение баланса спроса на «транспортную продукцию» и предложения транспортных услуг.

По мнению ведущих специалистов в области транспорта, в условиях рыночной экономики транспорт можно охарактеризовать и как объект рынка, и как субъект рынка. В зависимости от позиции в отношении места транспорта в экономике можно отметить несколько подходов к перспективам его развития: при рыночном подходе транспорт развивается в зависимости от спроса на его услуги; при «классическом подходе» транспорт является инфраструктурой материального производства и требует опережающего развития [2, с. 17].

Рассматривая фактическое состояние и перспективное развитие железнодорожной инфраструктуры через призму взаимосвязанных между собой категорий «спрос на грузовые перевозки — пропускные и провозные возможности инфраструктуры», — можно отметить, что многоэлементность каждой категории и значительное количество внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на элементы каждой категории, их разновекторность, создают своеобразный баланс, который можно выразить в виде фактически достигнутых или перспективных прогнозируемых показателей объёмов грузовых перевозок за выбранный промежуток времени.

В связи с вышесказанным, целью данной работы является разработка методического

инструментария экономической оценки проектов развития пропускной и провозной способности сети железных дорог в условиях изменения направлений и объёмов грузовых потоков с учётом динамики развития внешнего и внутреннего товарных рынков. Для реализации поставленной цели использованы эмпирические и теоретические *методы* научного исследования:

- сбор и анализ информации — при формировании базы данных об объёмах перевозок грузов, грузообороте по территории Российской Федерации по видам транспорта и их анализу;

- сравнение — при оценке динамики добычи угля в России, общей погрузки угля и его перевозок в экспортном сообщении по сети железных дорог ОАО «РЖД», динамики грузооборота, средней дальности и объёмов перевозок грузов по сети железных дорог, а также при использовании рейтинга крупнейших публичных железнодорожных компаний мира по версии Global 2000 Forbes;

- дедукция и моделирование — при формировании схемы определения потребных инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава;

- технико-экономические расчёты и экономико-статистический метод — для формирования укрупнённого алгоритма экономической оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры в увязке с динамикой развития товарных рынков.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ

Рассматривая железнодорожный транспорт общего пользования как часть общей транспортной системы России, необходимо отметить, что в структуре общих объёмов перевозок грузов и грузооборота он занимает значительные доли (17,1 % и 45,5 % соответственно, см. табл. 1–2).

Следует также учитывать, что рост грузооборота в 2014–2016 гг. происходил несмотря на снижение объёмов перевозок грузов (основной причиной стал спад российской экономики из-за сжатия внутреннего спроса на товары и услуги). Это свидетельствует об увеличении средней дальности перевозок на железнодорожном транспорте (рис. 1), что обусловлено благоприятной конъюнктурой внешних рын-



Объёмы перевозок грузов по территории Российской Федерации по видам транспорта за 2013–2017 гг., млн т

Вид транспорта	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Всего объёмы перевозок	8275,8	8006,8	7896,8	7990,5	8113,6
в т.ч.					
Железнодорожный транспорт общего пользования	1392,6	1375,5	1327,6	1327,4	1383,4
Автомобильный транспорт	5635	5417	5357	5431	5447
Внутренний водный транспорт	135	119	121	118	119
Трубопроводный транспорт	1095	1078	1071	1088	1138
Остальные виды транспорта, без учёта промышленного железнодорожного транспорта	18,2	17,3	20,2	26,1	26,2

Источник: Федеральная служба государственной статистики (Росстат).

Таблица 2

Грузооборот транспорта всех отраслей экономики Российской Федерации за 2013–2017 гг., млрд т•км

Вид транспорта	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Транспорт всех отраслей экономики	5084,0	5078,2	5107,4	5196,6	5480,6
в т.ч.					
Железнодорожный транспорт общего пользования	2196	2299	2305	2343	2492
Автомобильный транспорт	250,0	247,0	247,0	248,0	253,0
Внутренний водный транспорт	80,0	72,0	64,0	67,0	67,0
Трубопроводный транспорт	2513,0	2423,0	2444,0	2489,0	2615,0
Остальные виды транспорта, без учёта промышленного железнодорожного транспорта	45,0	37,2	47,4	49,6	53,6

Источник: Федеральная служба государственной статистики (Росстат).

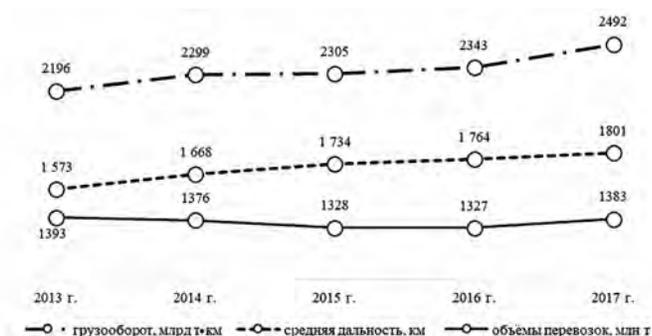


Рис. 1. Динамика грузооборота, средней дальности и объёмов перевозок грузов по сети железных дорог ОАО «РЖД» за период 2013–2017 гг.

Источники: по данным отчётности ЦО-12 «Отчёт о перевозке грузов, их пробегах и полученном за них доходе».

ков на фоне девальвации рубля и, как следствие, увеличением экспорта российского сырья через морские и сухопутные передаточные пункты.

Данная тенденция повлияла на изменение структуры перевозок грузов в разрезе видов сообщений: объёмы внутрироссийских перевозок в 2017 году снизились на 3 % по отношению к показателям 2013 года; за аналогичный период объёмы импортных перевозок снизились на 28 %;

объёмы экспортных перевозок увеличились на 15 %.

Одним из основных экспортных грузов является каменный уголь, доля которого в общей структуре грузооборота по сети ОАО «РЖД» составляет более 35 %. Прирост перевозок угля в экспортном сообщении в 2017 году составил 37 % к уровню 2013 года. Анализ показателей добычи угля на территории Российской Федерации и его перевозок по сети ОАО «РЖД» за

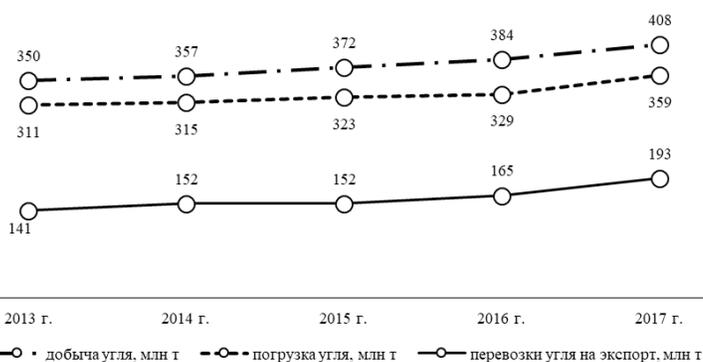


Рис. 2. Динамика добычи угля в России, общей погрузки угля и его перевозок в экспортном сообщении по сети железных дорог ОАО «РЖД» за период 2013–2017 гг.
Источники: по данным отчётности Минэнерго и ОАО «РЖД»¹.

рассматриваемый период 2013–2017 гг., показывает, что существует тесная взаимосвязь показателей грузовых перевозок железнодорожным транспортом с динамикой развития отдельных товарных рынков.

Изменение направлений и объёмов грузовых потоков по сети железных дорог под воздействием конъюнктуры российских и мировых товарных рынков приводит к возникновению ограничений в провозных и пропускных способностях железнодорожной инфраструктуры.

Изучение конъюнктуры рынка способствует оптимизации производственных и логистических операций, повышению производительности работы технических систем и эффективности использования производственных ресурсов, минимизации расхода ресурсов и производственных потерь, повышению объективности оценки конкурентоспособности на рынке, детализации динамики и характера изменения цен, ёмкости рынка, объёмов производства и потребления, оценке прогнозных данных динамики и развития товарных рынков, цен на них, географии потребления и т.д. [3, с. 90].

Анализ конъюнктуры товарных рынков для транспортной компании и отражение его в динамике развития транспортного рынка зависят от характера решаемой проблемы. Для принятия оперативных решений выполняется анализ сложившейся конъюнктуры товарных рынков, позволяющий также выполнить прогнозы погрузки на 3–6 месяцев. Для целей прогнозирования на более длительные сроки необходимо исследование более глубокого уровня [4, с. 30].

В исследовании А. В. Рышкова подробно рассматриваются вопросы анализа конъюнктуры российского транспорта в период становления и развития рыночных отношений [5, с. 19], а также проблемы методологии оценки влияния конъюнктуры рынка на основные параметры деятельности транспорта [5, с. 57]. Однако, современные условия, характеризующиеся повышением спроса на транспортные услуги и увеличением протяжённости линий с ограничением их пропускной и провозной способности, требуют разработки новых методических подходов к оценке проектов развития пропускной и провозной способности сети железных дорог с учётом динамики развития внешнего и внутреннего товарных рынков.

Ведущие зарубежные компании при оценке влияния конъюнктуры рынка на их деятельность используют показатели, основанные на анализе транспортного рынка с точки зрения выручки участников рынка, занимаемой доли на рынке, а также сегментации по сферам деятельности. В топ-2000 компаний мира в 2016 г. представлены 16 железных дорог, чьи акции котируются на фондовом рынке [6]. В рейтинг вошли шесть японских железных дорог, четыре американские, две канадские и по одной компании из Китая, Гонконга и Тайваня (табл. 3).

¹ Статистика Министерства энергетики. [Электронный ресурс]: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic>; Годовые отчёты компании ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#2.



**Крупнейшие публичные железнодорожные компании мира по версии
Global 2000 Forbes, 2016 г.**

№ в рейтинге	Компания	Страна	Выручка, млрд \$	Прибыль, млрд \$	Рентабельность продаж, %	Активы, млрд \$	Капитализация, млрд \$
172	Union Pacific	США	21,0	4,6	21,9	55,8	75,4
233	East Japan Railway	Япония	23,5	1,9	8,1	63,1	36,2
284	Central Japan Railway	Япония	14,3	2,5	17,5	45,4	38,7
368	Canadian National Railway	Канада	9,9	2,8	28,3	26,7	51,6
377	CSX	США	11,4	1,9	16,7	34,6	26,3
407	Norfolk Southern	США	10,4	1,6	15,4	33,8	27,1
557	MTR	Гонконг	5,4	1,7	31,5	31,1	29,1
625	Daqin Railway	Китай	8,6	2,3	26,7	17,0	15,0
662	West Japan Railway	Япония	11,8	0,7	5,9	23,4	12,1
785	Canadian Pacific Railway	Канада	5,1	1,2	23,5	15,0	22,8
883	Tokyu	Япония	9,0	0,5	5,5	16,8	11,0
1112	Hankyu Hanshin Holdings	Япония	5,4	0,5	8,5	18,9	8,3
1158	Kintetsu	Япония	10,0	0,3	3,0	16,1	8,0
1547	Kansas City Southern	США	2,4	0,5	20,5	8,3	10,6
1582	Taiwan High Speed Rail	Тайвань	1,6	0,7	41,1	15,4	2,7

МОДЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ

Транспортно-логистические модели, используемые зарубежными компаниями при планировании перспектив своего развития, могут включать, например, следующие модели организации перевозок: SAMGODS/NEMO, SMILE (Strategic Model for Integrated Logistics Evaluation), SLAM (Spatial Logistic Appended Module), EUNET, LAMTA (Los Angeles Metropolitan Area), CMAP (Chicago Metropolitan Agency for Planning), FAME (Freight Activity Micro simulation Estimator), GoodTrip, WIVER, TAPAS, TAPAS-Z [7, с. 6; 8, с. 829; 9, с. 384; 10, с. 9].

Для анализа конъюнктуры рынка зарубежные компании используют следующие показатели: доходы, чистый доход (убыток), общая стоимость имущества (активов), общая стоимость обязательств, число работников, доход в расчёте на одного работника; макроэкономические индикаторы, такие, как объём железнодорожных перевозок, прогноз объёмов перевозок, численность населения, ВВП в ценах 2000 года, ВВП в текущих ценах, инфляция, индекс потребительских цен, курсы валют, сегментация по географическим признакам [11–15].

Важнейшими задачами анализа конъюнктуры рынков являются:

- определение, анализ и прогнозирование объёмов и географии производства товаров,

материалов и сырья, представляющих основные виды грузов;

- определение и анализ размеров (объёмов производства) и числа предприятий-производителей;

- определение, анализ и прогнозирование цен на товары (готовую продукцию, материалы и сырьё, представляющие основные виды грузов): отпускных цен производителей, цен в регионах потребления, экспортных цен;

- определение, анализ и прогнозирование объёмов и географии потребления товаров, материалов и сырья, представляющих основные виды грузов;

- определение и анализ размеров (объёмов потребления) и числа предприятий-покупателей;

- анализ степени дифференциации производителей по качеству, отпускным ценам и объёмам производства, по специфике технологического процесса, определяющей требования к качеству транспортного обслуживания и, как следствие, возможность привлечения их грузов на железнодорожный транспорт;

- определение и анализ регионального распределения производителей по перечисленным в предыдущем пункте признакам;

- анализ степени дифференциации потребителей по качеству, отпускным ценам и объёмам производства, специфике



Рис. 3. Схема определения потребных инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава (составлен авторами).

потребления, определяющей требования к качеству транспортного обслуживания;

- определение и анализ регионального распределения потребителей по данным признакам возможности сегментирования исследуемого товарного рынка;

- анализ и прогнозирование тенденций развития рынка и его динамической устойчивости;

- анализ сезонности и цикличности основных показателей развития рынка (объёмов продаж по категориям товаров, цен), их волатильности и влияющих на них факторов.

Сравнительный анализ показателей, используемых при оценке влияния конъюнктуры рынка аналогичными ведущими зарубежными компаниями, позволяет сделать вывод о возможности их применения для обоснования индикаторов экономического развития России и целевых параметров деятельности холдинга «РЖД» в системе ключевых показателей эффективности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На 1 января 2017 года доля протяжённости линий железнодорожного транспорта общего пользования Российской Федерации, имеющих ограничения пропускной способности, к эксплуатационной

длине железнодорожных линий общего пользования, составила 10,6 % [16, с. 22].

В свою очередь, возникновение ограничений в провозных и пропускных способностях железнодорожной инфраструктуры приводит к неудовлетворённости спроса на грузовые перевозки.

Вместе с тем, соотношение предъявленного и своевременно удовлетворённого спроса на грузовые перевозки определяет уровень качества транспортных услуг. В качестве решения проблемы неудовлетворённости спроса в краткосрочном и среднесрочном горизонте планирования грузовых железнодорожных перевозок может быть использован ряд организационно-технологических мероприятий, направленных, в том числе, на получение обратной связи от клиентов для оперативного решения локальных вопросов, создание условий для гибкой адаптации производственных показателей работы элементов железнодорожного транспорта к колебаниям спроса, нахождение способов сглаживания колебаний в распределении спроса по времени с помощью гибкой системы тарифов и др. [17, с. 104].

В долгосрочной перспективе изменение потенциального спроса на услуги железнодорожного транспорта может обеспечиваться за счёт увеличения действующих



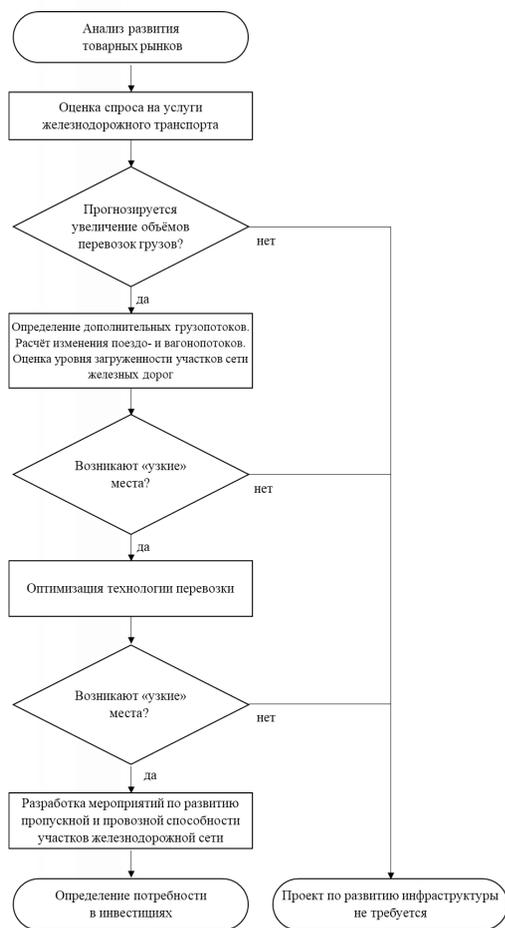


Рис. 4. Укрупнённый алгоритм экономической оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры в увязке с динамикой развития товарных рынков (составлен авторами).

и строительства новых производственных мощностей предприятий, сооружения новых грузообразующих железнодорожных линий, развития морских портов, создания условий по привлечению грузов с других видов транспорта и др. [18, с. 16]. Для удовлетворения перспективного спроса на грузовые железнодорожные перевозки в долгосрочном периоде разрабатываются и реализуются комплексные инвестиционные проекты развития пропускной и провозной способности сети железных дорог. Принципиальная схема определения потребных инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава приведена на рис. 3.

На основании вышеприведённой схемы представляется целесообразным разработать алгоритм экономической оценки проектов развития железнодорожной

инфраструктуры в увязке с динамикой развития товарных рынков (рис. 4).

На основании представленной схемы (рис. 3) и алгоритма (рис. 4) можно определить взаимосвязи между отдельными элементами алгоритма и изменение их параметров под влиянием отдельных факторов (табл. 4).

Приведённые в таблице 4 примеры показывают различное влияние факторов на элементы алгоритма экономической оценки. Перечень факторов, оказывающих влияние на проекты развития железнодорожной инфраструктуры, не ограничивается приведёнными в таблице позициями, а гораздо шире. Вместе с тем, изменение динамики развития внешних и внутренних товарных рынков (фактически изменение спроса на грузовые перевозки) является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на итоговую конфигурацию элементов при разработке проектов развития железнодорожной инфраструктуры.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Если мы обратимся в примере ОАО «РЖД», то по состоянию на 2018 год в компании находился в стадии реализации ряд инвестиционных проектов по модернизации и строительству новой железнодорожной инфраструктуры, приоритетной целью которых является обеспечение перевозок возрастающих объёмов грузов (табл. 5) [19].

Представленные в таблице отдельные комплексные проекты увязаны между собой и включены в долгосрочную программу развития ОАО «РЖД». При разработке инвестиционных проектов приоритетным является принцип минимизации объёмов инвестиционных вложений в развитие инфраструктуры и приобретение подвижного состава для обеспечения перевозок прогнозируемых объёмов грузов с требуемым уровнем качества транспортного обслуживания. С учётом реализации представленных в таблице 5 проектов и ряда иных, объёмы перспективной погрузки грузов на сети ОАО «РЖД» прогнозируются до 2025 года со среднегодовым темпом роста в 2,5 % в консервативном сценарии и 3,6 % – в целевом [20]. В 2017 году показатель погрузки составил 1261,3 млн т [19].

Реализация перспективных инвестиционных проектов на сумму более 820 млрд руб.

Таблица 4

Взаимосвязи элементов алгоритма экономической оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры и изменения их параметров под влиянием отдельных факторов

Фактор	Влияние на элементы алгоритма			
	Загрузка участков сети	Размеры движения поездов по участкам	Прогноз узких мест в инфраструктуре	Потребность в инвестициях
Снижение спроса на перевозки	уменьшение	уменьшение	уменьшение	уменьшение
Ограничение объёма инвестиций при реализации мероприятий по развитию инфраструктуры	перераспределение	перераспределение	перераспределение	уменьшение
	уменьшение	уменьшение	уменьшение	
Использование инновационного подвижного состава	не изменяется	уменьшение	уменьшение	уменьшение
Применение инновационных технологий пропуска вагонопотоков	не изменяется	не изменяется	уменьшение	уменьшение

Первоочередной элемент алгоритма, изменяющийся под влиянием факторов (выделено цветом в таблице).

Таблица 5

Основные комплексные инвестиционные проекты ОАО «РЖД» по развитию пропускных и провозных способностей для обеспечения пропуска возрастающих объёмов грузовых перевозок

Наименование проекта	Общий объём инвестиций, млрд руб.	Целевой показатель
Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей	I этап (до 2019 года) – 182,6	Увеличение к 2024 году суммарной провозной способности магистралей до 182 млн т; увеличение суммарная наличная пропускная способность магистралей до 129 пар грузовых поездов в сутки
Развитие железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД» на подходах к портам Северо-Запада России	253,6	Освоение прогнозируемого к 2025 году объёма перевозок грузов на подходах к портам Северо-Западного бассейна в объёме 145,6 млн т
Развитие железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД» на подходах к портам Азово-Черноморского бассейна	155,0	Обеспечение перевозок грузов железнодорожным транспортом к портам Азово-Черноморского бассейна в объёме 125,1 млн т к 2020 году, а также оптимизация работы Краснодарского железнодорожного узла с переключением грузового движения в обход – на участок Тимашевская–Крымская
Создание Северного железнодорожного широтного хода	236,7	Обеспечение перевозок грузов по новой линии в объёме 23,9 млн т к 2025 году

позволит инфраструктурной компании «РЖД» сократить ограничения по пропускной и провозной способности отдельных железных дорог, повысить качественные показатели их работы, что будет способствовать повышению качества транспортного обслуживания грузоотправителей.

Выводы

1. В условиях динамично изменяющейся конъюнктуры товарных рынков актуальность вопросов экономической оценки проектов развития пропускной и провозной способности сети железных дорог с учётом динамики развития внешнего и внутреннего товарных рынков возрастает. Так, изме-



нение направлений и объёмов грузовых потоков под воздействием конъюнктуры приводит к возникновению ограничений в провозных и пропускных способностях железнодорожной инфраструктуры.

2. Сравнительная оценка показателей, используемых при оценке влияния конъюнктуры рынка ведущими зарубежными компаниями, показала, что в холдинге «РЖД» применяется большинство из подобных показателей.

3. Применительно к российскому опыту, комплексные инвестиционные проекты имеют важное значение для развития пропускной и провозной способности сети железных дорог ОАО «РЖД» в условиях динамично развивающихся внешних и внутренних товарных рынков. В зависимости от спроса и предложения товаров на мировом и внутрироссийском рынке формируется спрос на услуги железнодорожного транспорта. Реализация перспективных инвестиционных проектов способствует снижению количества ограничений по пропускной и провозной способности и повышению эффективности использования инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД».

4. Применение разработанного алгоритма оценки проектов развития железнодорожной инфраструктуры для обеспечения высокого уровня качества транспортного обслуживания позволяет оценить взаимное влияние отдельных параметров проекта и сбалансировать его в зависимости от динамики конъюнктуры внешних и внутренних товарных рынков, а также необходимости привлечения инвестиционных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галабурда В. Г. Критерии экономической оценки транспорта // Мир транспорта. – 2012. – № 4. – С. 72–75.
2. Терёшина Н. П., Подсорин В. А., Данилина М. Г. Экономика железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. – М.: МГУПС (МИИТ), 2017. – 262 с.
3. Подсорин В. А., Овсянникова Е. Н. Оценка динамики конъюнктуры транспортного рынка в экономическом механизме управления транспортным комплексом // Материалы XI международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018)» (1–3 октября 2018 г., Москва, Россия), Том II / Под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – С. 90–92.
4. Подсорин В. А., Терёшина Н. П., Овсянникова Е. Н. Исследование конъюнктуры транспортного рынка в условиях цифровизации процессов управления // Экономика железных дорог. – 2018. – № 6. – С. 27–34.

5. Рышков А. В. Исследование экономической конъюнктуры железнодорожного транспорта (методология, анализ, оценки) / Дис... док. экон. наук. – М.: МИИТ, 2009. – 355 с.

6. The world's largest public companies. [Электронный ресурс]: <http://www.forbes.com/global2000/list/#industry:Railroads>. Доступ 07.10.2019.

7. Huber, S., Klauenberg, J., Thaller, C. Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models. *European Transport Research Review*, September 2015, Vol. 7, No. 32. DOI: 10.1007/s12544-015-0181-5. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12544-015-0181-5>. Доступ 07.10.2019.

8. Holmgren, J., Dahl, M., Davidsson, P., Persson, J. Agent-based simulation of freight transport between geographical zones. The 2nd International workshop on agent-based mobility, traffic and transportation models, methodologies and applications (ABMTRANS), *Procedia Computer Science*, December 2013, Vol. 19, pp. 829–834. DOI: 10.1016/j.procs.2013.06.110.

9. Holmgren, J., Ramstedt, L., Davidsson, P., Edwards, H., Persson, J. Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis. 5th International conference on ambient systems, networks and technologies (ANT-2014), *Procedia Computer Science*, December 2014, Vol. 32, pp. 380–387. DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.438.

10. Islam, D., Jackson, R., Zunder, Th., Burgess, A. Assessing the impact of the 2011 EU Transport White Paper – a rail freight demand forecast up to 2050 for the EU27. *European Transport Research Review*, June 2015, Vol. 7, Iss. 3. DOI: 10.1007/s12544-015-0171-7.

11. Canadian Pacific 2019 investor fact book. [Электронный ресурс]: [https://s21.q4cdn.com/736796105/files/doc_downloads/fact-book/2019/CP-2019-Investor-Fact-Book-FINAL-\(1\).pdf](https://s21.q4cdn.com/736796105/files/doc_downloads/fact-book/2019/CP-2019-Investor-Fact-Book-FINAL-(1).pdf). Доступ 07.10.2019.

12. EU transport in figures – statistical pocketbook 2015. [Электронный ресурс]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook2015.pdf>. Доступ 07.10.2019. DOI: 10.2832/90922.

13. Rail Cargo Group. [Электронный ресурс]: <http://www.railcargo.com/de/Unternehmen/Zahlen/index.jsp>. Доступ 07.10.2019.

14. Reports, presentations and archives. [Электронный ресурс]: <https://www.cn.ca/en/investors/reports-and-archives/>. Доступ 07.10.2019.

15. Deutsche Bahn Integrated Interim Report, January–June 2019. Germany needs a strong rail system. [Электронный ресурс]: https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Englisch/2019e/Anhaenge/ZB19_e_Web_03.pdf. Доступ 07.10.2019.

16. Итоговый доклад о результатах деятельности Министерства транспорта Российской Федерации за 2017 год, целях и задачах на 2018 год, и плановый период до 2020 года. [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.ru/documents/7/9244?type>. Доступ 07.10.2019.

17. Фейло М. Б. Методы определения неудовлетворённого спроса // Мир транспорта. – 2012. – № 4. – С. 102–104.

18. Пехтерев Ф. С. С учётом прогнозов социально-экономического развития страны // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 5. – С. 15–19.

19. Годовой отчёт ОАО «РЖД» за 2017 год. [Электронный ресурс]: <https://ar2017.rzd.ru/ru/strategic-report/projects#north-way>. Доступ 07.10.2019.

20. РЖД скорректировали параметры долгосрочной программы развития до 2025 г. [Электронный ресурс]: http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&refererLayerId=5049&id=304794. Доступ 07.10.2019.



Evaluation of Railway Network Development Projects Considering Economic Conditions



Victor A. PODSORIN



Roman V. MARTYSHKIN

*Podsorin, Victor A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Martyshkin, Roman V., Institute of Transport Economics and Development, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The article focuses on theoretical and practical issues of relationship between demand for rail cargo transportation and development of transit and traffic capacity of the railway network.

The current situation of public railway transport in the transport system of Russia is described. The dynamics of the main volume indicators of the transport complex over several years is analyzed, the key cargo groups, which account for more than 75 % of the traffic volume, are identified in the structure of traffic volumes. An algorithm is proposed for economic evaluation of railway infrastructure development projects in conjunction with the dynamics of development of commodity markets. The relationship and nature of mutual influence of the elements of the algorithm for economic evaluation of railway network development projects are identified. Examples of currently implemented integrated investment projects of JSC Russian Railways aimed at attracting perspective cargo volumes are commented.

The objective of the article is to develop methodological tools for economic evaluation of projects for developing the transit and traffic capacity of a railway network in the face of changing directions and volumes of cargo flows, considering the dynamics of development of external and internal

commodity markets. In accordance with the objective, the main tasks comprise comparative assessment of the indicators used in domestic practice, used to determine the impact of market conditions as compared with indicators used by leading foreign companies for these purposes; assessment of the value of integrated investment projects for development of transit and traffic capacity (at the example of Russian railway network) under the conditions of dynamically developing external and internal commodity markets; development of an algorithm for evaluating railway infrastructure development projects to ensure a higher level of quality of transport services with the aim of assessing mutual influence of individual project parameters and their balance, depending on the dynamics of external and domestic product markets, as well as on the need to attract investment resources.

Empirical and theoretical methods, such as collecting and analyzing information, deduction, modelling, comparison, technical and economic calculations, an economic and statistical method, were used to implement the goals and objectives set in the article.

It is concluded that it is necessary to consider dynamically changing conditions of commodity markets when assessing the prospects for development of the railway network.

Keywords: railway transport, demand for cargo transportation, development projects, commodity market, market conditions.

*Information about the authors:

Podsorin, Victor A. – D.Sc. (Economics), Professor of the Department of Transport Economics and Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, podsorin@mail.ru.

Martyshkin, Roman V. – Head of the Department of Foreign Trade Transportation Forecasting of JSC Institute of Transport Economics and Development, Moscow, Russia, martyshkinrv@mail.ru.

Article received 14.01.2019, revised 20.04.2019, accepted 07.10.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 94.

Background. Railway transport, being an integral part of the transport complex of any state, is constantly both in interaction and in competition with other modes of transport for transportation of goods. One of the important conditions for competitiveness of railway transport is quality and timely satisfaction of the demand of shippers for transportation of goods.

Given that transport does not produce products in the physical sense and is an infrastructure industry [1, p. 74]. An important aspect of its cost-effective functioning (and that is valid for all participants in the transportation process), as well as of long-term development, is to achieve a balance of demand for «transport products» and of offers of transportation services.

According to leading experts in the field of transport in a market economy, transport can be characterized both as a market object and as a market entity. Depending on the view on the place of transport in the economy, several approaches to the prospects for its development can be noted: with a market approach, transport develops depending on the demand for its services; with the «classical approach» transport is an infrastructure of material production and requires accelerated development [2, p. 17].

Considering the actual state and future development of railway infrastructure through the prism of mutually interconnected categories «demand for cargo transportation – throughput and carrying capacity of the infrastructure», it can be noted that the multi-element nature of each category and a significant number of external and internal factors affecting the elements of each category, together with their diversity create a kind of balance, which can be

expressed in the form of actually achieved or promising projected values of the volume of cargo transportation for the selected period of time.

In connection with the foregoing, the *objective* of this work is to develop methodological tools for economic evaluation of projects for developing transit and traffic capacity of a railway network with regard to changing directions and volumes of cargo flows, considering the dynamics of development of external and domestic commodity markets. To achieve this objective, empirical and theoretical *methods* of scientific research were used:

- collection and analysis of information for building a database on the volume of cargo transportation, and cargo turnover on the territory of the Russian Federation by modes of transport and analysis of the data;

- comparison for assessing the dynamics of coal mining in Russia, the total loading of coal and its transportation in export traffic via JSC Russian Railways railway network, assessing the dynamics of cargo turnover, average range and volume of cargo transportation via the railway network, as well as evaluating the largest public railway companies according to Global 2000 Forbes World;

- deduction and modeling for developing a scheme for determining the required investments in development of railway infrastructure and rolling stock;

- technical and economic calculations and economic and statistical method for constructing a coherent algorithm for economic evaluation of railway infrastructure development projects in conjunction with the dynamics of development of commodity markets.

Table 1

The volume of cargo transportation within the territory of the Russian Federation by mode of transport in 2013–2017, mln tons

Transport mode	2013	2014	2015	2016	2017
Total transportation volume	8275,8	8006,8	7896,8	7990,5	8113,6
including					
Public railway transport	1392,6	1375,5	1327,6	1327,4	1383,4
Road transport	5635	5417	5357	5431	5447
Inland water transport	135	119	121	118	119
Pipeline transport	1095	1078	1071	1088	1138
Other modes of transport, excluding industrial railway transport	18,2	17,3	20,2	26,1	26,2

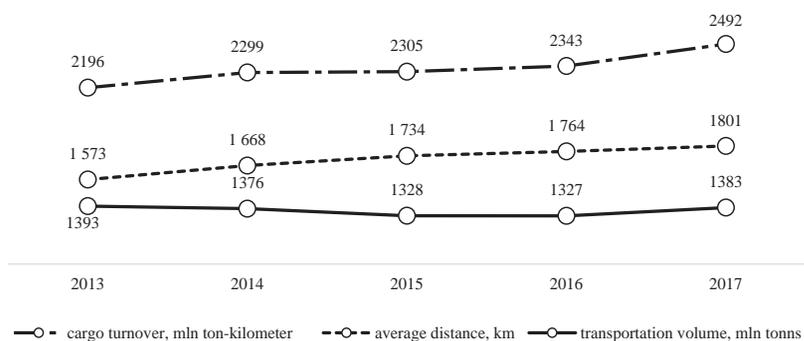
Source: Federal State Statistics Service (Rosstat).

Table 2

**Cargo turnover of transport in all sectors of the economy of the Russian Federation
for 2013–2017, mln ton-kilometer**

Transport mode	2013	2014	2015	2016	2017
Transport of all sectors of the economy	5084,0	5078,2	5107,4	5196,6	5480,6
including					
Public railway transport	2196	2299	2305	2343	2492
Road transport	250,0	247,0	247,0	248,0	253,0
Inland water transport	80,0	72,0	64,0	67,0	67,0
Pipeline transport	2513,0	2423,0	2444,0	2489,0	2615,0
Other modes of transport, excluding industrial railway transport	45,0	37,2	47,4	49,6	53,6

Source: Federal State Statistics Service (Rosstat).



Pic. 1. The dynamics of cargo turnover, average distance, and transportation volume along the railway network of JSC Russian Railways for the period 2013–2017. Source: according to the reports of TsO-12 form «Report on cargo transportation, mileage and revenues received».

Analysis and assessment of trends

Considering the public railway transport as part of the general transport system of Russia, it should be noted that it takes a significant share in the structure of the total volume of cargo transportation and cargo turnover (17,1 % and 45,5 %, respectively, see Tables 1–2).

It should also be noted that the growth in cargo turnover in 2014–2016 occurred despite a decrease in the volume of cargo transportation (the main reason was recession of the Russian economy due to contraction of domestic demand for goods and services). This indicates an increase in the average distance of transportation by rail (Pic. 1), which is due to the favorable conjuncture of foreign markets amid devaluation of the ruble and, as a result, an increase in export of Russian raw materials through sea and land transshipment points.

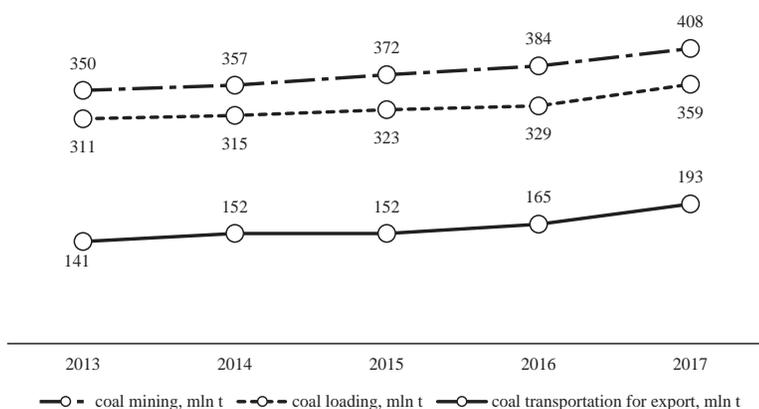
This trend influenced the change in the structure of cargo transportation in terms of types of destination: in 2017, the volumes of domestic Russian transportation decreased by

3 % compared to 2013; for the same period, the volume of transportation of import deliveries decreased by 28 %; transportation of export deliveries increased by 15 %.

The share of coal, which is amidst main export cargo items, is more than 35 % in the total structure of cargo turnover through JSC Russian Railways network. The increase in coal transportation in export traffic in 2017 amounted to 37 % compared to 2013. The analysis of indicators of coal mining in the Russian Federation and its transportation through JSC Russian Railways network for the period of 2013–2017 shows that there is a close relationship between the indicators of cargo transportation by rail and the dynamics of development of individual commodity markets.

Changes in directions and volumes of cargo flows through the railway network under the influence of the situation in Russian and world commodity markets lead to constraints regarding transit and traffic capacity of the railway infrastructure.





Pic. 2. The dynamics of coal mining in Russia, total loading of coal and its transportation for export along the railway network of JSC Russian Railways for the period 2013–2017. Sources: according to the data of reports of Ministry of Energy and JSC Russian Railways¹.

Market research helps to optimize production and logistics operations, to increase productivity of technical systems and efficient use of production resources, to minimize resource consumption and production losses, to increase credibility of assessing market competitiveness, to work out in detail the dynamics and nature of price changes, market capacity, production and consumption volumes, to assess forecast data on the dynamics and development of commodity markets, prices in them, geography of consumption, etc. [3, p. 90].

Analysis of the market conditions for a transport company and its reflection in the dynamics of development of the transport market depend on the nature of the problem being solved. To make operational decisions, an analysis of the current condition of commodity markets is performed, which also makes it possible to fulfill loading forecasts for 3–6 months. For forecasting for longer periods, a deeper level study is necessary [4, p. 30].

The study of A. V. Ryshkov examines in detail the analysis of conditions of Russian transport during rise and development of market relations [5, p. 19], as well as the problems of the methodology for assessing the impact of market conditions on the basic parameters of transport [5, p. 57]. However, modern conditions, characterized by an increase in demand for transport services and

an increase in the length of lines with a limitation of their transit and traffic capacity, require development of new methodological approaches to assessing projects for developing transit and traffic capacity of a railway network considering the dynamics of development of foreign and domestic commodity markets.

Leading world companies for assessing the influence of market conditions on their activity use indicators based on the transport market analysis in terms of revenues of market participants, their share on the market, as well as segmentation by fields of activity. Top-200 of the world's companies in 2016 include 16 railways, whose shares are listed on the stock exchange [6]. The ranking included six Japanese railways, four American, two Canadian companies, companies from respectively China, Hong Kong, and Taiwan (Table 3).

Models and indicators

The transport and logistics models used by world companies in planning their development prospects use e.g. the following transportation organization models: SAMGODS/NEMO, SMILE (Strategic Model for Integrated Logistics Evaluation), SLAM (Spatial Logistic Appended Module), EUNET, LAMTA (Los Angeles Metropolitan Area), CMAP (Chicago Metropolitan Agency for Planning), FAME (Freight Activity Micro simulation Estimator), GoodTrip, WIVER, TAPAS, TAPAS-Z [7, p. 6; 8, p. 829; 9, p. 384; 10, p. 9].

To analyze market conditions, international companies use the following indicators:

¹ Statistics of the Ministry of Energy. [Electronic resource]: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic>; Annual reports of JSC Russian Railways. [Electronic resource]: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#2.

Table 3

The largest public railway companies of the world according to Global 2000 Forbes, 2016

No. in the rating	Company	Country	Revenues, bln \$	Profit, bln \$	Profitability of sales, %	Assets, bln \$	Capitalization, bln \$
172	Union Pacific	USA	21,0	4,6	21,9	55,8	75,4
233	East Japan Railway	Japan	23,5	1,9	8,1	63,1	36,2
284	Central Japan Railway	Japan	14,3	2,5	17,5	45,4	38,7
368	Canadian National Railway	Canada	9,9	2,8	28,3	26,7	51,6
377	CSX	USA	11,4	1,9	16,7	34,6	26,3
407	Norfolk Southern	USA	10,4	1,6	15,4	33,8	27,1
557	MTR	Hong Kong	5,4	1,7	31,5	31,1	29,1
625	Daqin Railway	China	8,6	2,3	26,7	17,0	15,0
662	West Japan Railway	Japan	11,8	0,7	5,9	23,4	12,1
785	Canadian Pacific Railway	Canada	5,1	1,2	23,5	15,0	22,8
883	Tokyu	Japan	9,0	0,5	5,5	16,8	11,0
1112	Hankyu Hanshin Holdings	Japan	5,4	0,5	8,5	18,9	8,3
1158	Kintetsu	Japan	10,0	0,3	3,0	16,1	8,0
1547	Kansas City Southern	USA	2,4	0,5	20,5	8,3	10,6
1582	Taiwan High Speed Rail	Taiwan	1,6	0,7	41,1	15,4	2,7

Revenues, Net income (loss), Total assets, Total liabilities, Employees, Revenue per employee, Profit per Employee, as well as macroeconomic indicators as e.g. Rail Freight, Volume Forecast, Population, GDP constant 2000 prices, GDP current Prices, Inflation, Consumer Price Index, Exchange Rate, Geography Segmentation [11–15].

The most important tasks of the analysis of market conditions are:

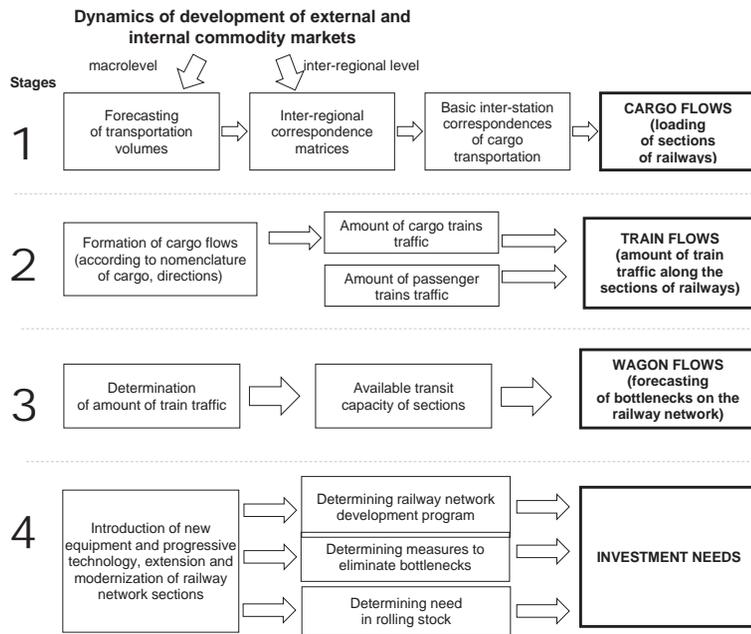
- identification, analysis and forecasting of volumes and geography of production of goods, materials and raw materials representing the main types of cargo;
- identification and analysis of sizes (production volumes) and the number of manufacturing enterprises;
- identification, analysis and forecasting of prices for goods (finished products, materials and raw materials, representing the main types of cargo): producer selling prices, prices in regions of consumption, export prices;
- identification, analysis and forecasting of volumes and geography of consumption of goods, materials and raw materials representing the main types of cargo;
- identification and analysis of the size (volume of consumption) and the number of enterprises-purchasers;

• analysis of the degree of differentiation of manufacturers in terms of quality, selling prices and production volumes, according to the specifics of the technological process that defines the requirements for quality of transport services and, as a result, the possibility of attracting their goods for transportation by railways;

- identification and analysis of regional distribution of producers according to the characteristics listed in the previous paragraph;
- analysis of the degree of differentiation of consumers in terms of quality, selling prices and production volumes, consumption specifics that determine the requirements for quality of transport services;
- identification and analysis of regional distribution of consumers according to these signs of possibility of segmenting the studied product market;
- analysis and forecasting of market development trends and its dynamic stability;
- analysis of seasonality and cyclicity of main indicators of market development (sales volumes by categories of goods, prices), their volatility and factors influencing them.

The comparative analysis of indicators used in assessing the impact of market conditions by similar leading foreign companies allows us to





Pic. 3. Chart to determine required investment for development of railway infrastructure and rolling stock (compiled by the authors).

conclude that they can be used to substantiate indicators of Russia’s economic development and target parameters of the Russian Railways holding company within the system of key performance indicators.

Results and discussion

As of January 1, 2017, the share of length of public railway lines of the Russian Federation that had capacity constraints in the overall operational length of public railway lines was 10,6 % [16, p. 22]. In turn, emergence of constraints regarding transit and traffic capacity of railway infrastructure leads to the unmet demand for cargo transportation.

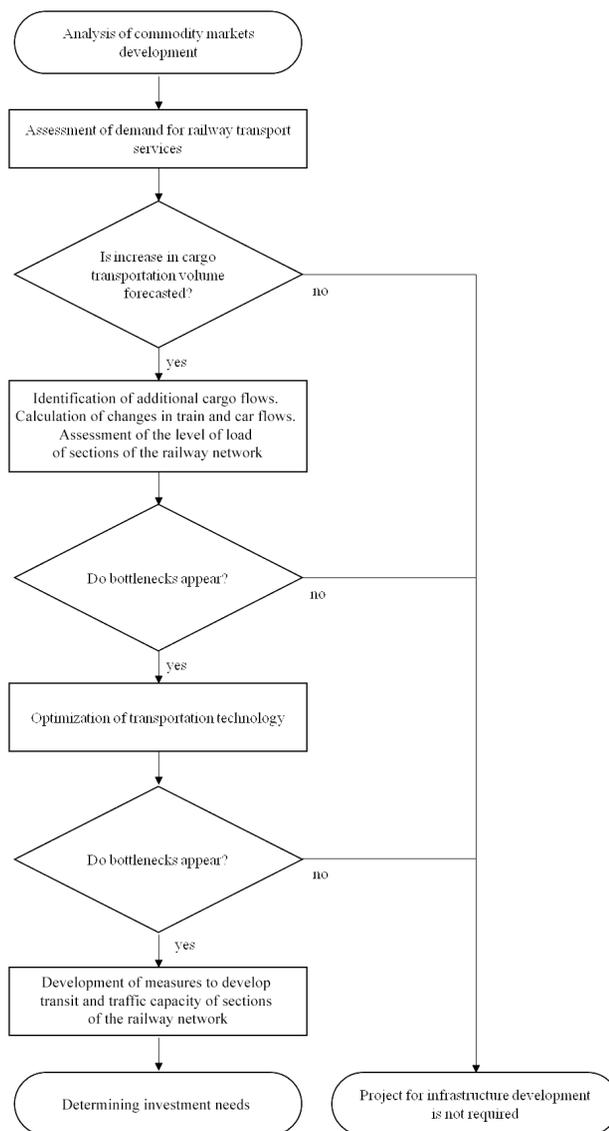
At the same time, the ratio of the presented and timely satisfied demand for cargo transportation determines the level of quality of transport services. To solve problems of unsatisfied demand in the short and medium term horizon for planning cargo railway transportation, a number of organizational and technological measures can be used, including those that seek to obtain feedback from customers to promptly fix local issues, to create conditions for flexible adaptation of production indicators of the elements of railway transport to demand fluctuations, to find ways to smooth out fluctuations in distribution of demand over

time via flexible tariff system and others [17, p. 104].

In the long term, a change in potential demand for railway transport services can be achieved by increasing the existing and by building new production capacity of enterprises, constructing new railway lines attracting cargo, developing sea ports, creating conditions for attracting goods from other modes of transport, etc. [18, p. 16]. To meet the long-term demand for railway cargo transportation, comprehensive investment projects are developed and implemented to develop transit and traffic capacity of the railway network. The basic scheme for identifying required investments in development of railway infrastructure and rolling stock is shown in Pic. 3.

Based on the above scheme, it seems appropriate to develop an algorithm for economic evaluation of railway infrastructure development projects in conjunction with the dynamics of development of commodity markets (Pic. 4).

Based on the presented scheme (Pic. 3) and the algorithm (Pic. 4), it is possible to determine the relationship between individual elements of the algorithm and the change in their parameters under the influence of individual factors (Table 4).



Pic. 4. Enlarged algorithm of economic assessment of railway infrastructure development projects in terms of dynamics of development of commodity markets (compiled by the authors).

The examples in Table 4 show the different impact of factors on the elements of economic evaluation algorithm. The list of factors influencing railway infrastructure development projects is not limited to the positions given in the table but is much wider. At the same time, a change in the dynamics of development of external and domestic commodity markets (in fact, a change in demand for cargo transportation) is one of the key factors influencing the final configuration of elements when developing projects for development of railway infrastructure.

Practical aspects

If we take example of JSC Russian Railways, then as of 2018 the company was implementing a number of investment projects to upgrade and build a new railway infrastructure, the priority of which was to ensure transportation of increasing volumes of cargo (Table 5) [19].

The individual integrated projects presented in the Table are interlinked and included in the long-term development program of JSC Russian Railways. When developing investment projects, the company implements the priority principle of minimizing the volume of



Table 4

Interconnections of elements of the algorithm for economic evaluation of railway infrastructure development projects and changes in their parameters under the influence of individual factors

Factor	Influence of the elements of the algorithm			
	Load of network sections	Size of train traffic in sections	Infrastructure bottleneck forecast	Investment needs
Decrease in demand for transportation	decrease	decrease	decrease	decrease
Constraints regarding the amount of investment in implementation of measures for infrastructure development	redistribution	redistribution	redistribution	decrease
	decrease	decrease	decrease	
Use of innovative rolling stock	does not change	decrease	decrease	decrease
Use of innovative technology for transit of car flows	does not change	does not change	decrease	decrease

■ Element of the algorithm, that is primarily changing under the influence of factors (graphs with darker background).

Table 5

The main integrated investment projects of JSC Russian Railways for development of transit and traffic capacity to ensure transit of increasing volumes of freight

Project name	Total investment volume, bln rub.	Target indicator
Modernization of railway infrastructure of Baikal-Amur and Trans-Siberian railways with development of transit and traffic capacity	I stage (until 2019): 182,6	By 2024, increase in total traffic capacity of main lines to 182 million tons; increase in total available transit capacity of main lines to 129 pairs of cargo trains per day
Development of railway infrastructure of JSC Russian Railways on approaches to the ports of North-West of Russia	253,6	Development of the forecasted volume of cargo transportation by 2025 at the approaches to the ports of the North-Western basin in the volume of 145,6 million tons
Development of railway infrastructure of JSC Russian Railways on the approaches to the ports of Azov-Black Sea basin	155,0	Ensuring transportation of goods by rail to the ports of Azov-Black Sea basin in the amount of 125,1 million tons by 2020, as well as optimizing the work of Krasnodar railway junction with switching cargo traffic to bypass via Timashevskaya—Krymskaya section
Creation of the Northern Latitudinal Railway	236,7	Ensuring transportation of goods through the new line in the volume of 23,9 million tons by 2025

investment in infrastructure development and acquisition of rolling stock to ensure transportation of forecasted volumes of goods with the required level of quality of transport services. Considering implementation of the projects presented in Table 5 and a number of other projects, the volumes of prospective cargo loading on the Russian Railways network are projected until 2025 with an average annual growth rate of 2,5 % in the conservative scenario and 3,6 % in the target scenario [20]. In 2017, the loading indicator amounted to 1261,3 million tons [19].

Implementation of promising investment projects worth more than 820 billion rubles will

allow JSC Russian Railways infrastructure company to decrease constraints on transit and traffic capacity of individual railways, to improve quality of their work, which will help to improve quality of transport services for shippers.

Conclusions.

1. In the context of a dynamically changing conditions of commodity markets, the relevance of the issues of economic evaluation of projects for developing transit and traffic capacity of the railway network, considering the dynamics of development of external and internal commodity markets, is increasing. Thus, a change in directions and volumes of

cargo flows under the influence of the situation leads to constraints in transit and traffic capacity of the railway infrastructure.

2. A comparative assessment of the indicators used in assessing the impact of market conditions by leading international companies showed that the Russian Railways holding company uses most of those indicators.

3. Referring to Russian experience, integrated investment projects are important for development of transit and traffic capacity of the railway network of JSC Russian Railways in the conditions of dynamically developing external and internal commodity markets. Demand for railway transport services is formed depending on demand and supply of goods in the world and domestic markets. The implementation of promising investment projects helps to reduce the number of constraints regarding transit and traffic capacity and to increase the efficiency of operation of the infrastructure facilities of JSC Russian Railways.

4. The use of the developed algorithm for assessing projects for development of railway infrastructure to ensure a high level of quality of transport services allows us to evaluate mutual influence of individual parameters of the project and balance it depending on the dynamics of external and internal product markets, as well as on the need to attract investment resources.

REFERENCES

1. Galaburda, V. G. Criteria for Economic Assessment for Transport and Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol. 10, Iss. 4, pp. 72–75.

2. Tereshina, N. P., Podsorin, V. A., Danilina, M. G. Economics of railway transport: Study guide [*Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. posobie*]. Moscow, MGUPS (MIIT), 2017, 262 p.

3. Podsorin, V. A., Ovsyannikova, E. N. Assessment of the dynamics of the transport market in the economic mechanism of transport system management [*Otsenka dinamiki konyunktury transportnogo rynka v ekonomicheskoy mekhanizme upravleniya transportnym kompleksom*]. *Proceedings of 11th international conference «Management of development of large-scale systems (MLSD'2018)» (October 1–3, 2018, Moscow, Russia)*, Volume 2, pp. 90–92.

4. Podsorin, V. A., Tereshina, N. P., Ovsyannikova, E. N. Research on the transport market in digitalization of management processes [*Issledovanie konjunktury transportnogo rynka v usloviyakh tsifrovizatsii protsessov upravleniya*]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2018, Iss. 6, pp. 27–34.

5. Ryshkov, A. V. Research on the economic situation in railway transport (methodology, analysis, evaluation). D.Sc. (Economics) thesis [*Issledovanie ekonomicheskoy konyunktury zheleznodorozhnogo transporta (metodologiya, analiz, otsenki)*]. *Dis... dok. ekon. nauk*. Moscow, MIIT, 2009, 355 p.

6. The world's largest public companies. [Electronic resource]: <http://www.forbes.com/global2000/list/#industry:Railroads>. Last accessed 07.10.2019.

7. Huber, S., Klauenberg, J., Thaller, C. Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models. *European Transport Research Review*, September 2015, Vol. 7, Iss. 32. DOI: 10.1007/s12544-015-0181-5. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12544-015-0181-5>. Last accessed 07.10.2019.

8. Holmgren, J., Dahl, M., Davidsson, P., Persson, J. Agent-based simulation of freight transport between geographical zones. The 2nd International workshop on agent-based mobility, traffic and transportation models, methodologies and applications (ABMTRANS). *Procedia Computer Science*, December 2013, Vol. 19, pp. 829–834. DOI: 10.1016/j.procs.2013.06.110.

9. Holmgren, J., Ramstedt, L., Davidsson, P., Edwards, H., Persson, J. Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis. 5th International conference on ambient systems, networks and technologies (ANT-2014). *Procedia Computer Science*, December 2014, Vol. 32, pp. 380–387. DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.438.

10. Islam, D., Jackson, R., Zunder, Th., Burgess, A. Assessing the impact of the 2011 EU Transport White Paper – a rail freight demand forecast up to 2050 for the EU27. *European Transport Research Review*, June 2015, Vol. 7, Iss. 3. DOI: 10.1007/s12544-015-0171-7.

11. Canadian Pacific 2019 Investor Fact Book. [Electronic resource]: [https://s21.q4cdn.com/736796105/files/doc_downloads/fact-book/2019/CP-2019-Investor-Fact-Book-FINAL-\(1\).pdf](https://s21.q4cdn.com/736796105/files/doc_downloads/fact-book/2019/CP-2019-Investor-Fact-Book-FINAL-(1).pdf). Last accessed 07.10.2019.

12. EU transport in figures – statistical pocketbook 2015. [Electronic resource]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook2015.pdf>. Last accessed 07.10.2019. DOI: 10.2832/90922.

13. Rail Cargo Group. [Electronic resource]: <http://www.railcargo.com/de/Unternehmen/Zahlen/index.jsp>. Last accessed 07.10.2019.

14. Reports, presentations and archives. [Electronic resource]: <https://www.cn.ca/en/investors/reports-and-archives/>. Last accessed 07.10.2019.

15. Deutsche Bahn Integrated Interim Report, January–June 2019. Germany needs a strong rail system. [Electronic resource]: https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Englisch/2019e/Anhaenge/ZB19_e_Web_03.pdf. Last accessed 07.10.2019.

16. The final report on the results of the activities of the Ministry of Transport of the Russian Federation for 2017, the goals and objectives for 2018, and the planning period until 2020 [*Itogoviy doklad o rezul'tatakh deyatelnosti Ministerstva transporta Rossiiskoi Federatsii za 2017 god, tselyakh i zadachakh na 2018 god, i planoviy period do 2020 goda*]. [Electronic resource]: <https://www.mintrans.ru/documents/7/9244?type>. Last accessed 07.10.2019.

17. Feilo, M. B. Methods to Define Pent-Up Demand. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 4, pp. 102–104.

18. Pekhterev, F. S. Considering forecasts of socio-economic development of the country [*Suchetom prognozov sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya strany*]. *Zheleznodorozhniy transport*, 2016, Iss. 5, pp. 15–19.

19. Annual report of JSC Russian Railways [*Godovoy otecher OAO «RZD» z 2017 god*]. [Electronic resource]: <https://ar2017.rzd.ru/ru/strategic-report/projects#north-way>. Last accessed 07.10.2019.

20. Russian Railways adjusted the parameters of the long-term development program until 2025 [*«RZD» skorrektirovali parametry dolgosrochnoy programmy razvitiya do 2025 g.*]. [Electronic resource]: http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&refererLayerId=5049&id=304794. Доступ 07.10.2019.



Долговые инструменты фондирования транспортных лизинговых компаний



Тарасов Алексей Аркадьевич – кандидат экономических наук, Executive MBA, эксперт по корпоративным финансам, Москва, Россия.*

Алексей ТАРАСОВ

Целью исследования является анализ всего комплекса вопросов, связанных с привлечением корпоративного финансирования на рынке долгового капитала, включая описание таких структурных особенностей финансирования лизинговых компаний, как валюта финансирования, использование финансовых инструментов с фиксированной процентной ставкой, необходимость соответствия активов и пассивов компании, с точки зрения срочности.

В статье рассматриваются долговые стратегии российских лизинговых компаний, специализирующихся на транспортных средствах. Организация привлечения финансирования транспортными лизинговыми компаниями имеет важное значение для развития всей транспортной отрасли России. Анализируются двусторонние банковские кредиты, инструменты международных банков развития, синдицированные

кредиты и выпуски рублёвых облигаций, описываются структурные элементы, инвесторы и транзакционные особенности. Для каждого финансового инструмента приведён пример реализации сделки на практике. Сравняются основные финансовые инструменты, выявляются основные преимущества и недостатки при их использовании для целей корпоративного финансирования.

Методы исследования основаны на структурном подходе к финансированию, который базируется на соответствии финансовых инструментов и целей использования денежных средств (включая пополнение оборотного капитала, рефинансирование, капитальные затраты).

Основной вывод статьи состоит в том, что для лизинговых компаний оптимальным финансовым решением является формирование структуры капитала комбинированием кредитов и облигаций.

Ключевые слова: транспорт, фондирование транспортных лизинговых компаний, лизинг транспортных средств, кредиты, облигации, международные банки развития.

*Информация об авторе:

Тарасов Алексей Аркадьевич – кандидат экономических наук, Executive MBA, эксперт по корпоративным финансам, Москва, Россия, alexey.tarasov@outlook.com.

Статья поступила в редакцию 25.05.2019, принята к публикации 02.10.2019.

For the English text of the article please see p. 122.

ВВЕДЕНИЕ

Компании транспортной отрасли являются активными пользователями услуг лизинговых компаний. Лизинг предоставляет возможность увеличивать парк транспортных средств без существенных разовых инвестиций. При лизинговой операции лизинговая компания приобретает у производителя транспортные средства и передаёт их в пользование транспортной компании. За этим следует дальнейший выкуп и полный переход в собственность объекта лизинга. Используя инструменты лизинга, транспортные компании достигают оптимизации краткосрочного оборотного капитала и долгосрочных инвестиционных расходов.

В мировом масштабе лизинг транспортных средств является одним из ключевых элементов финансового рынка. Так общий объём рынка лизинга самолётов оценивается более чем в 200 млрд долл. США. В качестве примеров недавних сделок на рынке корпоративного контроля можно привести следующие. В марте 2016 г. было объявлено, что крупнейшая японская банковско-финансовая корпорация Mitsubishi UFJ Financial Group достигла соглашения касательно приобретения у немецкого DZ Bank бизнеса по финансированию авиации. Данная сделка является частью стратегии группы по развитию международного бизнеса по финансированию транспортных активов. По результатам соглашения, банк MUFG Bank и лизинговая компания BOT получают портфель по финансированию авиационных активов, включая кредитные и лизинговые обязательства, общим объёмом 6,4 млрд долл. США.

Ещё одной крупной сделкой 2016 г., также связанной с азиатскими инвесторами, стала продажа американской CIT Group коммерческого бизнеса по лизингу самолётов компании Avolon Holdings за 10 млрд долл. США. Сделка финансировалась комбинацией денежных средств, акционерного капитала и нового долга в объёме 8,5 млрд долл. США. По итогам сделки воздушный флот Avolon Holdings составил более 900 самолётов. В августе 2019 г. крупнейший промышленный конгломерат General Electric продал портфель активов, связанный с авиационным лизингом, объёмом 3,6 млрд долл. США. Поку-

пателем бизнеса по финансированию авиации стала ведущая корпорация по прямым инвестициям Apollo Global Management, в то время как портфель кредитов данного бизнеса был приобретён инвестиционной компанией Athene Holding.

К транспортным средствам, которые предлагают своим клиентам лизинговые компании, относятся:

- пассажирский транспорт, включая городские и междугородние автобусы, троллейбусы, трамваи;
- спецтехника, например, автомобильная техника для обслуживания и строительства дорог (бульдозеры, экскаваторы, катки), а также для коммунального хозяйства (уборочные машины);
- грузовой и коммерческий автотранспорт;
- железнодорожный транспорт, включая полувагоны, цистерны, крытые вагоны, платформы, зерновозы;
- морские/речные грузовые и пассажирские суда, танкеры;
- воздушный транспорт, включая региональные и магистральные самолёты, вертолёты;
- специализированное оборудование для развития транспортной инфраструктуры.

Учитывая, что лизинг выполняет важную роль для развития экономики России, в нашей стране действует ряд программ поддержки отрасли. Например, государственная программа льготного лизинга при поддержке Министерства промышленности и торговли позволяет получать выгодные условия при лизинге нового лёгкого коммерческого транспорта.

За счёт дальнейшего развития рынка лизинга транспортных средств возможно достижение следующих стратегических целей:

- (а) развитие транспортной отрасли России, включая транспортную инфраструктуру;
- (б) оказание поддержки российским производителям транспортных средств;
- (в) компании, оказывающие транспортные услуги, получают возможность использовать современную транспортную технику без отвлечения существенных финансовых ресурсов от операционной деятельности.



Таким образом, привлечение финансирования транспортными лизинговыми компаниями имеет важное значение для развития всей транспортной отрасли России.

Основной целью статьи является рассмотрение всей совокупности долговых инструментов, доступных для финансирования развития российских лизинговых компаний, специализирующихся на транспортной отрасли.

С точки зрения используемой в статье методологии, выделим структурный подход к решению финансовых задач. В рамках данного подхода основные параметры привлекаемого корпорацией финансирования напрямую связаны с целями, которые решаются с помощью использования данных денежных средств.

1. ОСОБЕННОСТИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЛИЗИНГОВЫХ КОМПАНИЙ

Привлечение финансирования является одной из основных задач финансовых топ-менеджеров российских лизинговых компаний. Данный вопрос важен, с точки зрения управления ликвидностью, для осуществления инвестиций, развития бизнеса [1, с. 97]. На российском рынке лизинга транспортных средств доступ компании к финансированию является важным конкурентным преимуществом. Структура капитала корпорации также является одним из ключевых инструментов создания акционерной стоимости [2, с. 41].

К основным структурным особенностям корпоративного финансирования лизинговых компаний относятся:

1) Стратегическая важность структуры капитала для лизинговых компаний — с точки зрения оптимизации финансовых затрат, поддержания конкурентных преимуществ, осуществления инвестиций в приобретение транспортных средств [3, с. 709].

2) Привлечение долгового финансирования в основном в рублях. Но при этом, включая случаи закупки предметов лизинга в иностранной валюте, компаниям может потребоваться финансирование в долларах США, евро и других валютах [4, с. 123].

3) Использование долговых инструментов с фиксированной ставкой с целью минимизировать процентные риски, возникающие при плавающих ставках. Для целей риск-менеджмента также применяются свопы и производные финансовые инструменты [5, с. 195].

4) Необходимость соответствия активов и обязательств с точки зрения срочности. Для этого лизинговые компании привлекают финансирование с различными сроками погашения для того, чтобы средний срок обязательств соответствовал среднему сроку активов [6, с. 171].

5) Структура долговых обязательств предполагает отсутствие амортизации при погашении долга — кредиты и облигации, как правило, выплачиваются одним платежом в дату погашения [7, с. 54].

Лизинговые компании, специализирующиеся на транспортных средствах, привлекают финансирование для различных целей [8, с. 343]. Приведём основные из них:

- Краткосрочное финансирование: пополнение оборотного капитала и создание запаса ликвидности, а также банковские бридж-кредиты, привлекаемые перед размещением облигационных выпусков на рынках капитала [9, с. 157].

- Среднесрочное финансирование: общекорпоративные цели, включая рефинансирование текущей задолженности с целью увеличения среднего срока кредитного портфеля, привлечения фондирования по более выгодным ставкам, диверсификации базы инвесторов [10, с. 141].

- Долгосрочное финансирование: финансирование инвестиционной программы, включая капитальные затраты, сделки по слияниям и поглощениям, проекты развития бизнеса [11, с. 1621].

В данной статье рассматриваются ключевые долговые инструменты, которые используют российские лизинговые компании:

1) Двусторонний банковский кредит, который компании выдаёт банк-партнёр.

2) Инструментарий международных банков развития, участником которых является Российская Федерация.

3) Синдицированный кредит, в котором в качестве кредиторов выступает несколько банков.

4) Размещение выпуска рублёвых облигаций на российском рынке капитала.

Использование указанных финансовых инструментов, включая их различные комбинации, позволяет лизинговой компании решать всю совокупность задач корпоративного финансирования. При этом топ-менеджеру важно понимать, какие именно инструменты оптимально использовать с точки зрения:

- (а) текущего этапа развития компании;
- (б) стратегии корпорации;
- (в) целей финансирования;
- (г) действий конкурентов;
- (д) доступных источников фондирования.

Таким образом, при привлечении финансирования необходимо не только проведение финансовых расчётов, но и осуществление сравнительного анализа используемых долговых инструментов [12, с. 21].

Обратим внимание на такой важный аспект финансирования, как отраслевая специфика. Особенности использования лизинговых решений в таких ключевых сегментах транспортной отрасли, как морской транспорт, железные дороги и авиация, рассмотрены в работах [13, с. 307; 14, с. 61; 15, с. 239].

Двусторонний банковский кредит является базовым продуктом для лизинговой отрасли. Данный вид финансирования используется заёмщиками для решения краткосрочных и тактических задач. Денежные средства привлекаются от одного из банков-партнёров компании в рамках действующих кредитных лимитов. При этом возможно осуществление сделки в довольно сжатые сроки.

Для ведущих лизинговых компаний стратегическими партнёрами могут выступать международные банки развития, в состав акционеров которых входит Российская Федерация. В продуктовой линейке данных банков присутствуют инструменты поддержки лизинга, а также кредитные линии для транспортных лизинговых компаний.

Важным источником привлечения денежных средств для заёмщиков из лизинговой отрасли является рынок синдицированного кредитования. Синдицированный кредит организуется для компании несколькими банками путём синдикации

среди широкой базы кредиторов. В рамках договора синдицированного кредита возможно предоставление существенного объёма средств, превышающего возможности двустороннего банковского кредита.

Размещая облигационный выпуск, заёмщик выходит на рынок долгового капитала. В данном случае привлекаются долгосрочные денежные средства как ведущих банков, так и крупнейших институциональных инвесторов. Следует отметить, что процесс размещения облигаций является достаточно сложным и требует существенных затрат со стороны заёмщика.

При привлечении корпоративного финансирования оптимальным решением для корпорации является использование нескольких инструментов долгового финансирования с целью формирования диверсифицированного портфеля.

2. ДВУСТОРОННИЙ БАНКОВСКИЙ КРЕДИТ

Двусторонний кредит привлекается заёмщиком для решения краткосрочных финансовых задач, включая пополнение оборотного капитала и управления ликвидностью. Кредит является очень гибким финансовым инструментом, так как заёмщик может договориться со своим банком-партнёром касательно требуемых параметров.

Рассмотрим основные структурные элементы двустороннего банковского кредита на следующем примере:

- 1) Тип кредита: двусторонний.
- 2) Кредитор: банк-партнёр компании.
- 3) Объём кредита: до 2,0 млрд руб.
- 4) Валюта кредита: в основном – рубли, долл. США, евро.
- 5) Цель кредита: пополнение оборотного капитала, управление ликвидностью.
- 6) Срок кредита: краткосрочный (1–2 года).
- 7) График погашения: одним платежом в конце срока кредита.
- 8) Процентный период: 1/3/6 месяцев.
- 9) Процентная ставка: фиксированная.
- 10) Финансовые ковенанты:
 - (а) ограничение на привлечение нового долга;
 - (б) поддержание кредитных рейтингов не ниже соответствующих уровней.

Двусторонний кредит привлекается заёмщиком в рамках открытых лимитов



Список открытых банковских лимитов

Корпорация	Срок лимита, лет	Валюта лимита	Объём лимита, млрд руб.	Текущий уровень использования лимита, млрд руб.	Неиспользуемый остаток лимита, млрд руб.
Банк 1	1,00	рубли	0,50	0,50	0,00
Банк 2	2,00	рубли	1,00	0,80	0,20
Банк 3	1,00	евро	0,50	0,35	0,15
Банк 4	0,50	долл. США	0,75	0,75	0,00
Банк 5	1,50	рубли	1,25	1,00	0,25

у своих банков-партнёров. При этом параметры данных кредитов могут быть различными, что позволяет оперативно решать задачи финансового менеджмента.

Одним из ключевых элементов управления ликвидностью для лизинговой компании является список открытых лимитов банков-партнёров. Данный документ содержит всю необходимую информацию по действующим кредитным линиям. Пример списка открытых лимитов приведён выше в табл. 1.

При привлечении двустороннего кредита к заёмщику применяются минимальные требования по предоставлению информации, включающие финансовую отчётность и ряд юридических документов, необходимых банку-партнёру.

Процесс привлечения двустороннего кредита не является сложным, так как не требует вовлечения юридических консультантов (для каждой сделки используется типовая кредитный договор банка-партнёра). Срок привлечения кредита составляет 1–2 недели.

Приведём практический пример. В 2017 г. Сбербанк открыл кредитную линию объёмом 10 млрд руб. для лизинговой компании «Европлан». Срок кредитной линии составил четыре года. Денежные средства предназначались для финансирования лизинговых проектов, а также для рефинансирования облигационных выпусков и прочих банковских кредитов.

3. ИНСТРУМЕНТАРИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ БАНКОВ РАЗВИТИЯ

Следует также отметить, что важным источником финансирования для лизинговых компаний являются крупнейшие банки

развития, участником которых является Российская Федерация: Евразийский банк развития (ЕАБР), Международный инвестиционный банк (МИБ) и Международный банк экономического сотрудничества (МБЭС).

ЕАБР предоставляет услуги по финансовому и операционному лизингу, финансирует приобретение лизинговыми компаниями предметов лизинга, включая транспортную технику, из стран-участниц Банка для последующей передачи в лизинг.

МИБ финансирует проведение операций по передаче в лизинг различных видов техники контрагентам, зарегистрированным на территории своих стран-участниц. Одним из основных направлений деятельности является лизинг транспортных средств, а также содействие продвижению транспортной техники, произведённой на территории стран – членов МИБ, в других странах.

Помимо лизинговых операций, рассматриваемые международные банки развития напрямую финансируют крупнейшие лизинговые компании. Формат подобного финансирования предполагает заключение соглашения о сотрудничестве, в рамках которого международные банки развития и лизинговые компании участвуют в финансировании и проведении операций по передаче в лизинг транспортной техники контрагентам, зарегистрированным на территории стран-участниц банков, а также на территории третьих стран.

В рамках данных соглашений предоставляются кредитные линии для финансирования и рефинансирования покупки и передачи в лизинг транспортных средств, произведённых в странах-участницах данных банков. При этом финансирование предоставляется в иностранной валюте,

включая доллары США, евро, а также валюты стран-участниц. Также возможно открытие кредитных линий в рублях для приобретения лизинговыми компаниями транспортных средств, произведённых на территории России.

Приведём пример основных параметров финансирования:

1) Тип кредита: возобновляемая кредитная линия.

2) Кредитор: международный банк развития.

3) Объём кредита: от 1 до 8 млрд руб.

4) Валюта кредита: в основном — рубли, долл. США, евро.

5) Цель кредита: приобретение транспортных средств.

6) Срок кредита: долгосрочный (5–7 лет).

7) График погашения: амортизационные выплаты (ежеквартальные, ежемесячные, полугодовые).

8) Процентный период: 1/3/6 месяцев.

9) Процентная ставка: фиксированная.

10) Финансовые ковенанты:

(а) целевое использование средств;

(б) поддержание кредитных рейтингов не ниже соответствующих уровней.

К транспортным средствам, которые финансируют международные банки развития, относятся: самолёты, грузовая техника, пассажирский автотранспорт, специализированные суда, а также оборудование для развития портовой инфраструктуры. Результатом подобных сделок является не только развитие транспортных отраслей стран-участниц, лизинговых и транспортных компаний, но и более динамичные внешнеторговые связи между странами-участницами в сфере транспорта.

В ноябре 2016 г. Международный инвестиционный банк и Государственная транспортная лизинговая компания подписали соглашение о предоставлении кредитной линии в размере 33 млн долл. США на срок до 7 лет. Денежные средства направлены на финансирование и рефинансирование покупки и передачи в лизинг 11 воздушных судов чешского производства. В 2018 году между сторонами был заключён договор кредитования с лимитом в 75 млн евро с целью приобретения и передачи в лизинг воздушных судов производства АО «Уральский завод граж-

данской авиации», вертолётов производства «Вертолёт России» и крупнотоннажной техники марки «БелАЗ». В августе 2019 г. было подписано дополнительное соглашение, предусматривающее увеличение лимита кредитования до 90 млн евро, с направлением кредитных средств на реализацию программы пополнения парка воздушных судов компании.

4. СИНДИЦИРОВАННЫЙ КРЕДИТ ОТ ПУЛА БАНКОВ

Синдицированный кредит предоставляется заёмщику двумя или более банками. При реализации сделки синдицированного кредитования компания назначает несколько организаторов транзакции.

Приведём ключевые преимущества рынка синдицированного кредитования:

(а) возможность привлечения финансирования оптимальной структуры;

(б) доступ к стабильному источнику ликвидности в рублях и иностранной валюте от ведущих банков;

(в) эффективный процесс реализации сделки;

(г) разработанная стандартная документация по российскому праву;

(д) оптимизация административной и операционной нагрузки на заёмщика при обслуживании кредита, так как все платежи и обмен информацией осуществляются через агента по кредиту.

Приведём пример ключевых финансовых параметров синдицированных кредитов:

1) Тип кредита: синдицированный.

2) Кредиторы: ведущие российские банки.

3) Объём кредита: от 5 до 10 млрд руб.

4) Валюта кредита: рубли, долл. США, евро (возможно структурирование сделки, состоящей из нескольких траншей, например: транш в рублях и транш в иностранной валюте).

5) Цель кредита: общекорпоративные цели, включая рефинансирование текущих долговых обязательств, финансирование инвестиционной программы.

6) Срок кредита: среднесрочный (от 3 до 5 лет).

7) График погашения: одним платежом в конце срока кредита, для некоторых сделок возможны амортизационные выплаты



Финансовые и информационные материалы для привлечения синдицированного кредита

Документ	Этап предоставления	Регулярность предоставления	Краткое описание
Финансовая отчётность	На всех этапах сделки	Ежеквартально	Отчётность предоставляется в соответствии с российскими стандартами бухгалтерского учёта, а также консолидированная отчётность согласно международным стандартам.
Кредитный портфель	При реализации сделки и при обслуживании кредита	Ежегодно	Содержит данные о структуре долга заёмщика (включая следующую информацию по каждому из долговых инструментов: тип, объём, валюта, дата выдачи, дата погашения, процентная ставка, обеспечение, источник финансирования).
Финансовая модель	При реализации сделки и при обслуживании кредита	Ежегодно	Срок кредита плюс 1–2 года. Модель должна содержать основные блоки, необходимые для банков (предположения, отчёт о прибылях и убытках, баланс, отчёт о движении денежных средств).
Информационный меморандум	При реализации сделки	Документ предоставляется один раз	Ключевой документ сделки, содержащий основные условия кредита, график реализации, описание бизнеса и финансов компании.
Аналитический обзор лизингового рынка	При реализации сделки	Документ предоставляется один раз	Описание динамики и прогнозов объёмов и цен, а также конкуренции на рынках, на которых работает заёмщик.

(ежеквартальные, ежемесячные, полугодовые).

8) Процентный период: 1/3/6 месяцев.

9) Процентная ставка: фиксированная (в основном) или плавающая (с установлением базовой ставки: MosPrime для рублей, Libor для долл. США, Euribor для евро).

10) Финансовые ковенанты:

(а) коэффициент отношения чистого долга к показателю EBITDA;

(б) коэффициент отношения показателя EBITDA к процентным выплатам.

Для привлечения синдицированного кредита от заёмщика требуется подготовка и предоставление комплекта финансовых и информационных материалов, приведённых в табл. 2.

Процесс привлечения синдицированного кредита является довольно сложным и включает следующие основные этапы:

- Структурирование кредита. На данном этапе заёмщик определяет основные финансовые параметры сделки, включая объём, валюту и срок кредита.

- Назначение банков-организаторов и юридических консультантов сделки.

- Процесс синдикации на рынке, во время которого банки-кредиторы изучают предоставленные заёмщиком информационные и финансовые материалы и принимают решение касательно участия в сделке.

- Подготовка документации. Над подготовкой кредитного договора и других документов работает независимый юридический консультант. Срок работы над документацией зависит от сложности сделки и количества итераций документации, во время которых собираются комментарии банков-кредиторов.

- Подписание сделки и выдача денежных средств после выполнения заёмщиком всех необходимых предварительных условий.

Весь процесс привлечения синдицированного кредита занимает, как правило, от 1,5 до 2 месяцев.

В июне 2019 г. «Альфа-Лизинг», одна из ведущих лизинговых компаний России, привлекла синдицированный кредит объёмом 7 млрд рублей. Первоначальный объём кредита был установлен на уровне 5 млрд рублей, но сделка вызвала существенный интерес на рынке, результатом чего стало увеличение общего объёма кредита на 2 млрд руб. Средства предоставлены на 3 года на развитие бизнеса компании.

5. РАЗМЕЩЕНИЕ РУБЛЁВЫХ ОБЛИГАЦИЙ НА РЫНКЕ КАПИТАЛА

Рынок облигаций является важным источником финансирования для лизинговых компаний. Особую роль при успешном размещении выпуска играет выстроенный

процесс маркетинга в отношении инвесторов. Для размещения облигаций компания назначает несколько банков менеджерами сделки. Важнейшей обязанностью банков-менеджеров является общение с потенциальными инвесторами с целью наиболее выгодного размещения облигаций.

Ключевые параметры примера облигационного выпуска включают:

- 1) Тип финансирования: облигации.
- 2) Инвесторы: крупнейшие банки и институциональные инвесторы.
- 3) Объём выпуска: более 10 млрд руб.
- 4) Валюта кредита: рубли.
- 5) Цель кредита: долгосрочное финансирование (приобретение транспортных средств, сделки по слияниям и поглощениям, развитие бизнеса).
- 6) Срок облигаций: более 5 лет.
- 7) График погашения: одним платежом в конце срока обращения.
- 8) Периодичность выплаты купона: 6 месяцев.
- 9) Процентная ставка: фиксированная.
- 10) Финансовые ковенанты:
 - (а) ограничения на привлечение нового долга;
 - (б) ограничения на выплаты дивидендов.

Процесс размещения выпуска облигаций является более сложным, трудоёмким и затратным, чем привлечение синдицированного кредита. Это связано с тем, что для размещения облигаций, как правило, требуются наличие кредитного рейтинга эмитента от рейтинговых агентств, проведение банками-менеджерами выпуска, работа с широкой базой институциональных инвесторов, прохождение процедуры листинга на бирже.

К ключевым этапам сделки относятся:

- *Получение (или подтверждение) кредитного рейтинга.* Процесс получения рейтинга включает встречи топ-менеджмента компании с представителями рейтинговых агентств и подготовку полного информационного пакета про бизнес и финансы компании. Как правило, данным процессом руководит один из банков-менеджеров выпуска.

- *Проведение процедуры комплексной проверки.* Для реализации данного этапа проводится серьёзная подготовка со стороны компании, юридических консультан-

тов и банков. Результаты комплексной проверки описываются в проспекте облигаций. При этом основное внимание уделяется детальному анализу рисков, которые принимают на себя инвесторы.

- *Роуд-шоу.* При проведении роуд-шоу во время встреч с инвесторами с подготовленной презентацией выступают представители компании и банков-менеджеров. Основным разделом презентации являются «ключевые факторы инвестиционной привлекательности».

- *Размещение.* На финальном этапе сделки определяются итоговый состав инвесторов из книги заявок, процентная ставка и затем начинается торговля облигациями на рынке.

Процесс подготовки и размещения облигаций, в зависимости от объёма выпуска и базы инвесторов, может занимать от 2 до 3 месяцев.

В июне 2019 г. «РЕСО-Лизинг» завершил размещение облигаций объёмом пять млрд руб. Срок обращения облигаций – два года. Ставка купона составила 9,3 % годовых. Во время размещения выпуска спрос более 50 инвесторов (банки, управляющие компании, страховые компании, частные инвесторы) составил 13,7 млрд руб.

6. СРАВНЕНИЕ ДОЛГОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Основываясь на приведённых структурных и транзакционных параметрах двустороннего кредита, синдицированного кредита и выпуска облигаций, проведём сравнительный анализ данных инструментов:

- 1) Структура: синдицированный кредит является более гибким инструментом, который можно структурировать под конкретную финансовую задачу (включая объём, срок, валюту и цели сделки). Облигации, в силу специфики рынка, имеют более жёсткую структуру.

- 2) Публичность: облигации являются «более публичным» инструментом, чем синдицированные кредиты. Это связано с тем, что для листинга выпуска облигаций на бирже необходимо соответствующее требованиям регулятора раскрытие информации.

- 3) Рейтинг: для синдицированных кредитов наличие рейтинга является положительным, но необязательным фактором успешной сделки. Для размещения облига-



Сравнительный анализ долговых инструментов

Параметры	Двусторонний кредит	Синдицированный кредит	Выпуск облигаций
Объём	Ограниченный объём вследствие банковских лимитов на одного заёмщика	Существенные объёмы финансирования за счёт участия в сделке нескольких банков	Крупнейший источник финансирования за счёт средств инвесторов
Срок	Краткосрочное финансирование, 1–2 года	Среднесрочное финансирование, 3–5 лет	Долгосрочное финансирование, более 5 лет
Валюта	Рубли, доллары США, евро	Рубли и/или иностранная валюта (несколько траншей, номинированных в разных валютах)	Рубли
Цели финансирования	Пополнение оборотного капитала, управление ликвидностью	Рефинансирование кредитного портфеля, инвестиционное финансирование	Капитальные затраты, сделки по слияниям и поглощениям, развитие бизнеса
Раскрытие информации	Финансовая отчётность, юридические документы	Кредитный портфель, финансовая модель, обзор операционной деятельности, отчёты независимых консультантов	Полное раскрытие информации, включая проспект ценных бумаг
Кредитный рейтинг	Не требуется	Не требуется	Требуется
Участники сделки	Заёмщик, банк	Заёмщик, банки-организаторы, банки-кредиторы, юридические консультанты	Эмитент, банки-менеджеры выпуска, инвесторы, юридические консультанты, регуляторы
График реализации	1–2 недели	1,5–2 месяца	2–3 месяца

Таблица 4

Пример долгового финансирования лизинговой компании

Долговой инструмент	Объём, млрд руб.	Валюта	Срок до погашения, лет	График погашения	Цель финансирования
Двусторонний кредит 1	0,50	Долл. США	0,70	Одним платежом	Оборотный капитал
Синдицированный кредит 1	1,50	Рубли	1,65	Амортизируемый	Рефинансирование
Выпуск облигаций 1	5,00	Рубли	3,30	Одним платежом	Капитальные затраты
Двусторонний кредит 2	0,75	Рубли	1,80	Одним платежом	Управление ликвидностью
Синдицированный кредит 2	3,00	Долл. США и евро	3,50	Амортизируемый	Инвестиционная программа
Выпуск облигаций 2	10,00	Рубли	4,75	Одним платежом	Капитальные затраты

ций кредитный рейтинг соответствующего уровня является необходимым условием участия институциональных инвесторов.

4) Инвесторы: база инвесторов у рассматриваемых инструментов существенно различается. Если в сделках синдицированного кредитования деньги предоставляют, как правило, коммерческие банки,

то в облигации инвестируют также страховые компании, пенсионные и инвестиционные фонды.

5) Реализация сделки: размещение облигаций является более сложным процессом, так как включает большее число участников (аудиторы, регуляторы, биржи). Поэтому финансовым топ-менедже-

рам следует быть готовыми к более высоким, по сравнению с синдицированными кредитами, транзакционным издержкам.

В табл. 3 приведено сравнение ключевых структурных элементов двусторонних кредитов, синдицированных кредитов и облигационных выпусков.

При этом у данных инструментов есть ряд схожих транзакционных параметров. Для долговых сделок характерны следующие элементы:

- (а) подготовка корпорации к привлечению финансирования;
- (б) определение участников сделки;
- (в) процесс синдикации;
- (г) работа над юридической документацией;
- (д) закрытие сделки и перечисление денежных средств.

Компании необходимо внимательно подойти к назначению организаторов кредита и менеджеров облигационного выпуска. Банки, назначаемые на данные роли, должны иметь существенный опыт работы на рынках капитала, доступ к инвесторам и детальное знание заёмщика и отрасли.

Для каждой сделки составляется чёткий график с указанием основных этапов и ответственных за их реализацию сторон. Несмотря на то, что данный график может корректироваться по мере необходимости, для облигаций (в силу ряда юридических и регулятивных причин) он является более «жёстким», чем для кредитов.

Одним из важнейших элементов сделки является подготовка юридической документации. Над полным пакетом документов сделки работает юридический консультант, назначаемый из числа крупнейших юридических фирм. Срок работы над документацией зависит от количества документов в сделке и их сложности.

Ключевым фактором успеха сделки является выстраивание оптимальных взаимоотношений с пулом кредиторов и институциональных инвесторов. Здесь корпорации и банкам-организаторам/менеджерам необходимо выбрать верную маркетинговую стратегию в отношении кредитного и отраслевого риска заёмщика для получения оптимальной стоимости фондирования. В табл. 4 приведён пример долгового финансирования лизинговой компании, построенного с учётом этих факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кредиты и облигации являются ключевыми инструментами корпоративного финансирования. При этом для ведущих корпораций оптимальный выбор между ними заключается в комбинированном использовании долговых инструментов для решения финансовых задач.

Также важным является выбор управленческих инструментов, с помощью которых топ-менеджмент корпорации может отслеживать результативность привлечения финансирования. К таким инструментам относятся: SWOT-анализ долговых инструментов, график привлечения фондирования, бенчмаркинг (анализ итогов привлечения финансирования и сравнения с конкурентами), управление портфелем финансовых ресурсов корпорации и мониторинг рынков капитала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pettit, J. Strategic corporate finance: applications in valuation and capital structure. Wiley, 2011, 304 p.
2. Baker, H. K., Martin, G. S. Capital structure and corporate financing decisions: theory, evidence, and practice. Wiley, 2011, 504 p.
3. Yan, A. Leasing and debt financing: substitutes or complements? *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 2009, Vol. 41, No. 3, pp. 709–731. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002210900002593>.
4. Тарасов А. А. Финансирование транспортных компаний синдицированными кредитами // *Мир транспорта*. — 2017. — № 3. — С. 122–131.
5. Choudhry, M. Corporate bonds and structured financial products. Butterworth–Heinemann, 2004, 416 p.
6. Hommel, U., Fabich, M., Schellenberg, E., Firnkorn, L. The strategic CFO: creating value in a dynamic market environment. Springer, 2011, 316 p.
7. Rhodes, T. Encyclopedia of debt finance. Euromoney Institutional Investor, 2012, 276 p.
8. Boobyer, C. Leasing and asset finance: the comprehensive guide for practitioners. Euromoney Books, 2003, 479 p.
9. Strumeyer, G., Swamy, S. The capital markets: evolution of the financial ecosystem. Wiley, 2017, 648 p.
10. Liaw, T. The Business of investment banking: a comprehensive overview. Wiley, 2011, 384 p.
11. Eisfeldt, A., Rampini, A. Leasing, ability to repossess, and debt capacity. *The Review of Financial Studies*, Vol. 22, No. 4, pp. 1621–1657. DOI: <http://dx.doi.org/hhn026>.
12. Тарасов А. А. Роль топ-менеджера в привлечении международного финансирования // *Управление*. — 2018. — № 1. — С. 20–24.
13. Stopford, M. Maritime economics. Routledge, 2009, 840 p.
14. Profillidis, P. Railway management and engineering. Routledge, 2016, 552 p.
15. Morrell, P. Airline finance. Routledge, 2013, 328 p.





Debt Instruments of Transport Leasing Companies Funding



Tarasov, Alexey A., Ph.D. (Economics), Executive MBA, expert in corporate finance, Moscow, Russia.*

Alexey A. TARASOV

ABSTRACT

The objective of the study is to analyze the whole range of issues related to attracting corporate financing in the debt capital market, including a description of structural features of financing leasing companies, such as the currency of financing, the use of financial instruments with a fixed interest rate, the need for matching assets and liabilities of the company, in terms of urgency.

The article discusses the debt strategies of Russian leasing companies specializing in vehicles leasing. The organization of attracting funding by transport leasing companies is important for development of the entire transport industry in Russia. Bilateral bank loans, instruments of international development banks, syndicated loans and ruble bond issues

are analyzed together with structural elements, investment and transactional features. Each financial instrument is followed by an example of implementation of a transaction. A comparison of the main financial instruments is followed by identification of the main advantages and disadvantages of their use for corporate financing.

The methods used in the article are based on a structural approach to financing, which in turn is based on the correspondence of the financial instruments used and the goals for using cash (including replenishment of working capital, refinancing, capital costs).

The main conclusion of the article is that for leasing companies the optimal financial solution is to create a capital structure by combining loans and bonds.

***Keywords:** transport, funding of transport leasing companies, vehicle leasing, loans, bonds, international development banks.*

*Information about the author:

Tarasov, Alexey A. – Ph.D. (Economics), Executive MBA, expert in corporate finance, Moscow, Russia, alexey.tarasov@outlook.com.

Article received 25.05.2019, accepted 02.10.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 112.

Background.

Transport companies are active users of leasing services. Leasing deals provide an opportunity to increase the fleet of vehicles without significant one-time investments. During a leasing operation, the leasing company purchases vehicles from the manufacturer and transfers them to the transport company. This is followed by further repurchase and complete transfer of ownership of the leased asset. Using leasing tools, transport companies achieve optimization of short-term working capital and long-term investment costs.

Globally, vehicle leasing is one of the key elements of the financial market. Thus, the total market for aircraft leasing is estimated at more than \$200 billion. Some recent transactions in the corporate control market can be quoted as follow. In March 2016, it was announced that the largest Japanese banking and financial corporation, Mitsubishi UFJ Financial Group, reached an agreement regarding acquisition of an aviation finance business from the German DZ Bank. This transaction is part of the strategy of the international business development group to finance transport assets. As a result of the agreement, MUFG Bank and BOT leasing company receive a portfolio of financial aviation assets, including credit and leasing obligations, totaling \$6,4 billion.

Another major deal of 2016 also related to Asian investors, was the sale of Avolon Holdings for \$10 billion by the American CIT Group. The transaction was financed by a combination of cash, equity, and new debt in the amount of \$8,5 billion. As a result of the transaction, Avolon Holdings fleet will comprise more than 900 aircraft. In August 2019, the largest industrial conglomerate, General Electric, sold \$3,6 billion portfolio of assets related to aviation leasing. The buyer of the aviation finance business was Apollo Global Management, a leading private equity corporation, while its loan portfolio was acquired by the investment company Athene Holding.

The vehicles that leasing companies offer their customers include:

- passenger transport, including city and intercity buses, trolleybuses, trams;
- special equipment, for example, automotive equipment for maintenance and road construction (bulldozers, excavators, rollers), as well as machinery for public utilities (harvesting machines);
- cargo and commercial vehicles;

- railway transport, including gondola wagons, tanks, box wagons, platforms, grain carriers;
- sea /river cargo and passenger ships, tankers;
- air transport, including regional and long-haul aircraft, helicopters;
- specialized equipment for development of transport infrastructure.

Given that leasing plays an important role in development of the Russian economy, several industry support programs are in place in Russia. For example, the state program of preferential leasing with the support of the Ministry of Industry and Trade allows to obtain favorable conditions when leasing a new light commercial vehicle.

Due to further development of the vehicle leasing market, the following strategic goals can be achieved:

- (a) development of the transport industry in Russia, including development of transport infrastructure;
- (b) providing support to Russian vehicle manufacturers;
- (c) companies providing transport services get the opportunity to use modern transport equipment without distracting significant financial resources from operating activities.

Thus, attracting financing by transport leasing companies is important for development of the entire transport industry in Russia.

The main objective of the article is to consider the entire set of debt instruments available to finance development of Russian leasing companies specializing in the transport industry.

From the point of view of the methodology used in the article, we single out the structural approach to solving financial problems. In the framework of this approach, the main parameters of the financing attracted by the corporation are immediately related to the goals that are achieved with these funds.

1. Features of financing transport leasing companies

Attracting financing is one of the main tasks of financial top managers of Russian leasing companies. This issue is important from the point of view of liquidity management, investment, business development [1, p. 97]. In the Russian vehicle leasing market, the company's access to financing is an important competitive advantage. The capital structure of the corporation is also one of the key tools for creating shareholder value [2, p. 41].



The main structural features of corporate finance of leasing companies include:

1) Strategic importance of the capital structure for leasing companies, in terms of optimizing financial costs, maintaining competitive advantages, and investing in the purchase of vehicles [3, p. 709].

2) Attraction of debt financing mainly in rubles. But at the same time, including cases of purchase of leased items in foreign currency, companies may need financing in US dollars, Euros, and other currencies [4, p. 123].

3) Use of fixed rate debt instruments to minimize interest rate risks arising from floating rates. For risk management purposes, swaps and derivative financial instruments are also used [5, p. 195].

4) The need for matching assets and liabilities in terms of urgency. For this, leasing companies attract financing with different maturities so that the average term of obligations corresponds to the average term of assets [6, p. 171].

5) The structure of debt obligations implies the absence of depreciation when paying off debt: loans and bonds are usually paid in a single payment on the maturity date [7, p. 54].

Leasing companies specializing in vehicles attract financing for various purposes [8, p. 343]. Here are the main ones:

- Short-term financing: replenishment of working capital and creation of a reserve of liquidity, as well as bank bridge loans attracted before placement of bond issues on capital markets [9, p. 157].

- Medium-term financing: corporate goals, including refinancing current debt to increase the average loan portfolio, attract funding at more favorable rates, diversify the investor base [10, p. 141].

- Long-term financing: financing of an investment program, including capital costs, mergers and acquisitions, business development projects [11, p. 1621].

This article discusses the key debt instruments that Russian leasing companies use:

1) A bilateral bank loan issued by a partner bank to a company.

2) Toolkit of international development banks with participation of the Russian Federation.

3) A syndicated loan in which several banks act as lenders.

4) Placing the issuance of ruble bonds on the Russian capital market.

The use of these financial instruments, including their various combinations, allows the leasing company to solve the entire set of corporate financing tasks. At the same time, it is important for a top manager to understand which instruments are better to use, in terms of:

(a) current stage of development of the company;

(b) corporate strategy;

(c) financing goals;

(d) actions of competitors;

(e) available funding sources.

Thus, when attracting financing, it is necessary not only to conduct financial calculations, but also to carry out a comparative analysis of the debt instruments used [12, p. 21].

We would like to draw attention to such an important aspect of financing as industry specifics. Features of the use of leasing solutions in such key segments of the transport industry, such as maritime transport, railways, and aviation, are considered in [13, p. 307; 14, p. 61; 15, p. 239].

Bilateral bank loan is the base product for the leasing industry. This type of financing is used by borrowers to solve short-term and operating tasks. Money is raised from one of the partner banks of the company within the existing credit limits. In this case, it is possible to carry out a transaction in a fairly short time.

Leading leasing companies can have international development banks, whose shareholders include the Russian Federation, as strategic partners. The product line of these banks contains leasing support tools, as well as credit lines for transport leasing companies.

An important source of raising funds for borrowers from the leasing industry is the syndicated lending market. A syndicated loan is organized for the company by several banks through syndication among a wide base of lenders. Under the syndicated loan agreement, it is possible to provide a substantial amount of funds exceeding normal capacity of a bilateral bank loan.

By placing a bond issue, the borrower enters the debt capital market. In this case, long-term funds are attracted from both leading banks and major institutional investors. It should be noted that the process of placement of bonds is quite complicated and requires significant costs on the part of the borrower.

When attracting corporate financing, the optimal solution for the corporation is to use several debt instruments to form a diversified portfolio.

Table 1

List of open bank limits

Corporation	Limit period, years	Limit currency	Limit volume, bln rub.	Current level of limit use, bln rub.	Non-used limit balance, bln rub.
Bank 1	1,00	rubles	0,50	0,50	0,00
Bank 2	2,00	rubles	1,00	0,80	0,20
Bank 3	1,00	Euro	0,50	0,35	0,15
Bank 4	0,50	US dollars	0,75	0,75	0,00
Bank 5	1,50	rubles	1,25	1,00	0,25

2. Bilateral bank loan

A bilateral loan is attracted by the borrower to solve short-term financial problems, including replenishment of working capital and liquidity management. A loan is a very flexible financial instrument, as the borrower can agree with his partner bank regarding the required parameters.

Let us consider the main structural elements of a bilateral bank loan using the example that follows:

- 1) Type of loan: bilateral.
- 2) Lender: partner bank of the company.
- 3) Loan amount: up to 2,0 billion rubles.
- 4) Loan currency: mainly rubles, US dollars, Euros.
- 5) Purpose of loan: replenishment of working capital, liquidity management.
- 6) Loan term: short-term (1–2 years).
- 7) Repayment schedule: single payment at the end of the loan term.
- 8) Interest period: 1/3/6 months.
- 9) Interest rate: fixed.
- 10) Financial covenants:
 - (a) restriction on raising new debt;
 - (b) maintaining credit rating not lower than set levels.

Bilateral loan is attracted by the borrower within the open limits of their partner banks. Moreover, the parameters of these loans can be different, which allows to quickly solve the problems of financial management.

One of the key elements of liquidity management for a leasing company is a list of open limits of partner banks. This document contains all the necessary information on existing credit lines. An example of a list of open limits is given in Table 1.

When attracting a bilateral loan, the borrower should respect the minimum requirements for provision of information, including financial statements and a number of legal documents required by the partner bank.

The process of attracting a bilateral loan is not complicated, as it does not require involvement

of legal advisers (a standard loan agreement of a partner bank is used for each transaction). The process of attracting a loan lasts 1–2 weeks.

Here is an example. In 2017, Sberbank opened a credit line worth 10 billion rubles for leasing company Europlan. The credit line term was 4 years. The funds are intended to finance leasing projects, as well as to refinance bond issuances and other bank loans.

3. Toolkit of international development banks

It should also be noted that leasing companies can consider as an important source of financing the largest development banks with participation of the Russian Federation: the Eurasian Development Bank (EDB), the International Investment Bank (IIB) and the International Bank for Economic Cooperation (IBEC).

EDB provides financial and operational leasing services, finances the purchase by leasing companies of leased items, including transport equipment, from the Bank's member countries for subsequent leasing.

IIB finances operations to lease various types of equipment to counterparties registered in the territory of its member countries. Main areas of activity include leasing of vehicles, as well as promotion of transport equipment manufactured in the territory of IIB member countries in other countries.

In addition to leasing operations, the considered international development banks directly finance the largest leasing companies. The format of such financing involves conclusion of a cooperation agreement, under which international development banks and leasing companies participate in financing and conduct operations to lease transport equipment to counterparties registered in the territory of member countries of banks, as well as in third countries.

Under these agreements, credit lines are provided for financing and refinancing the purchase and leasing of vehicles manufactured in the member countries of these banks. Moreover,



financing is provided in foreign currency, including US dollars, Euros, as well as the currencies of the participating countries. It is also possible to open credit lines in rubles for leasing companies to purchase vehicles manufactured in Russia.

Here is an example of main financing options:

- 1) Type of loan: revolving credit line.
- 2) Lender: International Development Bank.
- 3) Loan amount: from 1,0 to 8,0 billion rubles.
- 4) Loan currency: mainly rubles, US dollars, Euros.
- 5) Purpose of the loan: purchase of vehicles.
- 6) Loan term: long-term (5–7 years).
- 7) Repayment schedule: depreciation payments (quarterly, monthly, semi-annual).
- 8) Interest period: 1/3/6 months.
- 9) Interest rate: fixed.
- 10) Financial covenants:
 - (a) intended use of funds;
 - (b) maintaining credit rating not lower than set levels.

The vehicles financed by international development banks include airplanes, trucks, passenger vehicles, specialized vessels, as well as equipment for development of port infrastructure. Such transactions result not only in development of the transport sectors of the participating countries, leasing and transport companies, but also in establishing more dynamic foreign trade relations between the participating countries in the field of transport.

In November 2016, the State Transport Leasing Company and IIB signed an agreement to provide a credit line in the amount of \$33 million for up to 7 years. The funds were used to finance and refinance purchase and leasing of 11 Czech-made aircraft. In 2018, a credit agreement was concluded between the parties with a limit of 75 million Euros for the purpose of acquiring and leasing aircraft manufactured by JSC Ural Civil Aviation Plant, helicopters produced by Russian Helicopters and BelAZ heavy trucks. In August 2019, an additional agreement was signed, providing for an increase in the lending limit to EUR 90 million, with allocation of credit funds for implementation of the program to replenish the company's aircraft fleet.

4. Syndicated loan from a pool of banks

A syndicated loan is provided to a borrower by two or more banks. When implementing a syndicated loan transaction, the company appoints several transaction organizers.

Here are the key advantages of the syndicated lending market:

- (a) possibility of attracting optimally structured financing;
 - (b) access to a stable source of liquidity in rubles in foreign currency from leading banks;
 - (c) effective transaction process;
 - (d) developed standard documentation based on Russian law;
 - (e) optimization of the administrative and operational load on the borrower when servicing the loan since all payments and information exchange are carried out through the loan agent.
- Here is an example of key financial parameters of a syndicated loan:

- 1) Loan type: syndicated.
- 2) Lenders: leading Russian banks.
- 3) Loan amount: from 5,0 to 10,0 billion rubles
- 4) Loan currency: rubles, US dollars, Euros (it is possible to structure a transaction consisting of several tranches, for example: a tranche in rubles and a tranche in foreign currency).
- 5) Loan purpose: corporate goals, including refinancing of current debt obligations, financing of the investment program.
- 6) Loan term: medium-term (from 3 to 5 years).
- 7) Repayment schedule: single payment at the end of the loan term, for some transactions depreciation payments are possible (quarterly, monthly, semi-annual).
- 8) Interest period: 1/3/6 months.
- 9) Interest rate: fixed (mainly) or floating (with setting the base rate: MosPrime for rubles, Libor for US dollars, Euribor for Euros).
- 10) Financial covenants:
 - (a) net debt to EBITDA ratio;
 - (b) EBITDA to interest payments ratio.

To attract a syndicated loan, the borrower is required to prepare and provide a set of financial and information materials, given in Table 2.

The process of attracting a syndicated loan is quite complicated and includes the following main steps:

- Loan structuring. At this stage, the borrower determines the main financial parameters of the transaction, including volume, currency, and loan term.
- Appointment of organizing banks and legal advisers to the transaction.
- The syndication process in the market, during which the lender banks study the

Financial and information materials to attract a syndicated loan

Document	Stage of provision	Frequency of provision	Brief description
Financial statements	At all stages of the transaction	Quarterly	Reporting is provided in accordance with Russian accounting standards, as well as consolidated reporting in accordance with international standards.
Loan portfolio	When implementing a transaction and servicing a loan	Annually	It contains data on the structure of the borrower's debt (including the following information for each of the debt instruments: type, volume, currency, date of issue, repayment date, interest rate, security, source of financing).
Financial model	When implementing a transaction and servicing a loan	Annually	Loan term plus 1–2 years. The model should contain the basic blocks necessary for banks (assumptions, income statement, balance sheet, cash flow statement).
Information Memorandum	When implementing a transaction	The document is provided once	A key transaction document containing the main conditions of the loan, implementation schedule, description of the businesses and finances of the company.
Analytical review of the leasing market	When implementing a transaction	The document is provided once	A description of the dynamics and forecasts of volumes and prices, as well as competition in the markets in which the borrower operates.

information and financial materials provided by the borrower and decide on participation in the transaction.

- Development of documentation. An independent legal consultant is working on preparing a loan agreement and other documents. The term of work on the documentation depends on complexity of the transaction and the number of iterations of documentation, during which the comments of creditor banks are collected.

- Signing of the transaction and issuance of funds after the borrower has fulfilled all the necessary preconditions.

The whole process of attracting a syndicated loan lasts, as a rule, from 1,5 to 2 months.

In June 2019, Alfa Leasing, one of the leading leasing companies in Russia, attracted a syndicated loan of 7 billion rubles. The initial loan volume was set at 5 billion rubles, but the deal aroused significant interest in the market, resulting in an increase in the total loan volume by 2 billion rubles. The funds were provided for 3 years for development of the company's business.

5. Placement of ruble bonds in the capital market

The bond market is an important source of financing for leasing companies. The well-structured marketing process addressing investors plays a special role in successful placement of the issuance. To place bonds, the company appoints several banks as transaction managers. The most important duty of bank managers is to communicate with potential investors to most advantageously place bonds.

Key parameters of a sample bond issuance include:

- 1) Type of financing: bonds.
- 2) Investors: major banks and institutional investors.
- 3) Volume of issue: more than 10,0 billion rubles.
- 4) Loan currency: rubles.
- 5) Loan purpose: long-term financing (acquisition of vehicles, mergers and acquisitions, business development).
- 6) Bond term: more than 5 years.
- 7) Repayment schedule: single payment at the end of the circulation period.
- 8) Frequency of coupon payment: 6 months.
- 9) Interest rate: fixed.
- 10) Financial covenants:
 - (a) restrictions on attracting new debt;
 - (b) restrictions on dividend payments.

The process of placing a bond issue is more complex, time consuming and costly than raising a syndicated loan. Bond issuance usually requires that the issuer has a credit rating from rating agencies, that banks managing the issuance work with a wide base of institutional investors, and there are listing procedures on the exchange.

The key stages of the transaction include:

- Obtaining (or confirming) a credit rating.
- The process of obtaining a rating includes meetings of the company's top management with representatives of rating agencies and development of a complete information package about the company's businesses and finances. As a rule, one of the banks managing the issuance manages this process.



- Conducting a comprehensive verification procedure. To implement this stage, serious preparative work is being carried out by the company, legal consultants, and banks. The results of a comprehensive audit are described in the bond prospectus. At the same time, the main attention is paid to a detailed analysis of the risks that investors assume.

- Road show. During a road show at the meetings with investors, a presentation is made by representatives of the company and bank managers. The main section of the presentation is devoted to key factors of investment attractiveness.

- Placing. At the final stage of the transaction, the final composition of investors based on the order book, and the interest rate are determined. Then bond trading on the market starts.

The process of preparing and placing bonds, depending on the volume of the issue and the base of investors, can last from 2 to 3 months.

In June 2019, RESO-Leasing completed the placement of bonds in the amount of 5 billion rubles. The maturity of bonds is 2 years. The coupon rate was 9,30 % per annum. During placement of the issue, the demand of more than 50 investors (banks, management companies, insurance companies, private investors) amounted to 13,7 billion rubles.

6. Comparison of debt instruments

Based on the structural and transactional parameters of a bilateral loan, syndicated loan, and bond issuance, we will suggest a comparative analysis of these instruments:

1) Structure: a syndicated loan is a more flexible instrument that can be structured for a specific financial task (including the volume, term, currency, and purpose of the transaction). Bonds, due to the specifics of the market, have a more rigid structure.

2) Transparency and publicity: bonds are a «more public» instrument than syndicated loans, since for listing bonds at the exchange, disclosure of information corresponding to the requirements of the regulator is mandatory.

3) Rating: for syndicated loans, the presence of a rating is a positive, but optional, factor for the success of a transaction. But to place bonds, a credit rating of the appropriate level is a prerequisite for participation of institutional investors.

4) Investors: the investor base for the instruments in question varies significantly. If,

as a rule, commercial banks provide money in syndicated lending transactions, then bonds are invested also by insurance companies, pension and investment funds.

5) Implementation of the transaction: placement of bonds is a more complex process, as it involves a larger number of participants (auditors, regulators, exchanges). Therefore, financial top managers should be prepared for higher transaction costs in comparison with syndicated loans.

Table 3 provides comparison of key structural elements of bilateral loans, syndicated loans and bond issues.

Hence, these tools have several similar transactional parameters. For debt transactions, the following elements are characteristic:

(a) preparing the corporation to attract financing;

(b) identification of participants in the transaction;

(c) the process of syndication;

(d) work on legal documentation;

(e) closing of the transaction and transfer of funds.

The company must carefully approach the appointment of loan organizers and bond issue managers. Banks assigned to those roles should have significant experience of working in capital markets, access to investors and detailed knowledge of the borrower and industry.

For each transaction, a clear schedule is drawn up, indicating the main phases and the parties responsible for their implementation. Even though this schedule can be adjusted if necessary, for bonds (due to several legal and regulatory reasons) it is more «rigid» than for loans.

One of the most important elements of the transaction is preparation of legal documentation. A legal consultant appointed from among the largest law firms works on a complete package of transaction documents. The term of work on documentation depends on the number of documents in the transaction and their complexity.

A key factor in success of the transaction is building optimal relationships with the pool of lenders and institutional investors. Here, corporations and organizing banks/managers need to choose the right marketing strategy regarding credit and industry's risks of the borrower to obtain the optimal cost of funding. Table 4 describes an example of debt instruments

Table 3

Comparative analysis of debt instruments

Parameters	Bilateral loan	Syndicated loan	Bond issue
Volume	Limited volume due to bank limits per borrower	Significant amounts of financing due to participation of several banks in the transaction	The largest source of financing from investor funds
Term	Short-term financing, 1–2 years	Medium-term financing, 3–5 year	Long-term financing, more than 5 years
Currency	Rubles, US dollars, Euro	Rubles and / or foreign currency (several tranches nominated in different currencies)	Rubles
Financing purposes	Working capital replenishment, liquidity management	Loan portfolio refinancing, investment financing	Capital expenditures, mergers and acquisitions, business development
Information disclosure	Financial statements, legal documents	Loan portfolio, financial model, operational review, reports of independent consultants	Full disclosure, including prospectus
Credit rating	Not required	Not required	Required
Transaction participants	Borrower, bank	Borrower, organizing banks, creditor banks, legal consultants	Issuer, bank managers, investors, legal advisers, regulators
Implementation schedule	1–2 weeks	1,5–2,0 months	2,0–3,0 months

Table 4

An example of debt financing of a leasing company

Debt instrument	Volume, bln rub.	Currency	Maturity, years	Repayment schedule	Financing purpose
Bilateral loan 1	0,50	US dollars	0,70	Single payment	Working capital
Syndicated loan 1	1,50	Rubles	1,65	Depreciable	Refinancing
Bond issue 1	5,00	Rubles	3,30	Single payment	Capital expenditures
Bilateral loan 2	0,75	Rubles	1,80	Single payment	Liquidity management
Syndicated loan 2	3,00	US dollars and euro	3,50	Depreciable	Investment program
Bond issue 2	10,00	Rubles	4,75	Single payment	Capital expenditures

of a leasing company built considering the above factors.

Conclusion.

Loans and bonds are key corporate finance tools. Moreover, for leading corporations, the optimal choice is the combined use of debt instruments to solve financial problems.

It is also important to choose management tools with which top corporate management can track the effectiveness of raising finance. Such instruments include SWOT analysis of debt instruments, a schedule for attracting funding, benchmarking (analysis of the results of fundraising and comparison with competitors), management of the corporation's financial resources portfolio, and monitoring of capital markets.

REFERENCES

1. Pettit, J. Strategic corporate finance: applications in valuation and capital structure. Wiley, 2011, 304 p.
2. Baker, H. K., Martin, G. S. Capital structure and corporate financing decisions: theory, evidence, and practice. Wiley, 2011, 504 p.
3. Yan, A. Leasing and debt financing: substitutes or complements? *The Journal of Financial and Quantitative*

Analysis, 2009, Vol. 41, No. 3, pp. 709–731. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002210900002593>.

4. Tarasov, A. A. Financing of Companies with Syndicated Loans. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 3, pp. 122–131.

5. Choudhry, M. Corporate bonds and structured financial products. Butterworth–Heinemann, 2004, 416 p.

6. Hommel, U., Fabich, M., Schellenberg, E., Firnkorn, L. The strategic CFO: creating value in a dynamic market environment. Springer, 2011, 316 p.

7. Rhodes, T. Encyclopedia of debt finance. Euromoney Institutional Investor, 2012, 276 p.

8. Boobyer, C. Leasing and asset finance: the comprehensive guide for practitioners. Euromoney Books, 2003, 479 p.

9. Strumeyer, G., Swammy, S. The capital markets: evolution of the financial ecosystem. Wiley, 2017, 648 p.

10. Liaw, T. The Business of investment banking: a comprehensive overview. Wiley, 2011, 384 p.

11. Eisfeldt, A., Rampini, A. Leasing, ability to repossess, and debt capacity. *The Review of Financial Studies*, 2009, Vol. 22, No. 4, pp. 1621–1657. DOI: <http://dx.doi.org/hhn026>.

12. Tarasov, A. A. The role of a top manager in attracting international financing [Rol' top-menedzherov v privlechenii mezhunarodnogo finansirovaniya]. *Upravlenie*, 2018, Iss. 1, pp. 20–24.

13. Stopford, M. Maritime economics. Routledge, 2009, 840 p.

14. Profillidis, P. Railway management and engineering. Routledge, 2016, 552 p.

15. Morrell, P. Airline finance. Routledge, 2013, 328 p.





Обеспечение качества в системе транспортного обслуживания во внутренней среде железнодорожного транспорта и роль диагностических средств



Анастасия ИВАСЕНКО



Елена НЕФЕДЬЕВА

Ивасенко Анастасия Анатольевна – Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия.

Нефедьева Елена Владимировна – Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия.*

Для роста уровня клиентоориентированности необходимо улучшение качества транспортного обслуживания на транспортном рынке на основе использования современных технологий и технических средств. Целью исследования являлись описание и анализ модели взаимодействия предприятий транспортного обслуживания, базирующейся на удовлетворении взаимовыгодных потребностей и ответственности заинтересованных сторон на транспортном рынке. Для достижения поставленной цели авторами использовались общенаучные и экономические методы исследования.

Исследована система качества транспортного обслуживания внутренней среды, а также изучено понятие клиентоориентированности на железнодорожном транспорте. Была разработана модель взаимодействия бизнес-

единиц во внутренней среде транспортного обслуживания, на основе которой установлены интересы и ответственность сторон (потребителя и производителя) на примере локомотивного комплекса ОАО «РЖД».

Рассмотренная модель взаимодействия позволит повысить эффективность использования парка локомотивов, не увеличивая его модельный ряд. Также выявлено, что одним из факторов, влияющих на уровень качества транспортного обслуживания, выступает комплекс диагностических средств, обеспечивающий высокое качество перевозочного процесса, снижение непроизводительных потерь, повышение эффективности всех подразделений железнодорожного транспорта. Представлена таблица эволюции использования средств технической диагностики.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, транспортное обслуживание, качество, транспортная услуга, диагностические средства, мониторинг, локомотивный комплекс, клиентоориентированность.

*Информация об авторах:

Ивасенко Анастасия Анатольевна – старший преподаватель, аспирант кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия, mikkol2004@mail.ru.

Нефедьева Елена Владимировна – старший преподаватель, аспирант кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия, nefedev@list.ru.

Статья поступила в редакцию 18.06.2019, принята к публикации 24.09.2019.

For the English text of the article please see p. 136.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортное обслуживание заключается в обеспечении безопасного передвижения грузов и пассажиров при удовлетворении всех требований потребителей транспортного рынка. Но это только видимая часть работы железнодорожного транспорта. Есть также и внутренняя среда отрасли, где работает совместно множество структур на один результат — безопасное и бесперебойное движение поездов [1].

Многие зарубежные компании имеют положительный опыт проведения реформирования и реструктуризации железных дорог.

Так, в ходе реструктуризации железных дорог Германии были выделены самостоятельно действующие хозяйствующие субъекты, а далее в рамках железнодорожного холдинга Deutsche Bahn AG созданы акционерные компании, выполняющие грузовые перевозки, пассажирские перевозки дальних сообщений, региональные пассажирские перевозки, занимающиеся вопросами инфраструктуры и другими направлениями [2; 3]. Концепция новой организационной структуры железнодорожного транспорта построена на передаче полномочий по принятию решений и ответственности за них на уровень предприятий. Руководство холдинга DB концентрирует внимание на задачах общего руководства, координации и контроля. В настоящее время одним из важнейших факторов, обусловивших экономический успех, стало развитие проектов интермодальных транспортных систем.

В России, согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года, транспортные предприятия выдвигают на первый план клиентоориентированность как ключевую ценность любой компании, направленную на постоянное улучшение качества транспортного обслуживания потребителей и взаимовыгодное долгосрочное партнёрство между магистральными видами транспорта. Данный подход в управлении железнодорожным транспортом обеспечивает привлечение новых клиентов, трансформацию бизнес-процессов, оптимизацию регламентов взаимодействия, эффективную внутреннюю и внешнюю коммуникацию и т.д.

Исходя из этого, актуальным является рассмотрение вопросов клиентоориенти-

рованности и качества транспортного обслуживания не только в отношении внешних клиентов, но и применительно к взаимодействию внутри транспортных компаний.

Цель исследования — разработка модели взаимодействия предприятий транспортного обслуживания, в основе которой лежат удовлетворение взаимовыгодных потребностей и ответственность заинтересованных сторон на транспортном рынке. Для достижения поставленной цели авторами использовались общенаучные и экономические *методы* исследования.

1. ПОДХОДЫ К ПОНЯТИЮ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ

По мнению консультанта по маркетингу А. А. Зенкевича, «клиентоориентированность — это целенаправленные и системные действия компании, цель которых превзойти ожидания своих клиентов и сделать их счастливыми» [1, с. 4].

Авторы статьи предлагают следующее понимание этого понятия: *клиентоориентированность* — способность организации создавать условия для привлечения потока новых клиентов и сохранения лояльности постоянных клиентов за счёт удовлетворения их потребностей, обеспечивая при этом рост производительности труда и прибыли.

Если обратиться к примеру России, то в экономике железнодорожного транспорта клиентоориентированность относительно молодое понятие, и в настоящее время происходит его развитие. Применительно к ОАО «РЖД» оно основано на следующих принципах:

- «клиент всегда знает, чего хочет и в какой мере»;
- «клиент сам оценивает уровень клиентоориентированности транспортной компании»;
- качество персонала транспортной компании влияет прямо пропорционально на уровень ориентации на клиента;
- существуют внутренние и внешние клиенты компании;
- клиентоориентированность обеспечивает синергетический эффект в холдинге.

Для реализации этих принципов в ОАО «РЖД» сформированы вертикальные и горизонтальные связи в организационной



Перспективы развития локомотивного комплекса

2020 год	2025 год	2030 год
Эксплуатационная деятельность локомотивного хозяйства		
нагрузка на ось 25 тонн	нагрузка на ось 27 тонн	нагрузка на ось 30 тонн
бесколлекторные или коллекторные тяговые электродвигатели (ТЭД)	бесколлекторные ТЭД	бесколлекторные ТЭД
управление ТПС в «одно лицо»	использование АСУ в управлении ТПС машинистом-оператором	движение ТПС отслеживается и управляется оператором со стационарного рабочего места
оптимизация системы отображения информации	управление сводится к наблюдению за АСУВП и диагностикой состояния локомотива	управление сводится к наблюдению за АСУВП и диагностикой состояния локомотива
Ремонтная деятельность локомотивного хозяйства		
планово-предупредительная система ремонта ТПС	планово-предупредительная система ремонта ТПС с адаптивным подходом к ремонту отдельных узлов	обслуживание по техническому состоянию
Совместная работа эксплуатации и ремонта		
использование комплекс БЛОК-М для всех типов ТПС	интеграция системы безопасности в многофункциональную систему управления	переход единой многофункциональной системы управления и обеспечения безопасности на требования SIL 4

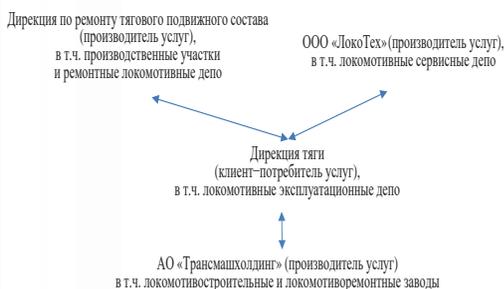


Рис. 1. Модель взаимодействия бизнес-единиц во внутренней среде транспортного обслуживания (составлена авторами).

структуре управления между бизнес-единицами, обеспечивающие получение синергетического эффекта.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ В ЛОКОМОТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ

В число важнейших структур, обеспечивающих непрерывное функционирование перевозок, во всех странах входит локомотивный комплекс.

В ОАО «РЖД» с 2010 года локомотивный комплекс реформируется: выделяются различные структурные подразделения, изменяются структура управления, взаимодействие между подразделениями, филиалами, дочерними и зависимыми обществами, разрабатываются регламенты взаимоотношений между ними.

В этой связи, основываясь на принципе деления на внешних и внутренних клиентов, рассмотрим подходы к клиентоориентированности на примере локомотивного комплекса.

В настоящее время в локомотивном комплексе отсутствует четкое разделение понятий «производитель» и «потребитель» предоставляемых услуг во внутренней среде транспортного обслуживания. Изучая научные работы ряда российских специалистов по экономике железнодорожного транспорта, можно сделать вывод, что в большинстве из них транспортное обслуживание рассматривается только в ракурсе внешней среды, исходя из предпосылки, что такие понятия, как «клиентоориентированность», «качество перевозок», «безопасность», в основном направлены на удовлетворение потребностей грузовладельцев и пассажиров. Хотя внутренняя среда играет ключевую роль в вопросах функционирования транспорта, позволяет постоянно улучшать качество работы и наращивать уровень его клиентоориентированности (см., напр., [4]). В связи с этим авторы предлагают строить, используя пример локомотивного комплекса, такую модель транспортного обслуживания внутренней среды, в которой бизнес-единицы можно разделить на две группы: клиент-потребитель и производитель услуг. На рис. 1 показана схема их взаимодействия при безусловном соблюдении стандартов, норм, корпоративных политик.

Согласно модели, предложенной авторами, производителями услуг выступают:

- дирекция по ремонту тягового подвижного состава, осуществляющая ремонт приборов безопасности;

• ООО «ЛокоТех» и его структурные подразделения — локомотивные сервисные депо производят экипировку, техническое обслуживание и ремонт тягового подвижного состава (ТПС);

• заводы по изготовлению и ремонту ТПС.

Потребителем услуги «ремонт, экипировка и обслуживание локомотива» является дирекция тяги, в частности, локомотивные эксплуатационные депо. На них возложены следующие функции:

• эксплуатация локомотива высококвалифицированными локомотивными бригадами;

• обеспечение исправного состояния ТПС [5, с. 65–67; 6, с. 206].

В связи с тем, что локомотивное хозяйство переходит на новый механизм взаимоотношений между производителями и потребителями, а также на новую систему проведения ремонта (по фактическому состоянию локомотива), то дирекция тяги становится только потребителем предоставляемых услуг. Следовательно, вновь приобретаемый ТПС находится на гарантийном обслуживании заводами и локомотивными сервисными депо, что позволяет обеспечить высокое качество изготовления и ремонта локомотивов [7].

Ввиду того, что ответственность за эксплуатацию и обслуживание ТПС закрепляется за конкретными бизнес-единицами, становится понятно, что теперь ЗАО «Трансмашхолдинг» и ООО «ЛокоТех» будут заинтересованы в совершенствовании конструкции локомотива, направленном на повышение его работоспособности, улучшение качества работы с целью снижения расходов и улучшения показателей транспортного обслуживания как во внутренней, так и внешней сфере (табл. 1).

Основные пути развития локомотивного комплекса определены в стратегических программах, предусматривающих в частности:

• обновление тягового подвижного состава (ТПС), направленное на снижение трудозатрат, энерго- и топливоёмкости в перевозочном процессе;

• строительство, обновление, дооснащение объектов ремонтной инфраструктуры [8, с. 2–5].

Перспективные задачи локомотивного хозяйства связаны с реализацией следую-

щих принципов: автоматизация, надёжность, безопасность, эффективность.

Одной из основных целей является повышение эффективности использования парка локомотивов, предусматривающее не кардинальное увеличение его модельного ряда, а унификацию моделей, единую модульную платформу на базе тележек трёх- и четырёхосных, радиальную установку колёсных пар [9, с. 25]. Всё это позволит снизить затраты на приобретение и обслуживание ТПС. При обеспечении унификации сократится время простоя ТПС в ремонте, что позволит наращивать производительность локомотива. Все эти перспективные направления отражены в проекте «Умный локомотив», разработанном и внедряемом ООО «ЛокоТех» с 2016 года [9].

3. РОЛЬ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Одним из условий успешной работы локомотивного хозяйства является наличие современного комплекса диагностических средств состояния локомотивов. На рис. 2 отражено взаимодействие диагностических средств, обеспечивающих постоянное улучшение качества работы локомотивного хозяйства.

Все показанные на рис. 2 средства, отвечающие современным требованиям, необходимо использовать комплексно при ремонте и эксплуатации ТПС. Для отслеживания работы локомотивных бригад используются приборы безопасности и диагностические средства, установленные на локомотиве. Исследуя статистику отказов ТПС, можно утверждать, что в процессе эксплуатации локомотивов допускаются нарушения режимов ведения поездов, значительно влияющие на уровень надёжности локомотива в течение его жизненного цикла.

Заложенная на стадии изготовления надёжность локомотивов реализуется в конкретных условиях эксплуатации, причём на элементы оборудования локомотивов оказывают влияние как параметры климатических и географических условий, так и показатели режимов работы локомотивной бригады, состояние устройств энергоснабжения и путевого комплекса [10].



Диагностический комплекс локомотивного хозяйства (составлена авторами)

Наименование	Год выпуска	Применение
Приборы безопасности		
АЛС	1937	Автоматическая локомотивная сигнализация
САУТ	1985	Автоматическая система управления тормозами
КЛУБ	1994	Комплексное локомотивное устройство безопасности для контроля за действиями машиниста
УСТА	1996	Управление тяговыми двигателями тепловоза
Средства диагностирования, установленные на локомотиве		
МСУ-ТП	1989	Управление и регулирование режимами работы основного и вспомогательного оборудования локомотива
АСУБ Локомотив	1998	Управление локомотивом и сбор данных о состоянии локомотива на сменной кассете
Система FIRE	2003	Контроль технического состояния ТПС в реальном времени, анализ информации и разработка рекомендации по устранению рекомендации в оперативном режиме
ГИД Урал	2008	Повышение уровня эксплуатационной работы (контроль дислокации и состояния локомотивов; учёт и анализ выполнения графика, участковой скорости, веса и длины грузовых поездов и их простоя на технических станциях)
Локомотивный комплекс КВАРЦ	2013	Предназначен для автоматической регистрации и записи на съёмный носитель действий локомотивной бригады, совершаемых в кабине локомотива при выполнении технологических процессов, определённых действующими в ОАО «РЖД» нормативными документами и регламентами, и при возникновении нештатных ситуаций с последующим их автоматизированным анализом [13]
Умный локомотив	2016	Управление локомотивом и использование средств диагностики, взаимодействие с приборами безопасности. Позволяет осуществлять ремонт по фактическому состоянию локомотива
Электронный паспорт локомотива	2018	Единое место хранения всей информации о локомотивах, о результатах испытаний, диагностики, дефектоскопии, отказах и ремонтах оборудования для всех предприятий, осуществляющих изготовление, ремонт и эксплуатацию локомотивов
Дефектоскопия в ремонтных цехах		
Виды неразрушающего контроля	С 1950-е и в наст. время	Вихретоковый, магнитопорошковый, ультразвуковой методы и др.
Диагностические средства в ремонтных цехах		
Испытательные стенды, станции	С 1970-е и в наст. время	Виброакустический метод, реостатные испытания
АСУ Сетевой график	2018	Мониторинг технического состояния локомотива



Рис. 2. Диагностические средства для обеспечения исправности локомотива.

Нарушения режимов эксплуатации локомотивов существенно влияют на работоспособность локомотива, приводят к преждевременному износу узлов и оборудования, возникновению риска отказов, увеличению времени нахождения локомотивов в ремонте, дополнительному отвлечению ремонтного персонала на сверхцикловые работы, всё это приводит к сокращению производительности локомотива и увеличению расходов холдинга «РЖД» [11].

Использование средств технического диагностирования решает задачи:

- установления технического состояния локомотива;
- определения местоположения отказа в локомотиве;
- прогноз (форкастинг) работоспособности [12, с. 350–355].

Диагностические средства эволюционируют совместно с локомотивами. В таблице 2 приведены примеры эволюции основных блоков диагностических средств.

В ООО «ЛокоТех» в последние годы проведена работа по внедрению новых средств диагностики и мониторинга за состоянием ТПС, к этой работе подключены заводы по строительству локомотивов. Уже на стадии производства внедряются новые подходы к мониторингу и управлению локомотивом, что способствует снижению трудозатрат как машинистов, так и ремонтного персонала, улучшению качества работы всех структур локомотивного комплекса.

Применяя средства технической диагностики, обеспечивается синергетический эффект, который будет учитывать сокращение трудозатрат и материалов при ремонте, простоев на неплановых видах ремонта, увеличение производительности локомотива и производительности труда, объемов перевозок, уровня клиентоориентированности во всех сферах транспортного обслуживания [13; 15].

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Построение схемы взаимодействия групп производителей и получателей услуг внутренней среды на примере локомотивного комплекса ОАО «РЖД» позволило провести анализ выявленных связей и сделать вывод о том, что формируемая на практике модель позволит повысить эффективность использования парка локомотивов, не увеличивая их модельный ряд. Функционирование данной модели должно сопровождаться повышением эффективности внедрения и использования комплекса диагностических средств, обеспечивающего высокое качество перевозочного процесса, снижение непроизводительных потерь, повышение эффективности всех взаимодействующих подразделений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкевич А. А. Секреты клиентоориентированности: руководство по приобретению преданных клиентов. — М., 2013. — 42 с.
2. Горбунов А. А. Опыт политики развития зарубежных железнодорожных транспортных коммуникаций для современной России. — М.: МИИТ, 2008. — 160 с.
3. Ratcliffe, B. Economy and efficiency in transport and distribution. L.: Kogan Page, 1987, Vol. IV, 170 p.
4. Потехина А. М. Оценка влияния внутренней среды железнодорожных организаций на реализацию стратегии клиентоориентированности // Дисс... канд. эк. наук. — ИрГУПС, 2015. — 168 с. [Электронный ресурс] http://www.stu.ru/science/theses_show.php?theses_id=27. Доступ 18.06.2019.
5. Нефедьева Е. В. Качество услуг локомотивного сервисного депо // Наука сегодня: реальность и перспективы: материалы международной научно-практ. конференции, Вологда, 27 февраля 2019 г. — Вологда: ООО «Маркер», 2019. — С. 65–67.
6. Нефедьева Е. В., Шалтина О. А. Оптимизация планово-предупредительной системы ремонта тягового подвижного состава: Сб. статей VI Международной научно-практ. конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона», 30.09–03.10.15 г., Иркутск: в 2 т., Т. 2. — Иркутск: ИрГУПС, 2015. — С. 205–210.
7. Силичева Г. В., Пыжьянов Н. И. Совершенствование системы взаимодействия локомотиворемонтных предприятий и дирекции тяги // «Экономика и предпринимательство». — 2019. — № 1. — С. 1029–1032.
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.09.2018 г. № 2101-р «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года».
9. Михальчук Н. Л. Перспективные задачи организации тяги поездов в ОАО «РЖД» // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: Материалы 3 международной научно-практ. конференции. — М.: ООО «ЛокоТех», 2018. — 448 с. — С. 22–32.
10. Ивасенко А. А. Реорганизация системы управления путевым комплексом в условиях реформирования отрасли // Экономика и предпринимательство. — 2016. — № 3–2. — С. 192–194.
11. Ивасенко А. А. Корпоративное управление как способ повышения эффективности производства // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы 7 международной научно-практ. конференции. Том 2. — Иркутск: ИрГУПС, 2014. — С. 229–233.
12. Хромов И. Ю., Баркунова А. А., Никишкина Е. А. Мониторинг режимов эксплуатации локомотивов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: Материалы 3 международной научно-практической конференции. — М.: ООО «ЛокоТех», 2018 г. — С. 350–355.
13. Распоряжение ОАО «РЖД» от 26 декабря 2013 г. № 2897р «Об утверждении временной инструкции о порядке пользования системой автоматизированного сбора, хранения и анализа данных аппаратно-программного комплекса КВАРЦ».
14. Лазарева В. И., Григорьева Н. Н. Инновации как инструмент повышения эффективности и конкурентоспособности. Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы 9 международной научно-практ. конференции. — Том 2. — Иркутск: ИрГУПС, 2016. — С. 89–92.
15. Нефедьева Е. В., Ивасенко А. А. Сущность политики клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок // Наука сегодня: теоретические и практические аспекты: Материалы международной научно-практ. конференции, Вологда, 26 декабря 2018 г. — Вологда: ООО «Маркер», 2018. — С. 83–84.





Ensuring Service Quality within Internal Environment of Railway Transport and the Role of Diagnostic Tools



Anastasia A. IVASHENKO



Elena V. NEFEDYEVA

*Ivashenko, Anastasia A., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia.
Nefedyeva, Elena V., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*.*

ABSTRACT

To increase the level of customer focus, it is necessary to improve the quality of transport services in the transport market using modern technology and engineering tools. The objective of the research was to describe and to analyse a model of interaction between transport service enterprises, based on satisfaction of mutually beneficial needs and responsibility of stakeholders in the transport market. To achieve this goal, the authors used general scientific and economic research methods.

The study focused on the quality system of transport services within the internal environment and on the concept of customer focus for railway transport. A model of interaction

of business units within the internal transport service environment was developed. It was used to identify the interests and responsibilities of the parties (both consumers and providers) using the example of a locomotive complex of JSC Russian Railways.

The considered interaction model will increase the efficiency of the use of the locomotive fleet without increasing the model range. It was also revealed that one of the factors affecting the level of quality of transport services is a set of diagnostic tools providing high quality of the transportation process, reducing unproductive losses, increasing the efficiency of operations of all units involved. The evolution of diagnostics tools is presented in a table.

Keywords: transport, railway, transport services, quality, diagnostic tools, monitoring, locomotive complex, customer focus.

*Information about the authors:

Ivashenko, Anastasia A. – Senior Lecturer, Ph.D. student at the Department of Economics and Management of Railway Transport of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, mikkol2004@mail.ru.

Nefedyeva, Elena V. – Senior Lecturer, Ph.D. student at the Department of Economics and Management of Railway Transport of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, nefedev@list.ru.

Article received 18.06.2019, accepted 24.09.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 130.

Background. The goal of transport services consists in providing safe movement of goods and passengers while satisfying all the requirements of consumers on the transport market. But this is only the visible part of the work of railway transport. There is still the internal environment of the industry, where many structures of various industries work together to achieve the common result which is safe and uninterrupted train traffic [1].

Many foreign companies have positive experience in reforming and restructuring railways.

For instance, in the course of the restructuring of the German railways, independent business entities were separated, and then joint-stock companies were established within the framework of the railway holding Deutsche Bahn AG, carrying out freight transportation, long-distance passenger transportation, regional passenger transportation, providing infrastructure and other services [2; 3]. The concept of the new organization structure of railway transport is based on transfer of decision-making authority and responsibility for them to the level of enterprises. Thus, the management of DB Group focuses on the tasks of strategic management, coordination, and control. Currently, one of the most important factors determining the economic success is development of projects for intermodal transport systems.

In Russia, according to the Strategy for development of railway transport until 2030, transport enterprises highlight customer focus as a key value of any company, aimed at constantly improving the quality of transport services to consumers and enhancing mutually beneficial long-term partnership between the main modes of transport. This approach to railway management ensures attraction of new customers, transformation of business processes, optimization of interaction rules, effective internal and external communication, etc.

Hence, it is worth studying issues of customer focus and transport service quality not only with regard to external clients but also referring to interaction within transport companies.

The *objective* of the research is to develop a model of interaction between transport service enterprises, which is based on satisfaction of mutually beneficial needs and responsibility of

stakeholders in the transport market. To achieve this goal, the authors used general scientific and economic research *methods*.

1. Approaches to the concept of customer focus

According to marketing consultant A. A. Zenkevich, «customer focus is a focused and systematic action of the company, the purpose of which is to exceed the expectations of its customers and make them happy» [1, p. 4].

The authors of the article offer the following understanding of this concept: *customer focus is the ability of an organization to create conditions for attracting a flow of new customers, maintaining loyalty of regular clients by meeting their needs, ensuring thus growth in labor productivity and profits*.

If we consider the example of Russia, then customer focus is a relatively young concept for the economy of railway transport, and its development is currently underway. Within the JSC Russian Railways it is based on following principles:

- «the client always knows what he wants and to what extent»;
- «the client himself evaluates the level of customer focus of the transport company»;
- quality of the personnel of the transport company directly affects the level of customer orientation;
- there are internal and external customers of the company;
- customer focus provides a synergetic effect in the holding company.

To implement those principles, JSC Russian Railways has formed vertical and horizontal ties between business units in the organization structure of management, which provide a synergistic effect.

2. Implementation of the customer focused attitude in locomotive complex

Locomotive complex¹ in most countries makes part of the railway companies' units most important for consistent train traffic.

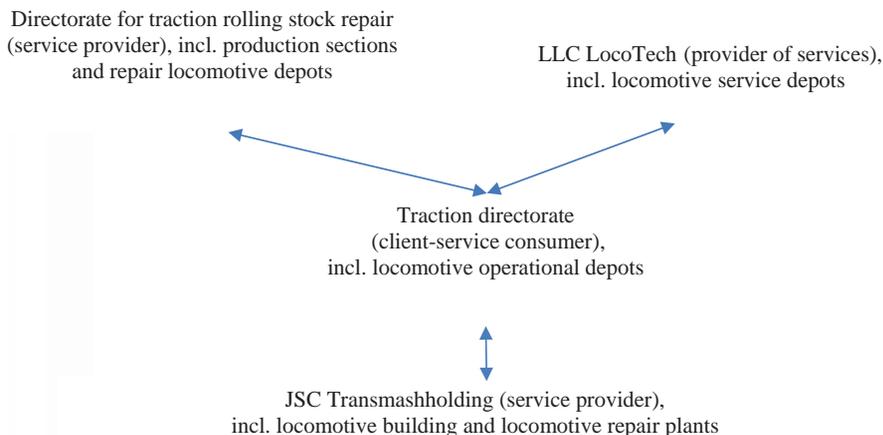
Since 2010, the locomotive complex of JSC Russian Railways has been restructuring:

¹ Locomotive complex is understood by the authors in conformity with Russian practices in the sense of a system of relationship between corporate divisions, affiliated companies and contracted external companies, involved in the operations related to designing, construction, maintenance and operation of locomotives used by JSC Russian Railways. — *ed. note*.



Prospects for locomotive complex development

2020 year	2025 year	2030 year
Operational activity of locomotive facilities		
axle load of 25 tons	axle load of 27 tons	axle load of 30 tons
collector-free or collector traction motors	collector-free traction motors	collector-free traction motors
TRS management by a single person	use of automated control system (ACS) in TRS management by driver-operator	TRS movement is monitored and controlled by operator from a stationary workplace
information display system optimization	management is reduced to monitoring the automated control system and diagnostics of locomotive condition	management is reduced to monitoring the automated control system and diagnostics of locomotive condition
Repair activity of locomotive complex		
planned preventive maintenance system of TRS repair	planned preventive maintenance system of TRS repair with an adaptive approach to repair of individual components	maintenance according to real technical condition
Joint operation and maintenance		
use of the complex BLOCK-M for all types of TRS	integration of a safety system into a multifunctional control system	transition of a single multifunctional control and safety system to the requirements of SIL 4



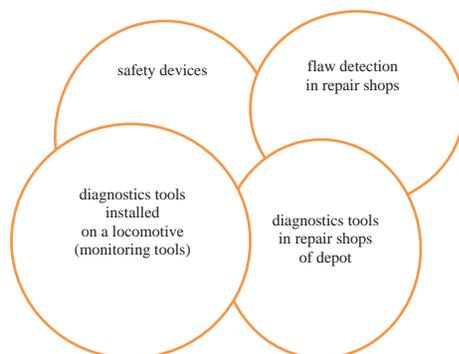
Pic. 1. Model of interaction of business units in the internal transport services environment (compiled by the authors).

various structural divisions are being singled out, the management structure is changing, interaction between divisions, branches, subsidiaries and affiliates is changing, and rules for the relationship between them are being developed.

Hence, based on the principle of dividing into external and internal customers, let us consider the approach of customer focus at the example of a locomotive complex.

Currently, in the locomotive complex there is no clear differentiation between the concepts of «producer» and «consumer» of the services provided in the internal transport service environment. Studying the scientific works of

some Russian experts in railway economy, we can conclude that most of them consider transport services only from an external environment perspective, supposing that such concepts as «customer focus», «quality of transportation», «safety» are mainly aimed at meeting the needs of cargo owners and passengers. Although the internal environment plays a key role in issues of transport functioning, allowing to constantly improve the quality of work and increase the level of its customer focus (see, e.g. [4]). In this regard, the authors propose to use the example of a locomotive complex to build a model of transport services for the internal environment, where its business



Pic. 2. Diagnostics tools to ensure locomotive operability.

units can be divided into two groups: customer-consumer and service provider. Pic. 1 shows the scheme of their interaction if there is unconditional compliance with standards, norms, corporate policies.

According to the model proposed by the authors, service providers are:

- directorate for repair of traction rolling stock, repairing safety devices;
- LLC LocoTech and its structural subdivisions: locomotive service depots manufacture equipment, provide technical maintenance and repair of traction rolling stock (TRS);
- plants for manufacture and repair of TRS.

The consumer of «repair, equipment and maintenance of a locomotive» service is traction directorate, in particular, locomotive operational depots. The following functions are assigned to them:

- operation of a locomotive by highly qualified locomotive crews;
- ensuring the good condition of TRS [5, pp. 65–67; 6, p. 206].

Due to the fact that the locomotive economy is moving to a new mechanism of relations between providers and consumers, as well as to a new system for repairing (through assessment of actual condition of a locomotive), traction directorate becomes only a consumer of the services provided. Consequently, newly acquired TRS is under warranty service by factories and locomotive service depots, which allows for high quality manufacturing and repair of locomotives [7].

Since responsibility for operation and maintenance of TRS is assigned to specific business units, it becomes clear that now JSC Transmashholding and LLC LocoTech will be interested in updating design of a locomotive, aimed at increasing its efficiency, improving

quality of work in order to reduce costs and improve transport services performance both in the internal and external spheres (Table 1).

The main development paths of the locomotive complex are identified in strategic programs providing for:

- renewal of traction rolling stock (TRS), aimed at reducing labor costs, energy and fuel consumption in the transportation process;
- construction, updating, additional equipment of repair infrastructure facilities [8, pp. 2–5].

Promising tasks of the locomotive economy are based on the implementation of the following principles: automation, reliability, safety, efficiency.

One of the main objectives is to increase the efficiency of using the locomotive fleet without increasing its model range, but using unification of models, a single modular platform based on three- and four-axle bogies, and radial installation of wheel sets [9, p. 25]. All those measures will reduce the cost of acquiring and maintaining TRS. By ensuring unification, downtime of TRS in repairs will be reduced, increasing the locomotive's performance. All these promising areas are reflected in Smart Locomotive project, developed and implemented by LLC LocoTech since 2016 [9].

3. The significance of diagnostic tools

The most significant basis of successful operation of locomotives is associated with advanced diagnostic tools for the control of locomotives' condition. Pic. 2 shows interaction of diagnostic tools that provide continuous improvement in quality of locomotives' operation.

Those of the tools shown in Pic. 2 that meet modern requirements must be used in the frame of a single system during repair and



Diagnostic complex of locomotive facilities (compiled by the authors)

Name	Year of manufacture	Use
Safety tools		
ALS	1937	Automated locomotive signalling
SAUT	1985	Automated system of brake control
CLUB	1994	Complex locomotive safety tool to control driver's actions
USTA	1996	Control of traction engines of locomotives
Diagnostic tools installed on a locomotive		
MSU-TP	1989	Control and regulation of operation modes of main and additional equipment of a locomotive
ASUB Locomotive	1998	Control of a locomotive and collection of data on locomotive state on exchangeable cassette
System FIRE	2003	Control of technical state of TRS in real time, analysis of information and development of recommendation on elimination of recommendation on-line
GID Ural	2008	Increase in the level of operational work (control of dislocation and state of locomotives; accounting and analysis of respect of the schedule, section speed, weight and length of cargo trains and their downtime at technical stations)
Locomotive complex KVARTs	2013	Designed for automated registration and recording on portable data carrier of actions of locomotive crew, made in driver's cab when performing technological processes, defined by the current normative documents and regulations in JSC Russian Railways, and when emergency situations occur with their subsequent automated analysis [13]
Smart locomotive	2016	Locomotive control and use of diagnostics tools, interaction with safety tools. It allows to perform repair according to actual state of the locomotive
Electronic passport of a locomotive	2018	Single storage place of all information about locomotives, testing results, diagnostics, flaw detection, failures and repair of equipment for all enterprises, carrying out manufacture, repair and operation of locomotives
Flaw detection in repair shops		
Types of non-destructive control	Since 1950-ies until nowadays	Vortex-current, magnet-sintered, ultrasonic methods etc.
Diagnostic tools in repair shops		
Testing stands, stations	Since 1970-ies until nowadays	Vibroacoustic method, rheostat tests
ACS Network schedule	2018	Monitoring of technical state of a locomotive

operation of TRS. To monitor the work of locomotive crews, safety devices and diagnostic tools installed on the locomotive are used. Studying the statistics of TRS failures, it can be argued that during operation of locomotives, there are violations of train operating modes, significantly affecting reliability level of the locomotive throughout its life cycle.

Reliability of locomotives laid down at the manufacturing stage is realized in specific operating conditions. The parameters of the locomotive's equipment are influenced by both climatic and geographical conditions, indicators of the operating modes of the

locomotive crew, the state of power supply devices and the track facilities [10].

Violations of the operating modes of locomotives significantly affect locomotive's performance, lead to premature wear of components and equipment, the risk of failure, an increase in time spent for locomotives' repair, additional distraction of repair personnel to works which are normally not scheduled. All those factors lead to reduction in performance of a locomotive and to increase in expenses of the holding company of JSC Russian Railways [11].

Using the means of technical diagnostics solves the problems of:

- establishing the technical condition of the locomotive;
- location of failure in the locomotive;
- performance forecasting [12, pp. 350–355].

Diagnostic tools evolve with locomotives. Table 2 shows examples of evolution of each set of diagnostic tools.

In recent years, LLC LocoTech has carried out work to introduce new diagnostic and monitoring tools to control the condition of TRS; locomotive construction plants have participated in this work. Already at the stage of locomotive construction, new approaches to monitoring and controlling the locomotive are being introduced, which helps reduce labor costs for both drivers and repair personnel, improves the quality of work of all structures of the locomotive complex.

Brief conclusions

Construction of a chart of interaction of the groups of providers and consumers of the services of the internal environment at the example of locomotive complex of JSC Russian Railways has allowed to conduct the analysis of the revealed relationship and to make a conclusion that the model being implemented will allow to raise efficiency of the use of locomotives' fleet without extending the range of the models used. The operation of the model should be followed by grown performance of introduction and use of a set of diagnostic tools, ensuring thus high quality of transportation process, reduction of non-productive losses, and grown efficiency of interacting business units.

REFERENCES

1. Zenkevich, A. A. Secrets of customer focus: a guide to acquiring loyal customers [*Sekrety klientoorientirovannosti: rukovodstvo po priobreteniyu predannykh klientov*]. Moscow, 2013, 42 p.
2. Gorbunov, A. A. Experience in development policy of foreign railway transport communications for modern Russia [*Opyt politiki razvitiya zarubezhnykh zheleznodorozhnykh transportnykh kommunikatsii dlya sovremennoi Rossii*]. Moscow, MIIT, 2008, 160 p.
3. Ratcliffe, B. Economy and efficiency in transport and distribution. 2nd ed. London, Kogan Page, 1987, Vol. IV, 170 p.
4. Potekhina, A. M. Assessment of the impact of the internal environment of railway organisations on the implementation of customer focused strategy [*Otsenka vliyaniya vnutrenney sredy zheleznodorozhnykh organizatsiy na realizatsiyu strategii klientoorientirovannosti*]. Ph.D. (Economics) thesis. IrGUPS, 2015, 168 p. [Electronic resource] http://www.stu.ru/science/theses_show.php?theses_id=27. Last accessed 18.06.2019.

5. Nefedyeva, E. V. Quality of services of a locomotive service depot [*Kachestvo uslug lokomotivnogo servisnogo depa*]. Science today: reality and prospects: materials of international scientific and practical conference, February 27, 2019. Vologda, LLC Marker, pp. 65–67.

6. Nefedyeva, E. V., Shaltina, O. A. Optimization of preventive system for repair of traction rolling stock [*Optimizatsiya plnovo-predupreditelnoi sistemy remonta tyagovogo podvizhnogo sostava*]. Collection of articles of the 6th International scientific and practical conference «Transport infrastructure of Siberian region» (September 30–October 03), 2015. Irkutsk, ISTU, Vol. 2, pp. 205–210.

7. Silicheva, G. V., Pyzhyanov, N. I. Improving the system of interaction between locomotive repair enterprises and traction directorate [*Sovershenstvovanie sistemy vzaimodeystviya lokomotivoremontnykh predpriyatii i direksii tyagi*]. *Economics and entrepreneurship*, 2019, Iss. 1, pp. 1029–1032.

8. Order of the Government of the Russian Federation of September 30, 2018 No. 2101-r «Comprehensive plan for modernization and expansion of the main infrastructure for the period until 2024» [*Rasporyazhenie Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 30.09.2018 № 2101-r «Kompleksnyy plan modernizatsii i rasshireniya magistralnoi infrastruktury na period do 2024 goda»*].

9. Mikhailchuk, N. L. Prospective tasks of organizing train traction at JSC Russian Railways [*Perspektivnye zadachi organizatsii tyagi poezdov v OAO «RZD»*]. *Prospects for development of locomotive service: proceedings of the third international scientific and practical conference*, 2018, Moscow, LLC LocoTech, pp. 22–32.

10. Ivasenko, A. A. Reorganization of track complex management system in the context of industry reform [*Reorganizatsiya sistemy upravleniya putevym kompleksom v usloviyakh reformirovaniya otrasli*]. *Economics and entrepreneurship*, 2016, Iss. 3–2, pp. 192–194.

11. Ivasenko, A. A. Corporate governance as a way to increase production efficiency [*Korporativnoe upravlenie kak sposob povysheniya effektivnosti proizvodstva*]. *Transport infrastructure of Siberian region: Proceedings of the seventh international scientific and practical conference*, 2014, Irkutsk, ISTU, Vol. 2, pp. 229–233.

12. Khromov, I. Yu., Barkunova, A. A., Nikishkina, E. A. Monitoring of locomotive operation modes [*Monitoring rezhimov ekspluatatsii lokomotivov*]. *Prospects for development of locomotive service: proceedings of the third international scientific and practical conference*, 2018, Moscow, LLC LocoTech, pp. 350–355.

13. Decree of JSC Russian Railways dated December 26, 2013 No. 2897r «On approval of temporary instruction on the procedure for using the system of automated collection, storage and analysis of data from KVARTs hardware-software complex» [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 26 dekabrya 2013 No. 2897r «Ob utverzhenii vremennoi instruksii o poryadke polzovaniya sistemoi avtomatizirovannogo sbora, khraneniya i analiza dannykh apparatno-programmnogo kompleksa KVARTs»*].

14. Lazareva, V. I., Grigorieva, N. N. Innovation as a tool to improve efficiency and competitiveness [*Innovatsii kak instrument povysheniya effektivnosti i konkurentosposobnosti*]. *Transport infrastructure of Siberian region: Proceedings of the ninth international scientific and practical conference*, 2016, Irkutsk, ISTU, Vol. 2, pp. 89–92.

15. Nefedyeva, E. V., Ivasenko, A. A. The essence of the policy of customer focus of Russian Railways holding company in the field of cargo transportation [*Sushchnost' politiki klientoorientirovannosti kholdinga «RZD» v oblasti gruzovykh perezovok*]. Science today: theoretical and practical aspects: Materials of international scientific and practical conference, Vologda, December 26, 2018. Vologda, LLC Marker, pp. 83–84.



Устойчивость систем поставок ресурсов



Тяпухин Алексей Петрович – Оренбургский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия.*

Алексей ТЯПУХИН

Актуальной проблемой управления цепями поставок является обеспечение их устойчивости. Решение данной проблемы осложняется нечёткостью разграничения нескольких терминов, адекватных понятию «устойчивость», таких как «надёжность», «безопасность», «живучесть», «жизнестойкость», а также отсутствием системного подхода к определению устойчивости систем поставок ресурсов, складывающейся, по версии автора, из устойчивости базовых компонентов логистического менеджмента. Целями исследования являются уточнение сущности устойчивости, разработка классификации и обоснование последовательности определения устойчивости систем поставок ресурсов, что позволит повысить их конкурентоспособность.

Методологическая база исследования включает теоретические положения менеджмента, логистики, управления цепями поставок, управления потоками ценности и логистического менеджмента.

В качестве методов исследования выбраны логико-структурные методы: терминологического

анализа, группировок, типологии и классификации, предполагающие выделение и использование совокупности классификационных признаков и компонентов, которые в необходимой и достаточной степени отражают сущность термина «устойчивость» и сопутствующих ему терминов.

Результатами исследования являются авторские определения понятий «устойчивость», «жизнестойкость», «гибкость», «живучесть», «статичность», «динамичность», «надёжность», «маневренность» и «безопасность» систем поставок ресурсов и рекомендации по определению устойчивости систем данного типа, складывающейся из устойчивости базовых компонентов логистического менеджмента.

Результаты исследования позволяют создать теоретические и методические предпосылки для определения надёжности технологических, торговых и логистических звеньев и – на их основе – каналов, цепей, фронтов и эшелонов системы поставок ресурсов, а также разработать рекомендации по изменению содержания SCOR- и DCOR-моделей, составляющих основу управления цепями поставок.

Ключевые слова: система поставок ресурсов, устойчивость, управление устойчивостью, ценность, живучесть, жизнестойкость, гибкость.

*Информация об авторе:

Тяпухин Алексей Петрович – кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор, директор Оренбургского филиала Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, artypuhin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.09.2019, принята к публикации 23.12.2019.

For the English text of the article please see p. 154.

Проблема устойчивости объектов управления, к числу которых относятся система поставок ресурсов — «совокупность поставщиков и посредников (звеньев), образующих каналы, цепи, фронты и эшелоны поставок и выполняющих процессы консолидации и разукрупнения потоков ресурсов...» [1, с. 98], постоянно находится в центре внимания специалистов [2].

Ю Ся, Томас Ли-Пин Тан отмечают, что «методы управления устойчивостью систем поставок помогают сократить время выполнения заказов потребителей, сформировать гибкие цепи поставок ресурсов, снизить затраты на взаимодействие с поставщиками. Устойчивые системы поставок могут гибко реагировать на потребности рынка и оперировать меньшими размерами запасов» [3, с. 495].

Во время экономического кризиса (2007–2008 гг. — *прим. автора*) предприятия, входящие в устойчивые системы поставок, показали лучшие результаты по сравнению с теми предприятиями, которые входили в традиционные системы поставок [4, с. 534].

Управление устойчивостью цепей поставок получило статус отдельной дисциплины, спецификой которой является «управление материальными, информационными потоками и потоками капиталов, а также взаимодействие предприятий в виде цепей (систем — *прим. автора*) поставок, использующих в качестве целей три аспекта устойчивого развития, т.е. экономический, экологический и социальный, принимая во внимание интересы клиента и требования собственников» [5, с. 1700].

Актуальность проблемы устойчивости систем поставок ресурсов обусловлена следующими причинами:

- в условиях глобализации и растущей конкуренции управление внешними и внутренними заинтересованными контрагентами, начиная от поставщиков сырья до конечных потребителей товаров (продукции и услуг), стало прерогативой управления цепями поставок, которое в настоящее время позиционируется зарубежными исследователями как метод управления устойчивостью предприятий [6];

- преобразованием цепей поставок в цепи создания ценности для конечных

потребителей продукции и услуг [7, с. 2203], что привело к трансформации проблемы их интеграции в проблему устойчивого развития данных цепей [8, с. 18];

- высокими требованиями к надёжности и другим показателям эффективности звеньев систем поставок ресурсов, вынужденных адаптироваться к изменяющимся ценностям их конечных потребителей;

- повышенной сложностью производственных и организационных структур логистических систем данного типа, например, [9, с. 409; 10, с. 5018];

- наличием межфункциональных барьеров как внутри, так и вне звеньев систем поставок ресурсов, препятствующих созданию и доставке ценностей их конечным потребителям;

- значительными рисками деятельности систем данного типа, обусловленными возможностью негативного влияния результатов оппортунистического поведения одного или нескольких их звеньев на результаты деятельности системы в целом и др.

Проблема обеспечения устойчивости системы поставок ресурсов предполагает решение взаимосвязанных проблем управления устойчивостью:

- 1) её звеньев;

- 2) основных видов данной системы;

- 3) взаимосвязей между её звеньями при воздействии на них факторов внешней и/или внутренней среды.

Формулировка изложенной выше проблемы также отличается сложностью и нуждается в структуризации и формализации. Даже в первом приближении, используя такие классификационные признаки, как:

- количество цепей поставок ресурсов (одна, несколько);

- количество звеньев цепей поставок ресурсов (одно, несколько), можно выделить четыре её варианта и установить взаимосвязи между ними (рис. 1).

Как следует из содержания рис. 1, устойчивость системы поставок ресурсов, начиная от простейшего её вида — канала, может быть определена через устойчивость:

- цепи поставок ресурсов, что принципиально важно с точки зрения интересов конкретного потребителя ресурсов;

- фронта поставок ресурсов, что принципиально важно с точки зрения интересов



		Количество звеньев цепей поставок ресурсов	
		Одно	Несколько
Количество цепей поставок ресурсов	Одна	Устойчивость звена поставок ресурсов (вариант 1.1)	Устойчивость цепи поставок ресурсов (вариант 1.2)
	Несколько	Устойчивость фронта поставок ресурсов (вариант 2.1)	Устойчивость эшелона поставок ресурсов (вариант 2.2)

Рис. 1. Варианты трактовки устойчивости систем поставок ресурсов (разработано автором).

одновременно двух и более потребителей ресурсов [1, с. 101].

Целью статьи является уточнение и дополнение теоретических и методических аспектов проблемы устойчивости систем поставок ресурсов как компонента их надёжности.

В качестве методов исследования выбраны логико-структурные методы анализа, группировки и классификации.

Обзор литературных источников

С. И. Ожегов и Н. Ю. Шведова определяют понятие «устойчивый» как «1. Стоящий, держащийся твёрдо, не колеблясь, не падая; 2. Неподверженный колебаниям, постоянный, стойкий, твёрдый» [11, с. 841].

Т. Ф. Ефремова отмечает, что «устойчивый — способный сохранять такое положение, несмотря на действие различных сил» [12].

Под устойчивостью может пониматься «способность... системы восстанавливать исходное (или близкое к нему) состояние (режим) после каких-либо его нарушений, проявляющихся в отклонении значений параметров режима от исходных» [13, с. 571].

Ана Паула Барбоса-Повоа подчёркивает, что устойчивая цепь поставок может быть описана как сложная сетевая система, включающая различные организации, которые управляют продуктами от поставщиков до клиентов и связанными с ними переломами данных продуктов с учётом социальных, экологических и экономических последствий [14, с. 2].

А. Г. Некрасовым понятие устойчивости цепи поставок раскрыто следующим образом: «состояние цепи поставок, находящейся в плановом режиме функциониро-

вания, устойчиво, если при фиксированном множестве допустимых управляющих воздействий ограниченные и относительно малые по величине возмущающие воздействия приводят к ограниченным и относительно малым изменениям выходных переменных» [15, с. 51].

Авторы¹ определяют *устойчивость цепи поставок* как «способность цепи поставок так реагировать и приспосабливаться к изменениям внешней среды, чтобы показатели её оценки находились в строго определённых допустимых интервалах, или же возвращаться к исходным параметрам в течение заданного переходного периода».

И. В. Яхнеева указывает, что «наиболее распространённым в зарубежной научной среде является положение о том, что быть устойчивым означает реагировать и возвращаться в то же самое или лучшее состояние. Соответственно, способность к восстановлению называется эластичностью системы» [16].

Кроме понятия «устойчивость» применительно к системам (цепям) поставок ресурсов в литературных источниках применяются термины:

- *безопасность цепи поставок ресурсов*.

Например, в документе² введено понятие «менеджмент безопасности», которое трактуется как «систематизированная и скоординированная деятельность, с помощью которой организация-участник цепи поставок управляет своими рисками, связанными

¹ Определение понятия «устойчивость цепей поставок». [Электронный ресурс]: https://studme.org/68522/logistika/opredelenie_ponyatiya_ustoychivost_tsepey_postavok. Доступ: 05.09.2019.

² ГОСТ Р 53662-2009 (ИСО 28001:2006). Наилучшие методы обеспечения безопасности цепи поставок. Оценки и планы. [Электронный ресурс]: <http://files.stroyinf.ru/Data1/59/59142/>. Доступ: 05.09.2019.

с ними потенциальными угрозами и воздействиями»;

- *надёжность цепи поставок ресурсов*. В частности, под этим термином понимается «свойство цепи поставок сохранять в установленных пределах значения всех своих характеристик и элементов (безотказности, долговечности, восстанавливаемости, сохраняемости), которые характеризуют способность цепи выполнять все свои функции в соответствии с условиями договоров между её участниками» [17, с. 37];

- *жизнестойкость цепи поставок ресурсов* или, кроме прочего, «способность... противостоять угрозам и быстро восстанавливаться, если эти угрозы стали реальностью и нанесли ощутимый ущерб»³;

- *гибкость цепи поставок ресурсов*. Например, К. Н. Попадюк полагает, что «гибкость цепи – умение своевременно адаптировать цепь поставок в соответствии с изменяющимися запросами потребителя, например, изменяя долю продаж того или иного товара в портфеле в зависимости от спроса или вывода на рынок новые модификации товара» [18];

- *манёвренность цепи поставок ресурсов*. В изложении В. И. Сергеева (в рамках SCOR-модели⁴): «манёвренность (или динамичность) понимается как возможность реагировать на влияние внешних факторов, возможность осуществлять перемены» [19, с. 84];

- *адаптивность цепи поставок ресурсов*. В той же работе [19, с. 81] адаптивность (индикатор AG), является компонентом манёвренности (динамичности) цепи поставок и оценивается как «максимальный достигаемый устойчивый процент увеличения количества поставок...» [19, с. 86]. Кстати, к тому же индикатору AG относится и гибкость, трактуемая как «количество дней, необходимых для достижения незапланированного устойчивого (см. опреде-

ления данного понятия, представленные выше – прим. автора) увеличения доставленного количества продукции» [19, с. 85].

Из содержания литературных источников следует что:

- существует потребность в исследованиях для последующей интеграции всех аспектов устойчивости совместно работающих предприятий в методологию проектирования и планирования цепей поставок для комплексной оценки устойчивости их стратегий [20];

- до настоящего времени так и не выработана логически увязанная совокупность компонентов (показателей), характеризующих способность системы поставок ресурсов к достижению поставленных целей в условиях негативного воздействия на неё внешней и/или внутренней среды (или надёжность данной системы);

- создание указанной выше системы предполагает корректировку сложившегося подхода к управлению устойчивостью и, естественно, надёжностью системы поставок ресурсов, включая корректировку содержания SCOR- и DCOR-моделей, составляющих основу управления цепями поставок.

Таким образом, достижение поставленной в статье цели является актуальным для совершенствования теории и методологии логистики, которая включает управление цепями поставок как концепцию управления предприятиями [1, с. 29].

Уточнение сущности устойчивости как компонента (показателя) надёжности системы поставок ресурсов

Базовой предпосылкой для решения данной задачи является устоявшееся мнение специалистов о том, что показатель надёжности готовой продукции (изделия) является комплексным, включающим показатели безотказности, долговечности, восстанавливаемости (ремонтпригодности), сохраняемости⁵. Более того, в работе [21, с. 46] предложена их классификация (рис. 2).

Содержание рис. 2 в совокупности с классификационными признаками определений компонентов (показателей) на-

³ Управление жизнестойкостью организации. [Электронный ресурс]: https://studme.org/123707066582/menedzhment/upravlenie_zhiznestoykostyu_organizatsii#701. Доступ: 05.09.2019.

⁴ Определения SCM и словарь терминов. [Электронный ресурс]: [http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921). Доступ: 05.09.2019.

⁵ ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200004984>. Доступ: 05.09.2019.



		Режим эксплуатации	
		Номинальный	Предельный
Показатели назначения изделия	Относительно стабильны	Сохраняемость	Безотказность
	Требуют корректировки	Долговечность	Ремонтпригодность

Рис. 2. Классификация компонентов (показателей) надёжности изделия ([21], разработано автором).

		Режим функционирования объекта управления при негативных воздействиях	
		Утрата и восстановление	Утрата и изменение (прирост) потенциала
Стабильность целей объекта управления	Стабильные	Устойчивость (режим: возвращение)	Гибкость (режим: адаптация)
	Корректируются	Жизнестойкость (режим: выживание)	Живучесть (режим: противодействие)

Рис. 3. Классификация компонентов (показателей) надёжности объекта управления (разработано автором).

		Возмущающие воздействия внешней и внутренней среды на объект управления	
		Незначительные	Значительные
Изменения внутренних переменных объекта управления	Незначительные	Возвращение	Адаптация
	Значительные	Противодействие	Выживание

Рис. 4. Классификация режимов функционирования объекта управления ([15], разработано автором).

дёжности готовой продукции (изделия) позволяют разработать классификацию компонентов (показателей) надёжности объекта управления, к числу которых относится система поставок ресурсов (рис. 3).

Как следует из содержания рис. 3:

1) к таким компонентам (показателям) относятся устойчивость, жизнестойкость, гибкость и живучесть системы поставок ресурсов;

2) режим функционирования объекта управления целесообразно устанавливать с учётом классификационных признаков, представленных на рис. 4, основу которого составляет точка зрения А. Г. Некрасова [15, с. 51];

3) если восстановление потенциала системы поставок ресурсов осуществляется количественно, то его изменение (прирост) происходит как количественно, так и качественно;

4) классификационные признаки, позволившие выделить компоненты (показатели) надёжности объекта управления (рис. 3), в совокупности с адекватными им режимами функционирования данного объекта (рис. 4), позволяют дать им следующие определения:

- устойчивость системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режиме возвращения к исходному или близкому к нему состоянию при сохранении ранее поставленных целей и последующем полном или частичном восстановлении её потенциала;

- жизнестойкость системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режиме выживания (устранения вероятности ликвидации) при корректировке ранее поставленных целей и последующем полном или частичном восстановлении её потенциала;

- гибкость системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режиме адаптации к данным воздействиям (реагирования на них) при сохранении ранее поставленных перед ней целей и последующем изменении (приросте) её потенциала;

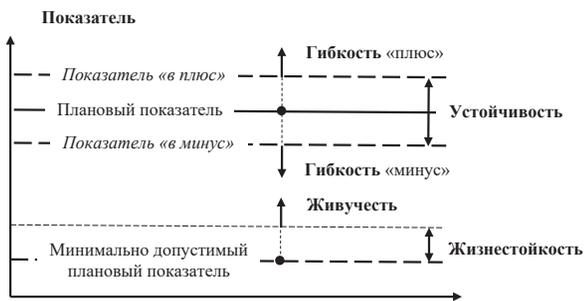


Рис. 5. Графическая интерпретация понятий «устойчивость», «гибкость», «живучесть», «жизнестойкость» (разработано автором).

- живучесть системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режиме противодействия данным воздействиям при корректировке ранее поставленных целей и последующем изменении (приросте) её потенциала;

5) графическая интерпретация понятий «устойчивость», «гибкость», «живучесть», «жизнестойкость» представлена на рис. 5, из которого следует, что:

- устойчивость — способность объекта управления достигать значения планового показателя в установленном для него диапазоне;

- гибкость — способность объекта управления достигать скорректированных значений планового показателя за пределами первоначально установленного для него диапазона;

- жизнестойкость — способность объекта управления предотвращать достижение установленного для него значения минимально допустимого планового показателя;

- живучесть — способность объекта управления улучшать значение минимально допустимого планового показателя;

6) представленные на рис. 3 и 5 компоненты (показатели) создают основу для формирования комплексных компонентов (показателей) надёжности системы поставок ресурсов, таких как:

- статичность системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режимах возвращения к исходному или близкому к нему состоянию и/или адаптации к данным воздействиям при сохранении ранее поставленных целей и последующем вос-

становлении и/или изменении (приросте) её потенциала;

- динамичность системы поставок ресурсов — показатель, характеризующий способность системы выполнять свои функции в условиях негативного воздействия внешней и/или внутренней среды в режимах выживания и/или противодействия данным воздействиям при корректировке ранее поставленных целей и последующем восстановлении и/или изменении (приросте) её потенциала;

7) изложенные выше базовые и комплексные компоненты позволяют дать следующее определение надёжности системы поставок ресурсов как показателя, характеризующего способность системы выполнять свои функции: проектировать, создавать и доставлять ценность её конечным потребителям при негативном воздействии на неё внешней и/или внутренней среды на основе управления по целям и прироста потенциалов как самой системы, так и её звеньев.

Анализ представленной выше логически увязанной совокупности компонентов (показателей), характеризующих надёжность системы поставок ресурсов, позволяет сделать следующие выводы:

- способность системы поставок ресурсов к своевременной и качественной корректировке целей, вернее, к управлению по целям и приростам потенциалов при негативном воздействии на данную систему внешней и/или внутренней среды может характеризоваться показателем манёвренности системы поставок ресурсов;

- безопасность системы поставок ресурсов определяется разностью потенциалов: имеющегося в данный момент времени и необходимого для того, чтобы сохранять минимально допустимый уровень устойчивости при негативном воздействии на



**Варианты соотношений показателей устойчивости канала поставок ресурсов
(разработано автором)**

Предыдущее звено канала	Последующее звено канала			
	Гибкость (Г)	Устойчивость (У)	Живучесть (Жв)	Жизнестойкость (Жс)
Гибкость (Г)	Г-Г	Г-У	Г-Жв	Г-Жс
Устойчивость (У)	У-Г	У-У	У-Жв	У-Жс
Живучесть (Жв)	Жв-Г	Жв-У	Жв-Жв	Жв-Жс
Жизнестойкость (Жс)	Жс-Г	Жс-У	Жс-Жв	Жс-Жс

данную систему внешней и/или внутренней среды;

- устойчивость и жизнестойкость системы поставок ресурсов обеспечиваются за счёт использования традиционных систем управления: целей, задач, принципов, функций, методов и подходов. При негативных воздействиях внешней и/или внутренней среды управленческий персонал системы поставок ресурсов полагает, что они носят временный характер, и поэтому в качестве ответных мер разрабатывает и применяет оборонительные стратегии, например, стратегию отсечения лишнего;

- гибкость и живучесть, в свою очередь, поддерживаются при реализации наступательных стратегий, направленных в том числе, на развитие систем управления, например, за счёт диверсификации деятельности систем поставок ресурсов;

- поскольку система поставок ресурсов является сложным объектом управления, то её звенья могут ориентироваться на приоритетные для них компоненты надёжности. Например, одно звено, тяготеющее к начальным поставщикам, – на жизнестойкость, а другое, расположенное в цепи поставок ближе к конечному потребителю, – на гибкость. Варианты соотношений показателей устойчивости системы данного типа на примере канала поставок ресурсов представлены в табл. 1.

Данный аспект предполагает создание методологии, обеспечивающей интегрированный подход к оценке надёжности как отдельных звеньев, так и системы поставок ресурсов в целом.

Информация, представленная на рис. 3 и 5, создаёт основу для выделения основных видов устойчивости систем поставок ресурсов. Решение данной задачи применительно к конкретному предприятию (звену) изложено в работе [1, с. 345]. Как

следствие, в результате использования таких классификационных признаков, как:

- объект управления устойчивостью (природные (материальные) ресурсы, человеческие ресурсы);

- приоритеты управления устойчивостью (закрепление и поддержание достигнутых результатов, создание предпосылок долгосрочного развития),

можно обосновать четыре вида устойчивости системы поставок ресурсов: *экономическую, социальную, инновационную и экологическую* (рис. 6).

Данный аспект исследования:

- уточняет точку зрения зарубежных исследователей, изучающих устойчивость цепей поставок с акцентом на три, а не на четыре группы целей: социальных, экологических и экономических, в частности [5, с. 1700; 22, с. 2];

- предполагает оценку устойчивости системы поставок ресурсов не только с учётом их видов (рис. 1), но также с учётом выполняемых ими бизнес-процессов. Так, например, социальная устойчивость оценивается с позиций таких бизнес-процессов логистики, как управление персоналом, управление отношениями с поставщиками и потребителями, а инновационная устойчивость предполагает управление товаром (продукцией и услугами), технологический и логистический менеджмент (выполнение заказов и управление возвратами) [1, с. 51].

Понятие и структура логистической устойчивости системы поставок ресурсов

Крейг Р. Картер и Дейл С. Роджерс определяют управление устойчивостью цепей поставок как «стратегическую, прозрачную интеграцию и достижение социальных, экологических и экономических целей компании в системной координации ключевых межорганизационных бизнес-процессов для

Приоритеты управления устойчивостью	Закрепление и поддержание достигнутых результатов	Экономическая устойчивость	Социальная устойчивость
	Создание предпосылок долгосрочного развития	Экологическая устойчивость	Инновационная устойчивость

Рис. 6. Классификация устойчивости системы поставок ресурсов (разработано автором).

		Изменение количественных параметров и качественных характеристик ресурсов	
		Не меняются	Меняются
Тип перерабатываемых ресурсов	Материальные	Логистическая устойчивость	Технологическая устойчивость
	Финансовые	Торговая устойчивость	Инвестиционная устойчивость

Рис. 7. Классификация экономической устойчивости системы поставок ресурсов (разработано автором).

улучшения долгосрочных экономических показателей деятельности данной компании и её цепей поставок» [23, с. 368].

Если придерживаться ориентации на достижение устойчивости систем поставок ресурсов через реализацию бизнес-процессов с последующим их делением на функции, то можно выделить основные компоненты экономической устойчивости данных систем.

Для решения данной задачи целесообразно использовать следующие классификационные признаки:

- тип перерабатываемых ресурсов (материальные, финансовые (денежные));
- изменение количественных параметров и качественных характеристик ресурсов (не меняются, меняются).

В результате можно выделить четыре вида экономической устойчивости систем поставок ресурсов: логистическую, торговую, технологическую и инвестиционную (рис. 7).

Следует учитывать, что:

- логистическая устойчивость (с позиции логистического менеджмента, но не логистики) в той или иной мере связана с торговой, технологической и инвестиционной устойчивостью системы поставок ресурсов;
- логистическая устойчивость касается консолидации и разукрупнения партий ресурсов при сохранении количественных

параметров и качественных характеристик единицы ресурса;

- технологическая устойчивость системы поставок ресурсов оценивается в случае изменения геометрических размеров, массы, состава и конфигурации единицы ресурса;
- торговая устойчивость системы поставок ресурсов связана с устойчивостью отношений её звеньев, касающихся приобретения и/или передачи права собственности на ресурсы;
- инвестиционная устойчивость оценивается не только при обеспечении деятельности системы поставок ресурсов в условиях товарно-денежных отношений, но и при их изменениях, приводящих к нарушению устойчивости данной системы.

Структуру логистической устойчивости системы поставок ресурсов можно уточнить, если воспользоваться данными источника [1, с. 29] и классификационными признаками:

- состояние ценности поставщика/потребителя (готовая к использованию, создаваемая);
 - состояние ресурсов во времени и пространстве (динамика (изменение), статика (сохранение)), представленными на рис. 8.
- Как следует из рис. 8:
- главным компонентом логистической устойчивости является устойчивость потока ресурсов или движущейся массы этих



		Состояние ценности поставщика/потребителя	
		Готовая к использованию	Создаваемая
Состояние ресурсов во времени и пространстве	Динамика (изменение)	Устойчивость потока ресурсов	Устойчивость процесса
	Статика (сохранение)	Устойчивость запаса	Устойчивость системы

Рис. 8. Классификация компонентов логистической устойчивости системы поставок ресурсов (разработано автором).

ресурсов, причём, если данная масса перестаёт двигаться, то логистическая устойчивость должна оцениваться с позиции устойчивости запаса. Напомним, что поток ресурсов, как и запас, являются объектом управления логистики как концепции управления предприятиями [1, с. 90];

- поток ресурсов, в свою очередь, может двигаться благодаря выполнению логистических процессов, типология которых представлена в работе [1, с. 131]. Данные процессы реализуются в рамках логистического менеджмента – «вида деятельности предприятий, который связан с выполнением концентрации, распределения и движения потоков материальных, информационных, финансовых и людских ресурсов с использованием оптимальных для них траекторий к потребителям, расположенным внутри определённых территорий, в соответствии с целью, которую предприятия достигают совместно как звенья системы поставок ресурсов» [1, с. 69]. Поэтому при управлении логистической устойчивостью следует учитывать устойчивость логистических процессов;

- логистические процессы выполняют звеньями системы (цепи) поставок ресурсов, являющейся объектом управления такого компонента логистики как управление цепями поставок [1, с. 29]. Логично предположить, что в рамках логистической устойчивости нужно принимать во внимание устойчивость систем, выполняющих логистические процессы. В отличие от систем поставок ресурсов системы данного типа представляют собой логистические звенья (подсистемы) систем поставок ресурсов;

- звеньями, поглощающими потоки ресурсов, являются их конечные потребители. Как показывают теория и практика, эффективное управление отношениями с данными потребителями строится на

основе «создания, сообщения, доставки и обмена предложениями, которые имеют ценность для потребителей, клиентов, партнёров и общества в целом»⁶;

- ценности конечного потребителя ресурсов в пространстве и во времени образуют потоки. Под потоком ценности понимается «совокупность объединённых по определённым признакам уникальных характеристик объектов и процессов, последовательно ощущаемых потребителем в пространстве и во времени в зависимости от его материального, психического или духовного состояния» [1, с. 56]. Поток ценности конечного потребителя ресурсов является объектом управления такого компонента логистики как управление ценностью [1, с. 29];

- основным показателем, предопределяющим устойчивость системы поставок ресурсов, является показатель устойчивости ценности (потока ценностей), который, в свою очередь, зависит от устойчивости восприятия данной ценности (а также потоков ценностей) её конечным потребителем. Именно этот показатель позволяет детально разграничить показатели надёжности системы поставок ресурсов, представленные на рис. 3 и 5.

Обратимся к рис. 9, на котором выделены не только варианты устойчивости восприятия ценности её конечным потребителем, но и последовательность их изменения в соответствии со стадиями жизненного цикла товара (продукта и/или услуги), соответственно: повышение устойчивости → устойчивость → снижение устойчивости → неустойчивость → повышение устойчивости (или отказ от ценности, создаваемой и доставляемой системой поставок ресурсов).

⁶ About AMA. [Электронный ресурс]: <https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx>. Доступ 05.09.2019.

		Характеристики ценности	
		Сохраняются	Изменяются
Восприятие ценности потребителем	Положительное	Устойчивость	Повышение устойчивости
	Отрицательное	Неустойчивость	Снижение устойчивости

Рис. 9. Классификация вариантов устойчивости восприятия ценности её потребителем (разработано автором).



Рис. 10. Последовательность определения логистической устойчивости системы поставок ресурсов (разработано автором).

Как следует из содержания рис. 9:

- статичность (устойчивость и гибкость) системы поставок ресурсов оценивается и корректируется в том случае, когда отсутствует неустойчивость восприятия ценности её потребителем (при негативном сценарии наблюдается её снижение);
- динамичность (жизнестойкость и живучесть) системы поставок ресурсов является актуальной в случае имеющейся неустойчивости восприятия ценности её потребителем, что должны уметь оценивать и контролировать маркетинговые службы конечных звеньев системы поставок ресурсов.

Последовательность определения устойчивости системы поставок ресурсов

Изложенный выше материал, кроме прочего:

- подтверждает точку зрения автора о том, что логистика как концепция управления предприятиями включает в свой состав два базовых компонента — управле-

ние цепями поставок и управление ценностью [1, с. 29] (левая часть рис. 10);

- позволяет разработать последовательность определения логистической устойчивости системы поставок ресурсов (правая часть рис. 10).

Как следует из данного рисунка:

- логистическая устойчивость формируется на основе перехода от определения устойчивости одного объекта управления к другому: от определения устойчивости ценности к определению устойчивости потока ценностей (связь 1–2), от определения устойчивости потока ценностей к определению устойчивости потока ресурсов (запаса) (связь 2–3) и т.д. Методика управления логистической устойчивостью системы поставок ресурсов является темой отдельного исследования;
- при управлении потоками ценностей должна учитываться не только устойчивость потока ценностей, но и устойчивость отдельной ценности конечного потребителя ресурсов;



Рис. 11. Последовательность определения устойчивости системы поставок ресурсов (разработано автором).



- устойчивость потока ценностей должна находиться в поле зрения как управления потоками ценности, так и управления цепями поставок;

- логистическая устойчивость лишь частично характеризует устойчивость системы поставок ресурсов и является одним из показателей эффективности логистического менеджмента;

- устойчивость систем в рамках логистической устойчивости систем поставок ресурсов предусматривает, в том числе, логистическую устойчивость её основных видов — каналов, цепей, фронтов и эшелонов.

Устойчивость системы поставок ресурсов в целом определяется в соответствии с последовательностью, представленной на рис. 11.

Как следует из данного рисунка:

- логистическая устойчивость касается логистических звеньев системы поставок ресурсов, а также их подразделений, выполняющих логистические процессы;

- логистическая устойчивость совместно с торговой и инвестиционной устойчивостью формирует коммерческую устойчивость звеньев системы поставок ресурсов всех типов;

- логистическая устойчивость совместно с технологической и инвестиционной устойчивостью формирует производственную устойчивость технологических звеньев системы поставок ресурсов;

- с учётом коммерческой и производственной устойчивостью может быть определена экономическая устойчивость системы поставок ресурсов;

- наряду с другими видами устойчивости экономическая устойчивость позволя-

ет сформировать устойчивость системы поставок ресурсов в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье получены следующие элементы научной новизны:

- уточнена сущность устойчивости как компонента надёжности систем поставок ресурсов (рис. 3, 4, 5 и 7);

- даны определения устойчивости, жизнестойкости, гибкости, живучести, статичности, динамичности, надёжности, манёвренности и безопасности систем поставок ресурсов;

- предложены последовательности определения устойчивости системы поставок ресурсов (рис. 10 и 11).

Кроме того, с точки зрения логистики предлагается замена понятий «управление ценностью» и «управление цепями поставок» на более корректные по содержанию понятия, — соответственно, «управление потоками ценностей» и «управление потоками процессов» (не путать с «потокowymi процессами», например, [24, с. 24]).

В ходе дальнейших исследований предполагается:

- разработать методику определения устойчивости потоков ценностей конечных потребителей ресурсов — нового понятия в области логистики и маркетинга как концепций управления предприятиями;

- уточнить содержание методик определения остальных (кроме устойчивости) компонентов надёжности систем поставок ресурсов;

- создать теоретические и методические предпосылки для определения надёжности

технологических, торговых и логистических звеньев и на их основе каналов, цепей, фронтов и эшелонов системы поставок ресурсов на различных рынках товаров (продукции и услуг);

• дать рекомендации по корректировке содержания SCOR- и DCOR-моделей, составляющих основу управления цепями поставок или, по мнению автора — управления потоками процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тяпухин А. П. Логистика. Управление цепями поставок. — М.: КноРус, 2018. — 454 с.

2. Sarkis, J. A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management*, 2012, Vol. 17 No. 2, pp. 202–216. DOI: <https://doi.org/10.1108/13598541211212924>.

3. Yu Xia, Thomas Li-Ping Tang. Sustainability in supply chain management: suggestions for the auto industry. *Management Decision*, March 2011, Vol. 49, Iss. 4, pp. 495–512. DOI: [10.1108/00251741111126459](https://doi.org/10.1108/00251741111126459).

4. De Brito, M. P., Carbone, V., Blanquart, C. M. Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: organization and performance. *International Journal of Production Economics*, August 2008, Vol. 114, No. 2, pp. 534–553. DOI: [10.1016/j.ijpe.2007.06.012](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.012).

5. Seuring, S., Müller, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, October 2008, Vol. 16, Iss. 15, pp. 1699–1710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.

6. Reefke, H., Sundaram, D. Key themes and research opportunities in sustainable supply chain management — identification and evaluation. *Omega*, January 2017, Vol. 66, Part B, pp. 195–211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.02.003>.

7. Ramirez, E. Consumer-defined sustainably-oriented firms and factors influencing adoption. *Journal of Business Research*, November 2013, Vol. 66, Iss. 11, pp. 2202–2209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.01.012>.

8. Krause, D. R., Vachon, S., Klassen, R. D. Special topic forum on sustainable supply chain management: introduction and reflections on the role of purchasing management. *Journal of Supply Chain Management*, 11 September 2009, Vol. 45, No. 4, pp. 18–25. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03173.x>.

9. Schütz, P., Tomasgard, A., Ahmed, S. Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition. *European Journal of Operational Research*, December 2009, Vol. 199, Iss. 2, pp. 409–419. DOI: [10.1016/j.ejor.2008.11.040](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.11.040).

10. Corominas, A., Mateo, M., Ribas, I., Rubio, S. Methodological elements of supply chain design. *International Journal of Production Research*, February 2015, Vol. 53, Iss. 16, pp. 1–14. DOI: [10.1080/00207543.2015.1013641](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1013641).

11. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. — М.: Азбуковник, 1998. — 944 с.

12. Ефремова Т. Ф. Современный толковый словарь русского языка: в 3 т. — М.: АСТ, 2006. — 3312 с. [Электронный ресурс]: <http://tolkslovar.ru/u3039.html>. Доступ 05.09.2019.

13. Новый политехнический словарь / Гл. ред. А. Ю. Ишлинский. — М.: Научное издательство «Большая Российская Энциклопедия», 2000. — 671 с.

14. Barbosa-Róvoa, A. P. Process supply chains management — where are we? Where to go next? *Frontiers in Energy Research*, June 2014, Vol. 2, pp. 1–13. DOI: [10.3389/feenrg.2014.00023](https://doi.org/10.3389/feenrg.2014.00023).

15. Некрасов А. Г. Основы менеджмента безопасности цепей поставок. — М.: МАДИ, 2011. — 130 с.

16. Яхнеева И. В. Эластичность системы поставок и управление рисками // Проблемы современной экономики. — 2012. — № 3. [Электронный ресурс]: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=4200>. Доступ 05.09.2019.

17. Лукинский В. С., Чурилов Р. С. Оценка надёжности цепей поставок // Логистика. — 2013. — № 4. — С. 36–39.

18. Попадюк К. Н. Влияние жизненного цикла товара на изменение параметров цепи поставок // Маркетинг в России и за рубежом. — 2005. — № 2. [Электронный ресурс]: <http://www.marketing-guide.org/articles/popadyuk.htm>. Доступ 05.09.2019.

19. Сергеев В. И. Управление цепями поставок: Учебник. — М.: Юрайт, 2014. — 479 с.

20. Türkay, M., Saraçoğlu, Ö., Arslan, M. C. Sustainability in supply chain management: aggregate planning from sustainability perspective. *PLoSOne*, 2016, Vol. 11(1), e0147502. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147502>.

21. Булатов А. А., Андрончев И. К., Железнов Д. В., Тяпухин А. П. Комбинированный подход к оценке технического содержания электротехнического оборудования тягового подвижного состава // *Электротехника*. — 2017. — № 3. — С. 45–50.

22. Elkington, J. Enter the triple bottom line: In Henriques, A., Richardson, J. (Eds.): *The triple bottom line: does it all add up?* London, Earthscan, 2004, pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849773348>.

23. Carter, C. R., Rogers, D. S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2008, Vol. 38, Iss. 5–6, pp. 360–387. DOI: [10.1108/09600030810882816](https://doi.org/10.1108/09600030810882816).

24. Фёдоров Л. С., Кравченко М. В. Общий курс логистики: Учеб. пособие. — М.: КНОРУС, 2010. — 224 с.

ОТ РЕДАКЦИИ

Предложенные в статье оценки и подходы нуждаются в обсуждении, и публикация призвана его инициировать. Предлагая её вниманию читателей, нельзя не отметить подчеркнутые рецензентами дискуссионные или неоднозначные, по их мнению, моменты. В их числе — роль транспорта, обоснование акцента на поставки именно ресурсов, соотношение логистики и цепей поставок, достаточность учёта требований стандарта ИСО 28002, относящегося к устойчивости цепей поставок, предлагаемые понятия «управление потоками ценностей» и «управление потоками процессов», обоснованность предложенной по корректировке SCOR- и DCOR-моделей. Вместе с тем, чтобы предоставить возможность ознакомиться с предлагаемой концепцией, при публикации максимально сохранены подходы в авторской редакции. Со своей стороны, редакция готова рассмотреть для публикации аргументированные отклики или подготовленные в развитие дискуссии статьи. ●



Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России для ФГБУН Института экономики УрО РАН.



Sustainability of Resource Supply Systems



Tyapukhin, Alexey P., Institute of Economics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.*

Alexey P. TYAPUKHIN

ABSTRACT

An urgent problem in supply chain management is ensuring their sustainability. The solution to this problem is complicated by vague delimitation of several terms that are adequate to the concept of «sustainability», such as «reliability», «security», «survivability», «resilience», as well as by lack of a systematic approach to determining sustainability of resource supply systems that is composed, according to the author, of sustainability of the basic components of logistics management. The objectives of the study are to clarify the nature of sustainability, to develop a classification and substantiation of the sequence for determining sustainability of resource supply systems, which will increase their competitiveness.

The methodological base of the study includes theoretical provisions of management, logistics, supply chain management, value stream management and logistics management.

The chosen research methods comprise logical-structural methods: terminological

analysis, groupings, typology and classification, involving selection and use of a body of classifying features and components, which, to a necessary and sufficient degree, reflect the essence of the term «sustainability» and its accompanying terms.

The study has resulted in author's definitions of the concepts of «sustainability», «resilience», «flexibility», «survivability», «static character», «dynamism», «reliability», «maneuverability» and «security» of resource supply systems and in recommendations for determining sustainability of systems of this type, consisting of stability of the basic components of logistics management.

The results of the study allow us to create theoretical and methodological prerequisites for determining reliability of technological, trade and logistics links and, using them as a basis, of the channels, chains, fronts and echelons of the resource supply system, as well as to develop recommendations for changing the content of SCOR and DCOR models that form the basis of supply chain management.

Keywords: *resource supply system, sustainability, sustainability management, value, survivability, resilience, flexibility.*

*Information about the author:

Tyapukhin, Alexey P. – Ph.D. (Eng), D.Sc. (Economics), Professor, Director of Orenburg Branch of the Institute of Economics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, aptyapuhin@mail.ru.

Article received 10.09.2019, accepted 23.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 142.

The problem of sustainability of objects of management, which include the resource supply system («totality of suppliers and intermediaries (links) that form supply channels, chains, fronts and echelons and carry out processes of consolidation and disaggregation of resource flows...» [1, p. 98]) is constantly in the center of attention of experts [2].

Yu Xia and Thomas Li-Ping Tang note that «the methods of managing stability of supply systems help to reduce the lead time for customer orders, form flexible supply chains of resources, and reduce the cost of interaction with suppliers. Sustainable supply systems can flexibly respond to market needs and operate with smaller stocks» [3, p. 495].

During the economic crisis (2007–2008 – *author's note*), enterprises involved in sustainable supply chains showed better results compared to those enterprises that made part of traditional supply chains [4, p. 534].

Supply chain sustainability management has received the status of a separate discipline, the specifics of which comprise «management of material, information and capital flows, as well as interaction of enterprises in the form of supply chains (systems – *author's note*), using three aspects of sustainable development as goals, which are economic, environmental and social aspects, taking into account the interests of the client and the requirements of the owners» [5, p. 1700].

The relevance of the problem of sustainability of resource supply systems is due to the following reasons:

- in the context of globalization and growing competition, management of external and internal interested counterparties, from suppliers of raw materials to end consumers of goods (products and services), has become the prerogative of supply chain management, which is currently positioned by researchers as a method of managing sustainability of enterprises [6];

- transformation of supply chains into value creation chains for end consumers of products and services [7, p. 2203], which led to transformation of the problem of their integration into the problem of sustainable development of these chains [8, p. 18];

- high requirements for reliability and other indicators of effectiveness of links in the supply systems of resources, forced to

adapt to the changing values of their end users;

- increased complexity of production and organization structures of logistics systems of this type (i.e. [9, p. 409; 10, p. 5018]);

- presence of cross-functional barriers both inside and outside the links of resource supply systems that impede creation and delivery of values to their final consumers;

- significant risks of activity of systems of this type, due to probability of a negative impact of the results of opportunistic behavior of one or more of their links on the results of the system as of a whole, etc.

The problem of ensuring sustainability of the resource supply system involves solving the interrelated problems of sustainability management of:

- 1) its links;

- 2) main types of this system;

- 3) relationship between its links when exposed to factors of the external and/or internal environment.

The formulation of the above problem is also complex and needs to be structured and formalized. As a first approximation, using such classification features as:

- the number of supply chains of resources (single one, several);

- the number of links in the supply chain of resources (single one, several), we can distinguish four options and establish the relationship between them (Pic. 1).

As follows from the content of Pic. 1, sustainability of resource supply system (starting from its simplest form, the channel) can be determined through stability of:

- resource supply chain, which is fundamentally important from the point of view of the interests of a particular consumer of resources;

- front of resource supply, which is fundamentally important from the point of view of the interests of two or more consumers of resources simultaneously [1, p. 101].

The *objective* of the research is to clarify and supplement the theoretical and methodological aspects of the problem of sustainability of resource supply systems as of a component of their reliability.

As research *methods*, logical-structural methods are selected: analysis, grouping and classification.



		Number of links in resource supply chain	
		One	Several
Number of resource supply chains	One	Sustainability of the link of resource supply <i>(option 1.1)</i>	Sustainability of resource supply chain <i>(option 1.2)</i>
	Several	Sustainability of the front of resource supply <i>(option 2.1)</i>	Sustainability of the echelon of resource supply <i>(option 2.2)</i>

Fig. 1. Options of interpretation of sustainability of resource supply system (developed by the author).

Sources review

S. I. Ozhegov and N. Yu. Shvedova define the concept of «sustainable» as «1. Standing, holding steady, not hesitating, not falling; 2. Not subject to fluctuations, constant, stable, solid» [11, p. 841].

T. F. Efremova notes that «sustainable means able to maintain this position, despite the action of various forces» [12].

Sustainability can mean «ability... of the system to restore the initial (or close to it) state (mode) after any of its violations, manifested in the deviation of the values of the parameters of the mode from the original ones» [13, p. 571].

Ana Paula Barbosa-Póvoa emphasizes that a sustainable supply chain can be described as a complex network system, including various organizations that manage products from suppliers to customers and related redistributions of these products, taking into account social, environmental and economic consequences [14, p. 2].

A. G. Nekrasov defines the concept of supply chain sustainability as follows: «the state of the supply chain, which is in the planned mode of operation, is stable if, for a fixed set of acceptable control actions, limited and relatively small in magnitude disturbing effects lead to limited and relatively small changes in the output variables» [15, p. 51].

The authors of the paper¹ define sustainability of supply chain as «the ability of

supply chain to react and adapt to changes in the external environment so that its assessment indicators are in strictly defined acceptable intervals, or return to their original parameters during a given transition period».

I. V. Yakhneeva points out that: «the most widespread in the foreign scientific community is the provision that to be sustainable means to react and return to the same or better state. Accordingly, the ability to recover is called elasticity of the system» [16].

Besides the concept of «sustainability», the following terms apply in relation to systems (chains) of supply of resources in written sources:

- *security of resource supply chain.* For example, the concept of «security management» was introduced in the source², which is interpreted as «a systematic and coordinated activity by which the organization participating in the supply chain manages its risks, potential threats and impacts associated with them»;

- *reliability of the resource supply chain.* In particular, this term is understood as «the property of the supply chain to maintain, within established limits, the values of all its characteristics and elements (reliability, durability, recoverability, and preservation) that characterize the ability of the chain to perform all its functions in accordance with the terms of contracts between its participants» [17, p. 37];

¹ Definition of the concept «sustainability of supply chains». [Electronic resource]: https://studme.org/68522/logistika/opredelenie_ponyatiya_ustoychivost_tsepey_postavok. Last accessed 05.09.2019.

² GOST R [Russian state standard] 53662-2009 (ISO 28001:2006). The best methods to ensure supply chain security. Estimates and plans. [Electronic resource]: <http://files.stroyinf.ru/Data1/59/59142/>. Last accessed 05.09.2019.

		Operation mode	
		Nominal	Marginal
Indicators of the product's purpose	Relatively stable	Persistence (Storability)	Reliability
	Require adjustment	Durability	Repairability (Maintainability)

Pic. 2. Classification of components (indicators) of the product's reliability ([21], further developed by the author).

- *resilience of the resource supply chain* or, among other things, «the ability... to withstand threats and recover quickly if these threats become a reality and cause significant damage»³;

- *resource supply chain flexibility*. For example, K. N. Popadyuk believes that «chain flexibility is the ability to timely adapt the supply chain to changing customer needs, for example, by changing the share of sales of a product in a portfolio depending on demand or introducing new product modifications to the market» [18];

- *maneuverability of the resource supply chain*. In the presentation of V. I. Sergeev (within the framework of SCOR-model⁴): «maneuverability (or dynamism) means the ability to respond to the influence of external factors, the ability to make changes» [19, p. 84];

- *adaptability of the resource supply chain*. In the same work [19, p. 81] adaptability (AG indicator), is a component of maneuverability (dynamism) of the supply chain and is assessed as «*the maximum attainable steady percentage increase in the number of deliveries...*» [19, p. 86]. By the way, flexibility refers to the same AG indicator, interpreted as «the number of days required to achieve an unplanned sustainable (see definitions of this concept, presented above – *author's note*) increase in the delivered quantity of products» [19, p. 85].

From the content of sources it follows that:

³ Management of the organization resilience. [Electronic resource]: https://studme.org/123707066582/menedzhment/upravlenie_zhiznestoykostyu_organizatsii#701. Last accessed 05.09.2019.

⁴ SCM definitions and Glossary of Terms. [Electronic resource]: http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921. Last accessed 05.09.2019.

- there is a need for research for subsequent integration of all aspects of sustainability of joint ventures into the methodology of designing and planning supply chains for a comprehensive assessment of sustainability of their strategies [20];

- until now, a logically linked set of components (indicators) has not been developed that should have characterized the ability of the resource supply system to achieve its goals while facing negative impact of the external and/or internal environment on it (or reliability of this system);

- creation of the above system involves updating the current approach to managing sustainability and, of course, reliability of the resource supply system, including adjusting the content of SCOR and DCOR models that form the basis of supply chain management.

Thus, the achievement of the objective set in the article is relevant for improving the theory and methodology of logistics, which includes supply chain management as a concept of enterprise management [1, p. 29].

Clarification of the essence of sustainability as a component (indicator) of reliability of the resource supply system

The basic prerequisite for solving this problem is the well-established opinion of experts that the reliability indicator of the finished product is complex, including indicators of reliability, durability, recoverability (maintainability), and storability⁵. Moreover, in [21, p. 46] their classification is proposed (Pic. 2).

The content of Pic. 2 in conjunction with the classification features of the definitions of

⁵ GOST [Russian state standard] 27.002-89. Reliability in the equipment. Basic concepts. Terms and definitions. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200004984>. Last accessed 05.09.2019.



		Functioning mode of the controlled object under negative impact	
		Loss and recovery	Loss and change (increase) in the potential (capacity)
Stability of the objectives of the controlled object	Stable	Sustainability (mode: return)	Flexibility (mode: adaptation)
	Subject to adjustment	Resilience (mode: survival)	Survivability (mode: counteraction)

Pic. 3. Classification of components (indicators) of reliability of the control object (developed by the author).

		Disturbances of the external and internal environment on the control object	
		Insignificant	Significant
Changes in internal variables of the control object	Insignificant	Return	Adaptation
	Significant	Counteraction	Survival

Pic. 4. Classification of the functioning modes of the control object ([15], further developed by the author).

the components (indicators) of reliability of the finished product, allows us to develop a classification of components (indicators) of reliability of the controlled object, which include the resource supply system (Pic. 3).

As follows from the content of Pic. 3:

1) such components (indicators) include sustainability, resilience, flexibility and survivability of the resource supply system;

2) it is advisable to establish the functioning mode of the control object considering the classification features presented in Pic. 4, the basis of which is the point of view of A. G. Nekrasov [15, p. 51];

3) if restoration of the potential (capacity) of the resource supply system is carried out quantitatively, then its change (growth) occurs both quantitatively and qualitatively;

4) classification features that made it possible to identify the components (indicators) of reliability of the controlled object (Pic. 3), in conjunction with the modes of functioning of this object that are adequate for them (Pic. 4), allow us to give them the following definitions:

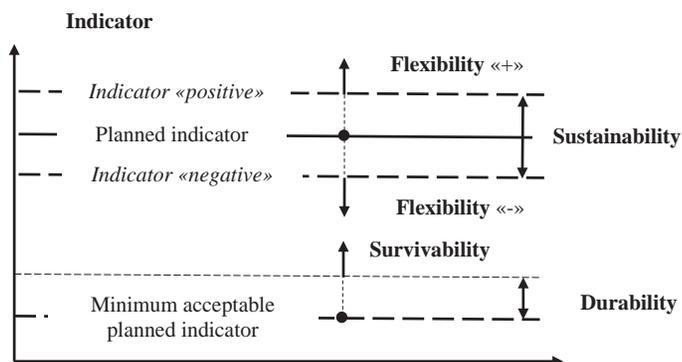
- *sustainability* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the conditions of the negative impact of the external and/or

internal environment in the mode of return to the initial (or close to it) state while maintaining the previously set goals and ensuring subsequent full or partial restoration of its potential;

- *resilience* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the negative impact of the external and/or internal environment in the survival mode (eliminating the likelihood of liquidation) when adjusting previously set goals and ensuring subsequent full or partial restoration of its potential;

- *flexibility* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the conditions of negative impact of the external and/or internal environment in the mode of adaptation to these influences (response to them) while maintaining the goals set before it and ensuring subsequent change (increase) in its potential;

- *survivability* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the negative impact of the external and/or internal environment in the mode of counteracting these effects when adjusting the previously set goals and ensuring subsequent change (increase) in its potential;



Pic. 5. Graphical interpretation of the concepts «sustainability», «flexibility», «survivability», «durability» (developed by the author).

5) a graphical interpretation of the concepts of «sustainability», «flexibility», «survivability», «durability» is presented in Pic. 5, from which it follows that:

- sustainability is ability of the controlled object to achieve the value of the planned indicator in the range established for it;
- flexibility is ability of the controlled object to achieve adjusted values of the planned indicator outside the range originally set for it;
- durability is ability of the controlled object to prevent the achievement of the minimum acceptable planned indicator set for it;
- survivability is ability of the control to improve the value of the minimum acceptable indicator;

6) components (indicators) presented in Pics. 3 and 5 create the basis for formation of complex components (indicators) of reliability of the resource supply system, such as:

- *static character* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the negative impact of the external and/or internal environment in the modes of return to the initial or close state and/or adaptation to these influences while maintaining the previously set goals and ensuring subsequent restoration and/or change (increase) in its potential;
- *dynamism* of the resource supply system is an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions under the negative impact of the external and/or internal environment in the modes of survival and/or counteraction to these influences when adjusting previously set goals and then restoring and/or changing (increasing) its potential;

7) the basic and complex components described above allow us to give the following definition of *reliability* of the resource supply system as of an indicator characterizing the ability of the system to perform its functions: to design, create and deliver value to its end consumers under the negative impact of the external and/or internal environment on it, basing on management by objectives and using growing potential of both the system itself and its links.

Analysis of the above logically linked set of components (indicators) characterizing reliability of the resource supply system allows us to draw the following conclusions:

- ability of the resource supply system to timely and qualitatively adjust objectives, or rather, to manage objectives and potential gains under negative impact on the given system of the external and/or internal environment, can be characterized by *maneuverability* of the resource supply system;
- *security* of the resource supply system is determined by the difference of potentials: available at a given time and necessary in order to maintain the minimum acceptable level of stability under the negative impact on the given system of external and/or internal environment;
- *sustainability and durability* of the resource supply system are ensured using the traditional management systems: goals, objectives, principles, functions, methods, and approaches. Under the negative impact of the external and/or internal environment, the managerial staff of the resource supply system believes that they are temporary in nature and therefore develops and applies defensive strategies as a response, for example, *a strategy to cut off excess*;



Options of ratios of the indicators of sustainability of the resource supply channel (developed by the author)

Previous channel link	Subsequent channel link			
	Flexibility (F)	Sustainability (Su)	Survivability (Sr)	Durability (D)
Flexibility (F)	F-F	F-Su	F-Sr	F-D
Sustainability (Su)	Su-F	Su-Su	Su-Sr	Su-D
Survivability (Sr)	Sr-F	Sr-Su	Sr-Sr	Sr-D
Durability (D)	D-F	D-Su	D-Sr	D-D

		Object whose sustainability is controlled	
		Natural (material)	Human resources
Priorities of sustainability management	Consolidation and maintaining the results achieved	Economic sustainability	Social sustainability
	Creation of prerequisites for the long-term development	Environmental sustainability	Innovative sustainability

Pic. 6. Classification of sustainability of the resource supply system (developed by the author).

• *flexibility and survivability*, in turn, are supported in implementation of offensive strategies aimed, inter alia, at developing management systems, for example, by diversifying the activities of resource supply systems;

• *since the resource supply system is a complex controlled object*, its links can focus on priority components of reliability for them. For example, one link that gravitates toward initial suppliers is durability, and the other, located in the supply chain closer to the end consumer, is flexibility. Variants of the ratios of indicators of sustainability of a system of this type at the example of the resource supply channel are presented in Table 1.

This aspect involves creation of a methodology that provides an integrated approach to assessing reliability of both individual links and the resource supply system as a whole.

The information presented in Pics. 3 and 5, creates the basis for highlighting the main types of sustainability of resource supply systems. The solution to this problem in relation to a specific enterprise (link) is described in [1, p. 345]. As a result of the use of such classification features as:

• object whose sustainability is controlled (natural (material) resources, human resources);

• sustainability management priorities (consolidating and maintaining the results achieved, creating the prerequisites for long-term development),

four types of sustainability of the resource supply system can be substantiated which are *economic, social, innovative, and environmental* sustainability (Pic. 6).

This aspect of the study:

• clarifies the point of view of researchers studying sustainability of supply chains with an emphasis on three rather than four groups of goals: particularly on social, environmental and economic goals [5, p. 1700; 22, p. 2];

• supposes assessing sustainability of the resource supply system, considering not only their types (Pic. 1), but also the business processes they perform. For example, social sustainability is assessed from the perspective of such business processes of logistics as personnel management, management of relationship with suppliers and consumers, and innovative sustainability is assessed from the point of view of management of goods (products and services), technological and logistics management (order fulfillment and return management) [1, p. 51].

The concept and structure of the logistics sustainability of the supply chain of resources

Craig R. Carter and Dale S. Rogers define supply chain sustainability as «strategic,

		Change in quantitative and qualitative characteristics of the resources	
		Do not change	Change
Type of the resources processed	Material	Logistics sustainability	Technological sustainability
	Financial	Trade sustainability	Investment sustainability

Pic. 7. Classification of economic sustainability of the resource supply system (developed by the author).

transparent integration and achievement of social, environmental and economic goals of the company in the system coordination of key inter-organizational business processes to improve long-term economic performance of the activity of this company and its supply chains» [23, p. 368].

If we adhere to orientation towards achieving sustainability of resource supply systems through implementation of business processes with their subsequent division into functions, we can distinguish the main components of economic sustainability of these systems.

To solve this problem, it is advisable to use the following classification features:

- type of the processed resources (material, financial (monetary));
- change in quantitative parameters and qualitative characteristics of resources (do not change, change).

As a result, four types of economic sustainability of resource supply systems can be distinguished: logistics, trade, technological and investment type of economic sustainability (Pic. 7).

It should be noted that:

- logistics sustainability (from the position of logistics management, but not from the position of logistics) is more or less related to the trade, technological and investment sustainability of the resource supply system;

- logistics sustainability refers to consolidation and disaggregation of batches of resources while maintaining quantitative parameters and qualitative characteristics of a resource unit;

- technological sustainability of the resource supply system is evaluated in case of changes in the geometric dimensions, mass, composition and configuration of a resource unit;

- trade sustainability of the resource supply system is associated with sustainability of relations of its links regarding acquisition and/or transfer of ownership of resources;

- investment sustainability is assessed not only when the resource supply system is maintained in conditions of commodity-money relations, but also when they change, leading to a violation of sustainability of this system.

The structure of the logistics sustainability of the resource supply system can be clarified if we use the source data [1, p. 29] and classification features:

- the state of a value⁶ of a supplier/consumer (ready-to-use, being created);
- the state of resources in time and space (dynamics (change), static nature (conservation)), presented in Pic. 8.

As follows from Pic. 8:

- the main component of logistics sustainability is sustainability of the flow of resources or of the moving mass of these resources, and if this mass stops moving, then the logistics sustainability should be assessed from the position of stock sustainability. Recall that the flow of resources, like the stock of resources, is the object of logistics management as a concept of enterprise management [1, p. 90];

- the resource flow, in turn, can move due to implementation of logistics processes, the typology of which is presented in [1, p. 131]. These processes are implemented as part of logistics management which is «a type of activity of enterprises that is associated with concentration, distribution and movement of flows of material, information, financial and human resources using the optimal paths for

⁶ The term originally used by the author is of most general character and is consistently translated further-on as «value» to avoid ambiguity, while in certain cases below it can be interpreted as tangible values, material assets, etc. — *ed. note.*



		State of a value of a supplier/consumer	
		Ready-to-use	Being created
State of resources in time and space	Dynamics (change)	Resource flow sustainability	Process sustainability
	Statistic nature (preservation)	Reserve (stock) sustainability	System sustainability

Pic. 8. Classification of components of the logistics sustainability of the resource supply system (developed by the author).

		Value characteristics	
		Maintain	Change
Perception of value by the consumer	Positive	Sustainability	Increase in sustainability
	Negative	Non-sustainability	Decrease in sustainability

Pic. 9. Classification of options of sustainability of perception of value by its consumer (developed by the author).

them to consumers located within certain territories, in accordance with the objective, which enterprises achieve together as links in the resource supply chain» [1, p. 69]. Therefore, when managing logistics sustainability, sustainability of logistics processes should be considered;

- logistics processes are performed by links of a system (chain) of supply of resources, which is the object controlled by such a component of logistics as supply chain management [1, p. 29]. It is logical to assume that within the framework of logistics sustainability, it is necessary to consider sustainability of systems that perform logistics processes. In contrast to resource supply systems, systems of this type represent logistics links (subsystems) of resource supply systems;

- the links that absorb the resource flow are their end users. As theory and practices show, effective management of relations with these consumers is based on «creation, communication, delivery and exchange of offers that are valuable to consumers, customers, partners and society as a whole»⁷;

- values of end-users of resources in space and in time form flows. The value flow means «totality of the unique characteristics of objects

and processes united by certain signs that are sequentially felt by the consumer in space and time depending on his material, mental or spiritual state» [1, p. 56]. The value flow of the end user of resources is the object controlled by such a component of logistics as value management [1, p. 29];

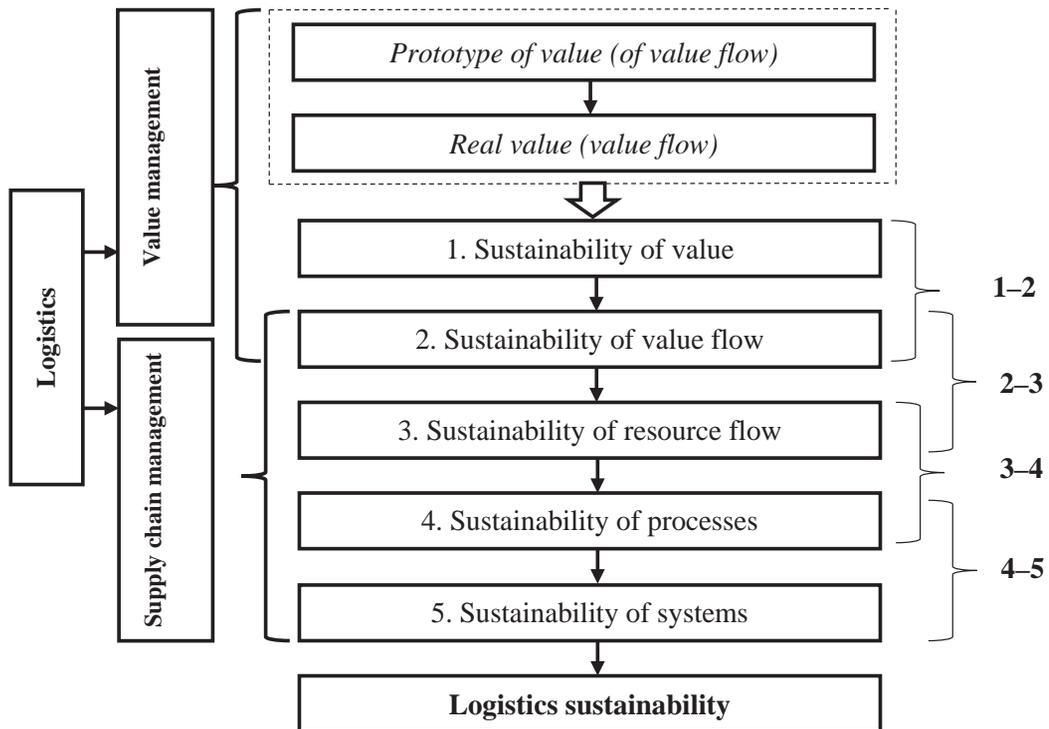
- the main indicator that predetermines sustainability of the resource supply system is the indicator of value sustainability (of value flow sustainability), which, in turn, depends on sustainability of perception of a given value (as well as of value flows) by its end user. It is this indicator that allows to delimit in detail reliability indicators of the resource supply system, presented in Pics. 3 and 5.

Let us turn to Pic. 9, which highlights not only options for sustainability of perception of value by its end user, but also the sequence of its changes in accordance with stages of the life cycle of goods (of product and/or service), respectively: increasing sustainability → sustainability → decreasing sustainability → non-sustainability → increasing sustainability (or rejection of the value created and delivered by the resource supply system).

As follows from the content of Pic. 9:

- static nature (sustainability and flexibility) of the resource supply system is evaluated and corrected when there is no non-sustainability of perception of value by its consumer (in a negative scenario, its decrease is observed);

⁷ About AMA. [Electronic resource]: <https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx>. Last accessed 05.09.2019.



Pic. 10. Sequence of determination of logistics sustainability of the resource supply system (developed by the author).

- dynamism (durability and survivability) of the resource supply system is relevant in case of non-sustainability of perception of value by its consumer, which the marketing services of the final links of the resource supply system should be able to evaluate and control.

The sequence of determining sustainability of the supply chain system

The above material, inter alia:

- confirms the author’s point of view that logistics, as a concept of enterprise management, includes two basic components: supply chain management and value management [1, p. 29] (the left side of Pic. 10);

- allows to develop a sequence for determining the logistics sustainability of the resource supply system (the right part of Pic. 10).

As follows from this picture:

- logistics sustainability is formed on the basis of transition from determining sustainability of one controlled object to another: from determining value sustainability

to determining sustainability of the value flow (relationship 1–2); from determining sustainability of the value flow to determining sustainability of the resource (stock) flow (relationship 2–3), etc. The methodology for managing the logistics sustainability of the resource supply system is subject to a separate study;

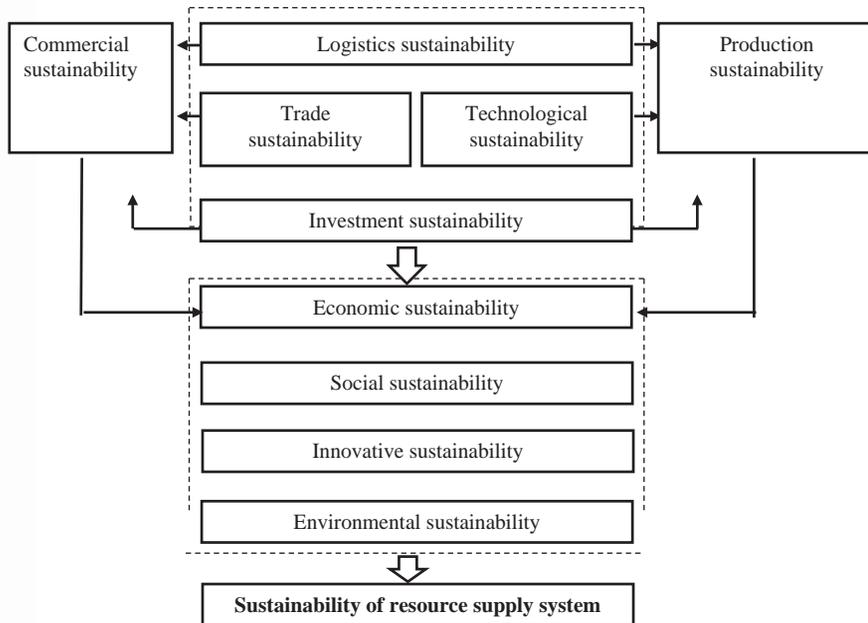
- when managing the value flow, not only sustainability of the value flow should be taken into account, but also sustainability of the individual value of the end consumer of resources should be considered;

- sustainability of the value flow should be in the field of view of both management of value flows and supply chain management;

- logistics sustainability only partially characterizes sustainability of the resource supply chain and is one of the indicators of effectiveness of logistics management;

- sustainability of systems within the framework of logistics sustainability of resource supply systems provides, particularly, the





Pic. 11. Sequence of determining sustainability of resource supply system (developed by the author).

logistics sustainability of its main types: channels, chains, fronts, and echelons.

Sustainability of the resource supply system as of a whole is determined in accordance with the sequence presented in Pic. 11.

As follows from this picture:

- logistics sustainability refers to the logistics links of the resource supply system, as well as to their units performing logistics processes;
- logistics sustainability together with trade and investment sustainability forms commercial sustainability of the links of the resource supply system of all types;
- logistics sustainability, together with technological and investment sustainability, forms production sustainability of the technological links of the resource supply system;
- taking into account commercial and production sustainability, economic sustainability of the resource supply system can be determined;
- along with other types of sustainability, economic sustainability allows formation of sustainability of the resource supply system in general.

Conclusion.

Thus, the following elements of scientific novelty are obtained in the article:

- the essence of sustainability as of a component of reliability of the resource supply system (Pics. 3, 4, 5, and 7) is clarified;

- definitions of sustainability, durability, flexibility, survivability, static nature, dynamism, reliability, maneuverability and security of resource supply systems are suggested;

- sequences of determining sustainability of the resource supply system are proposed (Pics. 10 and 11).

Besides, from the point of view of logistics, it is proposed to replace the concepts of «value management» and «supply chain management» with more correct concepts in terms of content, respectively, «value flow management» and «process flow management» (not to be confused with «stream processes», i.e. [24, p. 24]).

Further research assumes:

- to develop a methodology for determining sustainability of value flows of end users of resources which is a new concept in the field of logistics and marketing as concepts of enterprise management;
- to clarify the content of methods for determining the remaining (except for sustainability) components of reliability of resource supply systems;
- to create theoretical and methodological prerequisites for determining reliability of technological, trade and logistics links and, on their basis, of channels, chains, fronts and echelons of the resource supply system in various commodity (goods, products and services) markets;

- to suggest recommendations on adjusting the content of SCOR- and DCOR-models, which form the basis of supply chain management or, in the opinion of the author, process flow management.

REFERENCES

1. Tyapukhin, A. P. Logistics. Supply Chain Management [*Logistika. Upravlenie tsepyami postavok*]. Moscow, KnoRus, 2018, 454 p.
2. Sarkis, J. A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management*, 2012, Vol. 17, No. 2, pp. 202–216. DOI: <https://doi.org/10.1108/13598541211212924>.
3. Yu Xia; Li-Ping Tang, Thomas. Sustainability in supply chain management: suggestions for the auto industry. *Management Decision*, 2011, Vol. 49, Iss. 4, pp. 495–512. DOI: [10.1108/002517411111126459](https://doi.org/10.1108/002517411111126459).
4. De Brito, M. P., Carbone, V., Blanquart, C. M. Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: organization and performance. *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 114, No. 2, pp. 534–553. DOI: [10.1016/j.ijpe.2007.06.012](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.06.012).
5. Seuring, S., Müller, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 2008, Vol. 16, Iss. 15, pp. 1699–1710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.
6. Reefke, H., Sundaram, D. Key themes and research opportunities in sustainable supply chain management – identification and evaluation. *Omega*, 2017, Vol. 66, Part B, pp. 195–211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.02.003>.
7. Ramirez, E. Consumer-defined sustainably-oriented firms and factors influencing adoption. *Journal of Business Research*, 2013, Vol. 66, Iss. 11, pp. 2202–2209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.01.012>.
8. Krause, D. R., Vachon, S., Klassen, R. D. Special topic forum on sustainable supply chain management: introduction and reflections on the role of purchasing management. *Journal of Supply Chain Management*, 2009, Vol. 45, No. 4, pp. 18–25. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03173.x>.
9. Schütz, P., Tomasgard, A., Ahmed, S. Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition. *European Journal of Operational Research*, 2009, Vol. 199, Iss. 2, pp. 409–419. DOI: [10.1016/j.ejor.2008.11.040](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.11.040).
10. Corominas, A., Mateo, M., Ribas, I., Rubio, S. Methodological elements of supply chain design. *International Journal of Production Research*, 2015, Vol. 53, Iss. 16, pp. 1–14. DOI: [10.1080/00207543.2015.1013641](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1013641).
11. Ozhegov, S. I., Shvedova, N. Yu. Explanatory dictionary of the Russian language [*Tolkoviy slovar' russkogo yazyka*]. Moscow, Azbukovnik, 1998, 944 p.
12. Efremova, T. F. The modern explanatory dictionary of the Russian language: in 3 vol. [*Sovremenniy tolkoviy slovar' russkogo yazyka: v 3 t.*]. Moscow, AST, 2006, 3312 p. [Electronic resource]: <http://tolkslovar.ru/u3039.html>. Last accessed 05.09.2019.
13. New Polytechnical Dictionary [*Noviy politekhnicheskii slovar'*]. Ch. ed. Ishlinsky, A. Yu. Moscow, Scientific publishing house «Big Russian Encyclopedia», 2000, 671 p.
14. Barbosa-Póvoa, A. P. Process supply chains management – where are we? Where to go next? *Frontiers in Energy Research*, 2014, Vol. 2, pp. 1–13. DOI: [10.3389/fenrg.2014.00023](https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00023).
15. Nekrasov, A. G. Fundamentals of supply chain security management [*Osnovy menedzhmenta bezopasnosti tsepei postavok*]. Moscow, MADI, 2011, 130 c.
16. Yakhneeva, I. V. The elasticity of the supply system and risk management [*Elastichnost' sistemy postavok i upravlenie riskami*]. *Problemy sovremennoi ekonomiki*, 2012, Iss. 3. [Electronic resource]: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=4200>. Last accessed 05.09.2019.
17. Lukinsky, V. S., Churilov, R. S. Assessment of reliability of supply chains [*Otsenk nadezhnosti tsepei postavok*]. *Logistika*, 2013, Iss. 4, pp. 36–39.
18. Popadyuk, K. N. Influence of the product life cycle on changing supply chain parameters [*Vliyaniye zhiznennogo tsikla tovarov na izmeneniye parametrov tsepi postavok*]. *Marketing v Rossii i za rubezhom*, 2005, Iss. 2. [Electronic resource]: <http://www.marketing-guide.org/articles/popadyuk.htm>. Last accessed 05.09.2019.
19. Sergeev, V. I. Supply chain management: Textbook [*Upravlenie tsepyami postavok: Uchebnik*]. Moscow, Yurait, 2014, 479 p.
20. Türkay, M., Saraçoğlu, Ö., Arslan, M. C. Sustainability in supply chain management: aggregate planning from sustainability perspective. *PLoSOne*, 2016, Vol. 11(1), e0147502. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147502>.
21. Bulatov, A. A., Andronchev, I. K., Zheleznov, D. V., Tyapukhin, A. P. A combined approach to assessing the technical content of electrical equipment of traction rolling stock [*Kombinirovanniy podkhod k otsenke tekhnicheskogo sodержaniya elektrotekhnicheskogo oborudovaniya tyagovogo podvzhnogo sostava*]. *Elektrotekhnika*, 2017, Iss. 3, pp. 45–50.
22. Elkington, J. Enter the triple bottom line: In: Henriques, A., Richardson, J. (Eds.): *The triple bottom line: does it all add up?* London, Earthscan, 2004, pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849773348>.
23. Carter, C. R., Rogers, D. S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2008, Vol. 38, Iss. 5–6, pp. 360–387. DOI: [10.1108/09600030810882816](https://doi.org/10.1108/09600030810882816).
24. Fedorov, L. S., Kravchenko, M. V. General course of logistics: Study guide [*Obshchiy kurs logistiki: Ucheb. posobie*]. Moscow, KNORUS, 2010, 224 p.

EDITORIAL NOTE

The assessments, judgments, and approaches suggested in the article require a debate, and its publication is called to initiate the discussion. Offering the paper to the attention of the readers, it is worth noting aspects highlighted by the reviewers and considered by them disputable or ambiguous. They comprise the role of transportation; substantiation of the focus on resources in supply; relationship of logistics and supply chains; missing consideration of the requirements set by ISO 28002 standard, describing sustainability of supply chains; suggested concepts of value flow management and process flow management; propriety of proposals on correction of SCOR and DCOR models. Hence, original author's approaches are maximally preserved to offer a possibility to get acquainted with suggested concept. For its part, the journal is fully available to consider well-reasoned reviews and articles to develop the discussion. ●

The article was prepared in the frame of research assignment of the Ministry of higher education and science of Russia to the Institute of Economics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.





Экономические предпосылки оценки сфер применения искусственных сооружений на транспорте



Вячеслав СОЛОВЬЕВ

Соловьев Вячеслав Владимирович – Дирекция по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

Цель исследования состоит в поиске эффективных проектных решений при расширении сети пассажирских перевозок за счёт высокоскоростного рельсового транспорта. Занимающие значительную часть инфраструктуры высокоскоростных линий искусственные сооружения требуют пересмотра подходов к экономической оценке и обоснованию проектных решений. Рассмотрены экономические проблемы, сопутствующие процессам проектирования высокоскоростных железных дорог. В связи с различием условий и стандартов в разных странах возникла необходимость адаптации проектных решений, при этом требуется их экономическое обоснование. Актуальность проблем оптимизации конструкций обусловлена значительными объёмами работ при ожидаемом начале создания в России обособленных высокоскоростных линий. Научная значимость исследований состоит в актуализации традиционных подходов, свойственных технико-экономическому анализу, применительно к новым задачам железнодорожного строительства.

Информационной базой исследования послужили публикации отечественных и зарубежных учёных в области инфраструктуры железнодорожного транспорта. Для анализа затрат использована стандартная методология расчёта стоимости на основе сметно-нормативной базы.

Ключевые слова: железные дороги, железнодорожный транспорт, высокоскоростные магистрали (ВСМ), искусственные сооружения, насыпь, эстакада, слабые грунты, сравнение, стоимость, экономический анализ.

Стоимостное сопоставление вариантов представлено в выборочной структуре затрат, что методически способствует выделению сравниваемых стоимостей.

Основным практическим результатом работы следует считать формализацию функции стоимости современных конструкций искусственных сооружений для высокоскоростного транспорта. Традиционной для железнодорожного транспорта задача выбора насыпи либо эстакады решена на основе анализа применяемых проектных решений. Для земляного полотна учтены современные методы укрепления, необходимые для стабильности пути. При анализе сметных затрат на сооружение пролётных строений выявлены значительные несоответствия перспективных технологий учётным в расценках ресурсно-технологическим моделям. Это ставит под сомнение возможность использования в проектах высокоскоростных железных дорог традиционных подходов к применению искусственных сооружений.

Для обоснования конструктивных и технологических решений для высокоскоростного транспорта необходим целый комплекс работ по совместной разработке технологических схем и стоимостных нормативов. В случае России действующая сметно-нормативная база не позволяет выполнять достоверные экономические обоснования сфер применения конструкций.

*Информация об авторе:

Соловьев Вячеслав Владимирович – кандидат экономических наук, ведущий инженер Службы методологии ценообразования Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, s35681@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019, принята к публикации 21.09.2019.

For the English text of the article please see p. 176.

Традиционная практика использования в проектах строительства новых железных дорог тех или иных конструктивных решений имеет значительный эволюционный путь. В его основу заложены нормы проектирования, технологические возможности, а также экономические условия, служащие основой при обосновании на предпроектной стадии.

В настоящий момент отечественный железнодорожный транспорт оказался на пороге новой эпохи создания полномасштабной сети высокоскоростных магистралей (ВСМ). Это определяет новую *цель* в сфере технико-экономического анализа — обеспечение проектов строительства научно обоснованным инструментарием выбора проектных решений. Особенность состоит в том, что имеющийся в настоящее время опыт наработан за длительный период создания и эксплуатации железных дорог со скоростями движения до 160–200 км/ч, и использование его при предпроектном анализе ВСМ будет приводить к несовместимым решениям, не удовлетворяющим требованиям как экономичности строительства, так и удобства эксплуатации. Первоочередной задачей на этапе, когда строительство не начато, но имеются проектные решения, является изучение практики сооружения ВСМ за рубежом и отбор наиболее эффективных для России конструктивно-технологических решений с последующей их адаптацией к особенностям отечественного строительства.

В разрезе проблем агломерационного развития высокоскоростной железнодорожный транспорт достаточно хорошо рассмотрен зарубежными исследователями [1; 2].

Практика экспертизы проектных решений в рамках Экспертного совета ВСМ в Российском университете транспорта выявила ряд серьёзных проблем и соответствующих им направлений исследования. Общей трудностью в вопросах назначения определённых конструкций, на что ориентируют авторы [3], является отсутствие практических опытных данных по поведению элементов инфраструктуры при скоростях движения более 300 км/ч. Во всяком случае, такие скорости (300–350 км/ч) считаются наиболее приемлемыми для сети рельсовых ВСМ во Франции, Японии,

Китае [4]. Несмотря на развитость методов моделирования, аналогичная ситуация складывалась и при проектировании Московской монорельсовой транспортной системы, когда выбор конструкций производился без расчёта показателей сравнительной экономической эффективности, только лишь на основе граничных технических условий, которые к тому же оказались завышенными.

Данный опыт является предупреждением при реализации гораздо более капиталоемких проектов строительства трасс ВСМ о том, что уже на стадии экспертного обсуждения необходимо определять «слабые места» в экономическом смысле и предлагать экономически обоснованные решения по их оптимизации. Одной из подобных проблем, рассмотренных автором, стал выбор между насыпью и эстакадой при проектировании трассы. Данный выбор в транспортном строительстве в подавляющем большинстве случаев решался в пользу насыпи даже несмотря на то, что дефицит производительности механизированных комплексов по сооружению земляного полотна ощущался довольно остро, увеличивая сроки строительства дорог. Лишь в условиях особо сложного рельефа местности (IV категория), отечественные и зарубежные проектировщики применяли виадуки [5]. Обоснованием применения виадука служила техническая невозможность устройства насыпи. Для более благоприятных же условий трассирования сопоставление сметных затрат на сооружение эстакады и насыпи всегда определяло последнюю в качестве экономически эффективного варианта [6]. Аналогичные воззрения существуют и у исследователей в области нерельсового скоростного транспорта [7].

Принимать данную закономерность в качестве правила допустимо для новых железных дорог широкой колеи, хотя и со значительной оговоркой: соотношение технологических, стоимостных, экологических и социальных факторов при сравнении варианта не является постоянным, со временем их количественные пропорции меняются и вполне естественным образом изменяются области рационального применения конструкций. Однако, применительно к обычным железным дорогам





Рис. 1. Эстакада ВСМ малой высоты в Китае (<http://news.southcn.com>).

актуальность данной проблемы ограничена малыми объёмами их строительства [8]. Объём же строительства, например, в проекте двухпутной ВСМ «Москва–Казань» составлял 760 км, при этом расположение трассы предполагалось в достаточно однородных условиях с перспективой продления до Екатеринбурга [9, с. 1].

Второй причиной пересмотра ранее выявленных закономерностей является кардинальное различие в условиях проектирования. Строительный комплекс в этом случае изначально должен быть ориентирован на использование эффективных решений, на освоение в качестве типовых рациональных технологий, на закупку соответствующей техники. Конкурирующими вариантами при выборе искусственных сооружений являются европейские [10; 11] и китайские [12] технологические схемы эксплуатации транспортных систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приведённые выше предпосылки обусловили выбор *тематики* исследований – поиск экономически обоснованных сфер применения насыпей и эстакад для высокоскоростных магистралей. Основные конструктивные решения были приняты к сопоставлению согласно проектной документации, разработанной для строительства первой в России обособленной трассы ВСМ «Москва–Казань».

Для перспективных магистралей, реализующих принцип магнитной левитации, вопросы выбора и обоснования типов искусственных сооружений являются в наибольшей степени актуальными. В работах В. Е. Красковского [7] отмечается, что доля эстакадных участков может достигать до 100 %, однако, участки с насыпями в качестве основания остаются, и технические возможности устройства систем магнитного подвешивания сохраняются в условиях применения в проектах земляного полотна. Факторы, усиливающие роль эстакад, приводятся автором в виде традиционной для скоростных линий совокупности – недопущение расщепления трассой используемых в народном хозяйстве земель, сокращение их отчуждения и безопасность движения на высоких скоростях. Динамические взаимодействия подвижного состава и сооружений путевой инфраструктуры являются граничными условиями в задачах экономического сравнения ввиду их влияния на безопасность движения [13; 14]. Это позволяет сделать суждение, что набор причин для переноса трассы целиком на эстакаду, одинаков по сравнению с традиционным рельсовым транспортом.

Также сходным с традиционными выводами о рациональной области применения насыпей на железных дорогах является исследование авторов [15] о климатических особенностях как фактора, влияющего на экономические преимущества. За

рубежом развитие технологий поточного мостостроения при сооружении протяжённых эстакад привело к снижению практической границы принимаемых решений до 5–7 метров. Подтверждением этому может служить опыт проектирования китайских ВСМ, где успешно применяются эстакады, начиная с высоты 6–7 метров (рис. 1).

При осуществлении экономического анализа затрат на возведение насыпей следует исходить из того, что качество грунтового массива оказывает значительное влияние как на технические решения, так и на стоимость насыпи. В достаточной степени проблема усиления насыпей и строительства эстакад ВСМ решена на практике за рубежом [16], однако, использование зарубежных экономических критериев сравнения недопустимо по причине разности в структуре затрат на строительство в разных странах. В практике проектирования принят устоявшийся термин «слабые грунты», причём значение его не столько геоморфологическое, сколько формообразующее для линейно-протяжённых сооружений.

Здесь уместным будет упомянуть один из принципов, сформулированных В. М. Фридкиным при решении задачи об оптимальной конфигурации комплекса искусственных сооружений: «*Задачу оптимизации необходимо решать с учётом сценариев поведения сооружения при его эксплуатации. Такие сценарии должны отражать варианты изменения во времени экономических, природных и социальных условий работы сооружения и его обслуживания. В алгоритмах оптимизации необходимо увязывать выбор значений конструктивных коэффициентов качества с достижением согласованного оптимума экономических критериев при различных (прежде всего, нормативных) сценариях эксплуатации сооружения*» [17, с. 88]. Данный подход имеет, помимо прочего, своё применение при расчёте укрупнённых показателей стоимости, о чём упоминалось ранее в работах автора [18]. Укрупнение нормативных показателей сметной стоимости с привязкой к упомянутым «конструктивным коэффициентам» позволяет определять эффективные варианты по критерию минимума капитальных затрат. Экономические последствия эксплуатационной фазы обладают иными

свойствами — структура измерителей затрат и их вероятностные характеристики не позволяют привязывать их к проектным решениям. По этой причине для выбора эффективного решения целесообразно агрегирование показателей капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Наиболее распространённый метод — использование приведённых строительно-эксплуатационных затрат в качестве сравнительного критерия. Его применение в отечественной практике предшествовало современным подходам к сравнению на основе дисконтированных потоков [19], однако в настоящее время сохраняется возможность сравнения отдельных технических решений на основе приведённых затрат. Речь идёт, в основном, о конструктивных элементах сооружения, не имеющих обособленного экономического значения, и не влияющих на технологическую модель сооружения. Примером могут выступать разные варианты опор, фундаментов, облицовочных материалов при условии сохранения габаритов, нагрузок и надёжности сооружения в целом. Сходным путём определима эффективность замены одних типов водопропускных искусственных сооружений на другие — малых мостов на трубы.

В соответствии с требованиями действующих методических документов следует применять дисконтирование денежных потоков, в том числе при внедрении инноваций. Поскольку рассматриваемые вопросы применения новых решений в проектах перспективных скоростных линий составляют ядро проблемы выбора оптимального инфраструктурного комплекса, следует при рассмотрении российского примера обратиться к СТО РЖД 08.005-2011 «Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок оценки эффективности инновационных проектов». В качестве основных показателей для сравнения указаны: чистый дисконтированный поток, индекс доходности и срок окупаемости. Для рассматриваемой в статье задачи выбора в рамках крупного инвестиционного проекта автором предложен критерий K_b , представляющий собой дисконтированный поток:

$$K_b = NPV = \sum_{t=1}^T CF_t (1+r)^{-t},$$



где CF_t — годовой денежный поток, обусловленный вариантом инновационного решения;

E — ставка дисконтирования;

T — расчётный период.

В этом случае предполагается наличие определенных финансовых потоков, которые возможно связать с каждым вариантом технического решения, при этом нет необходимости при каждом расчёте корректировать срок окупаемости всего проекта. Нелинейность относительно времени задаётся через стандартный множитель $(1+E)^{t-1}$. Такая процедура расчёта весьма удобна и оправдана для комплекса железной дороги, когда модель доходов от перевозочной или иной деятельности находится в одной концептуальной модели. Если же речь идёт об элементе транспортной инфраструктуры, в том числе о расширении сферы его применения в проекте, доходная часть потока непосредственным способом определена быть не может. Возникает ситуация методического «распутья», когда имеется несколько решений задачи, и выбор определяется степенью квалификации, свободы и заинтересованности субъекта.

Основываясь на этом, становится возможным выполнять стоимостное сравнение в вариантной постановке, избегая полного расчёта затрат по традиционной структуре сметной стоимости. К преимуществам этого метода следует отнести также и то, что отсутствует формальная необходимость индексации затрат. Содержание показателей определяется действующей технологией создания продукции на момент расчёта. Это равнозначно принципам учёта технологической модели при проектировании сметных норм, когда единожды учтённая технология существует в нормативной базе, обеспечивая не только расчёт абсолютных показателей стоимости, но и точность при сравнительном экономическом анализе.

Для разрешения вопроса об эффективных сферах применения таких конструкций, следует опираться на имеющийся опыт сооружения высокоскоростных магистралей. В настоящее время наиболее подходящей моделью при проектировании сети ВСМ следует считать китайскую систему высокоскоростных железных дорог. Причин этому можно привести несколько:

- территориальная схема полигона, его размеры, густота сети и расположение районов тяготения в большей степени соответствуют российским условиям, чем аналогичные показатели европейских и, тем более, японских ВСМ;

- преобладающие геоморфологические формы и климатические особенности северной части Китая являют собой достаточные по уровню сложности условия трассирования;

- климат в северных провинциях Китая предъявляет похожие требования к строительству и эксплуатации как насыпей, так и эстакад;

- система землепользования и относительные показатели стоимости отчуждения земель аналогичны российскому Нечерноземью. Здесь же следует отметить сопоставимый с Россией уровень экологических требований, который ограничивает отдельные проектные решения.

Однако наряду с общими чертами, существуют и серьёзные различия, связанные преимущественно с различным технологическим уровнем строительного комплекса России и всех государств с развитой сетью ВСМ. Особенностью российского железнодорожного строительства является традиционное развитие механизированных комплексов для постройки земляного полотна. Благодаря этому, в настоящее время выполнение больших объёмов земляных работ перестало быть определяющим фактором при выборе варианта трассы. Данный аспект наиболее значим для железнодорожных линий с руководящими уклонами более среднего уклона местности.

Это обуславливает довольно большое значение практической высоты перехода от насыпи к эстакаде. Под практической высотой в данном случае следует понимать устоявшуюся в практике проектной деятельности среднюю высоту насыпи при переходе к эстакаде. Такой переход традиционно имеет применение на подходах к мостам через определённые преграды, вопрос же замены насыпи эстакадой на протяжённых участках трассы без наличия локализованных пересекаемых преград в отечественной практике до начала активного роста городских агломераций в последние десятилетия массово не рассматривался. Эстакадные участки взамен насыпей стали появляться в проектных реше-

ниях в городах и в сложных инженерно-геологических условиях при проектировании нескоростных железных дорог. Даже насыпи высотой более 20 метров являлись конкурентоспособными ввиду технологической освоенности их сооружения ещё в начале XX века [20, с. 262]. Во многом этому способствовала ремонтпригодность верхнего строения пути на балласте, позволявшая компенсировать осадки земляного полотна досыпкой балластной призмы.

Появление высокоскоростных линий, устраиваемых на безбалластном пути, сразу же определило новый уровень требований к допустимым деформациям системы «основание—насыпь». Невозможность производить выправку пути традиционным способом предполагает малые осадки в процессе эксплуатации, причём настолько малые, что обеспечить их при традиционных конструкциях земляного полотна практически невозможно. Конструктивные особенности насыпей высокоскоростных магистралей можно рассмотреть на примерах достаточно развитой сети высокоскоростных линий Китая. В качестве мер по снижению величины эксплуатационной осадки применяется комплексный подход, включающий в себя устройство свайного основания насыпи, армогрунтовых конструкций — георешёток, укладку бентонитовых матов, повышенное уплотнение тела насыпи и, наконец, замену верхней части насыпи на защитные слои. Такое насыщение земляного полотна инженерными решениями приводит к значительному росту сметных затрат на километр трассы. Также при сравнении с насыпями следует учитывать и более широкую основную площадку при высокоскоростном движении — 14,2 м.

Усиление насыпей представляет собой синтез из известных ранее технических решений, но массовой практики усиления в отечественном железнодорожном строительстве не имеется в виду особых динамических взаимодействий [21]. По этой причине анализ затрат на усиление требует сопоставления используемых технологий как в России, так и за рубежом. Основной критерий сравнения отдельно взятого мероприятия — погонная стоимость на 1 км трассы. При этом учёту подлежат особенности мероприятия усиления, присущие другим видам строительства, где в состав проектов вклю-

чаются новые виды работ и конструкций по укреплению земляных масс.

Недостаточная для удовлетворения требований Специальных технических условий прочность основания насыпи вызывает необходимость устройства сплошного свайного поля с гибким ростверком из георешётки [22]. Гибкий ростверк из георешётки имеет стоимость строительно-монтажных работ в размере 7,70 руб. на 1 м² в базисных ценах на 01.01.2000 г. Учитывая, что по проекту ВСМ на 221 тыс. м³ буронабивных свай (БНС) приходится 790 тыс. м² георешётки, на 1 м³ БНС можно отнести 3,57 м² георешётки. Соотнесение данного показателя с зарубежным аналогом (Китай) показывает идентичность в конструкциях системы «свай—ростверк», однако доля участков с подобным видом усиления в отечественном проекте ВСМ значительно ниже, что снижает капиталоемкость строительства в целом. Следует отметить, что в практике ВСМ Китая применяются свайные основания с жёстким ростверком в уровне бровки насыпи, что напоминает, скорее, упрощённую обсыпную эстакаду.

Суммарная стоимость СМР для усиления основания по типу «БНС + гибкий ростверк» составляет от 15 до 31 тыс. руб. на 1 км трассы в базисных ценах. Причём стоимость зависит, прежде всего, от средней высоты насыпи, что показал анализ семи типов поперечных профилей на протяжении 70 км трассы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка проектных затрат на устройство насыпи, сложенной песчаным и скальным грунтом, производится исходя из гипотезы о достаточной прочности основания для исключения повторного учёта факторов. Основным дифференцирующим признаком здесь также является высота насыпи. Для сопоставления приняты проектные данные по земполотну ВСМ (тип 1—17 на участке безбалластного пути). Данный тип представлен насыпью, сложенной гравийно-песчаными смесями и дренирующими грунтами. Для участка «км 97+580—Петушки» средняя стоимость СМР земполотна с учётом проектных решений представлена в табл. 1.

Стоимость работ по армированию земляного полотна геотекстилем для тех же



Таблица 1
Сметная стоимость СМР по сооружению
земляного полотна, млн руб.
на 1 км в базисных ценах

Высота насыпи, м	Песок	Скальный грунт
8	34,4	63,5
10	46,0	90,4
12	58,2	120,0

высот насыпи составляет следующие величины (табл. 2).

Одним из возможных вариантов усиления основания земполотна является устройство свайного поля из забивных свай 40х40, что предусмотрено проектом на участке длиной 0,212 км в индивидуальном профиле И2. Средняя высота насыпи на этом участке составляет 8,5 м. Сметная стоимость СМР по устройству свай с ростверком составляет 110,7 млн руб. на 1 км земполотна в базисных ценах. Аналогичные показатели стоимости (с разбросом -8/+13 %) были получены при анализе рынка коммерческих предложений работ по свайному усилению автодорожных насыпей.

Все приведённые факты ориентируют на необходимость пересмотра действовавших ранее методов экономического обоснования сфер рационального применения искусственных сооружений. К тому же ориентируют и разработанные в России «Специальные технические условия на проектирование участка «Москва–Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва–Казань–Екатеринбург» со скоростями движения до 400 км/ч» (Согласование: Минстрой РФ 03.08.16 г. № 24651-ес03): «При проектировании земляного полотна должны быть рассмотрены варианты перехода пути с земляного полотна на эстакады и в тоннели. Решение о переходе на эстакады и в тоннели должно приниматься на основе технико-экономического сравнения вариантов конструктивных решений».

Технические критерии назначения могут определяться аналогично приведённым в [23], с учётом отечественных требований безопасности. Сравнение вариантов, в том числе и в целях поиска эффективных сфер применения, должно подчиняться действующим методикам определения экономической эффективности. Определение дисконтированных денежных потоков и расчёт показателей сравнительной экономической эффективности является приоритетным согласно ряду используемых в настоящее время Методических рекомендаций по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам (утв. ОАО «РЖД» 28.11.2016 г. № 2396р). Однако целесообразность применения такого подхода велика только для проектов, обладающих полнотой качеств как в затратной части, так и в возврате инвестиционных вложений. При этом различия между вариантами должны затрагивать большинство финансово-экономических свойств проекта. Подобное сравнение имеет большое значение в сравнительных расчётах между различными видами транспорта, при выборе варианта трассы с различными районами тяготения. Если же сравниваемые объекты представляют собой части большого комплекса сооружений и не обладают при этом различиями в денежных потоках возврата средств (выручки), то наилучшим способом сравнения является расчёт приведённых строительно-эксплуатационных расходов. Это позволяет достаточно простым путём получить локальный оптимум в большой системе, улучшая её итоговые экономические показатели. Также в этом случае возрастает значение стоимостных нормативов, поскольку детальный анализ сосредотачивает внимание именно на нормах затрат при строительстве и эксплуатации объекта, исключая их игнорирование в численно

Таблица 2
Сметная стоимость СМР по укреплению земляного полотна геотекстилем

Высота насыпи, м	Стоимость на 1 км насыпи в базисных ценах, млн руб.	
	Геотекстиль плотностью 300 г/м ² (2 слоя, типовое решение профиля И4)	Геотекстиль плотностью 600 г/м ² (2 слоя, типовое решение профиля И1)
8	2,7	6,0
10	6,4	14,2
12	13,8	24,3

больших денежных потоках по проекту в целом.

Рассматриваемый вопрос характерен для случая выбора между земляным полотном и мостовым сооружением для высокоскоростного движения, причём затратные критерии сравнения в данной ситуации являются преобладающими, поскольку конкурируют между собой конструктивные части трассы, а общие экономические эффекты, получаемые в эксплуатации, неизменны. Приведённые строительно-эксплуатационные расходы $\Theta_{пр}$ для переменных во времени значений определяются по формуле:

$$\Theta_{пр} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} + (1-\gamma) \cdot \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+E)^t},$$

где K_t и C_t – соответственно капитальные вложения и эксплуатационные расходы (текущие затраты) на t -м шаге (году);

γ – доля налоговых отчислений от прибыли.

Затраты на эксплуатацию инфраструктуры ВСМ на данный момент являются предметом отдельной дискуссии, это позволяет рассматривать задачу сравнения поэтапно, начиная с капитальных затрат в сооружение. На рис. 2 представлены капитальные затраты на строительство конкурирующих вариантов сооружений в зависимости от высоты насыпи.

Как видно из графика, в диапазоне рациональных разностей отметок трассы и земной поверхности (5–20 м) происходит «расслоение» затрат по вариантам без точек пересечения, т.е. вариант устройства земляного полотна конкурентоспособен вне зависимости от высоты насыпи. Вместе с тем следует отметить, что затратность того или иного варианта земполотна сильно зависит от степени его укрепления. Некоторые типы укрепления (с основанием насыпи на забивных призматических сваях) по стоимости сопоставимы с эстакадами. В свою очередь, эстакадный вариант дороги может быть удешевлён за счёт индустриализации производства и оптимизации конструктивных решений.

Особенностью определения капитальных затрат на строительство объектов инфраструктуры ВСМ является новизна конструкций и технологий для отечественного

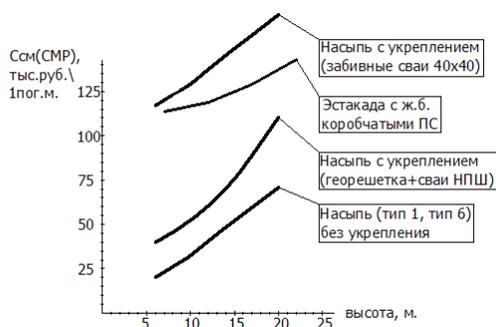


Рис. 2. Сопоставление сметной стоимости СМР для насыпи и эстакады.

строительства. Вследствие этого возникла проблема достоверности при определении сметной стоимости конструкций, в частности пролётных строений эстакад, безбалластного пути, насыпей. Результаты проведённых ранее исследований свидетельствуют о том, что обязателен анализ имеющихся особенностей определения сметной стоимости пролётных строений и выработка рекомендаций по повышению точности. Для реализации этих задач следует рассматривать не только конструкцию пролётных строений, а комплекс конструктивных, технологических и организационных решений, учтённых в проекте постройки моста.

В результате анализа проектной документации, а также сопоставления с имеющимися документами сметно-нормативной базы были выявлены спорные вопросы в расчёте инвестиционных затрат на рассматриваемые сооружения.

Использование ряда сметных норм и расценок для мостовых конструкций нельзя считать обоснованным. Так расценка ОЕРЖ 30-02-005-05 на монтаж железобетонных пролётных строений мостов под один железнодорожный путь длиной до 34,3 м консольными кранами разработана для типовых сборных двухблочных пролётных строений. Ресурсно-технологическая модель, учтённая при этом, сильно отличается от ожидаемой технологии при установке коробчатых балок под два пути шлюзовым краном. Максимально возможной в существующей нормативной базе является замена учтённого в расценке монтажного крана ГЭПК на железнодорожном ходу на кран

Gottwald АМК-306-83, который по своим характеристикам непригоден для монтажа проектируемых пролётных строений. Поскольку пролётные строения для ВСМ проектируются двухпутными, возникает необходимость привязки расценки (с измерителем «пролётное строение под 1 путь») к проектным объёмам работ. В такой ситуации объективность оценки предстоящих затрат на монтаж путём применения имеющейся расценки с коэффициентом, равным двум, можно связывать только со случайным везением. Аналогичным образом обстоит дело с применением норм на транспортировку пролётных строений – ОССПЖ 01-01-01-050, 04-02-01-025, 04-02-01-026, 01-01-02-050, учитывающих гораздо более лёгкие изделия и иные тележки. Затраты на устройство (бетонирование) пролётных строений имеется возможность учесть по расценке ОЕРЖ 30-02-024-01, которая учитывает простую деревянно-фанерную опалубку. При бетонировании коробчатых балок в пролёте предполагается использование специального переставляемого комплекта подмостей и опалубки, конструкция и состав работ для которых значительно отличаются от учтённых расценкой.

Описанная ситуация при проработке проекта ВСМ связана вовсе не с ошибкой либо умыслом, а со своего рода безысходностью, поскольку в сметно-нормативной базе отсутствуют соответствующие нормы и расценки, в том числе на требуемые машины и механизмы. Для относительно небольших проектов, где новые конструкции измеряются единицами, допустимым является метод искусственной привязки несоответствующих расценок. Автором определено, что, например, снижение стоимости пролётных строений на один процент обеспечивает экономический эффект порядка 5 млн руб. на километр трассы. В проекте предполагается почти 64 километра эстакад упомянутой конструкции, поэтому абсолютная величина возможной ошибки является значимой в общей сумме сметной стоимости строительства. В этой связи следует считать экономически целесообразным рассмотреть вопрос об инициации процесса разработки недостающих норм и расценок, а также затрат на эксплуатацию машин с последующим включением в реестр феде-

ральных сметных нормативов согласно приказу Минстроя № 413 от 02.06.2015 г.

Отмеченная особенность не позволяет считать возможным использование учтённых элементов прямых затрат при последующем расчёте бюджета проекта, при взаиморасчётах и т.д. Требуется конкретизация проектных решений и превращение их в типовые для транспортного строительства [24], в том числе путём восполнения пробелов в сметно-нормативной базе. Это позволит не только решить проблемы выбора в рамках проекта, но и обогатит методологию управления развитием качества объектов сложной природы, к которым относится инфраструктура высокоскоростного транспорта [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспертно-аналитическая деятельность, развёрнутая в настоящее время вокруг темы строительства в России высокоскоростных железных дорог, поднимает ряд научных и практических проблем, обладающих методической новизной и базирующихся на иной нормативно-технической модели. Автором выполнен анализ затрат проекта в части искусственных сооружений и земляного полотна, включая его укрепление. Для этого осуществлён обзор отечественных и зарубежных подходов к критериальной оценке проектных решений, рассмотрено практическое применение понятий рациональных сфер применения конструкций. Решение прикладных задач выбора выполнено на примере наиболее капиталоемких элементов инфраструктуры – насыпей и эстакад. Полученный результат достаточно интересен с точки зрения выбора путей совершенствования проектного дела и сметных нормативов. В настоящее время все возможные принципиальные варианты устройства магистрали обладают монотонными различиями в общей величине капитальных затрат на всём диапазоне высот. Это приводит нас к выводу о том, что поиск глобального результата в виде снижения инвестиций на проект ВСМ в целом должен вестись в плоскости конструктивно-технологического совершенствования отдельных элементов инфраструктуры. При этом результат трассирования магистрали определяет затратность её сооружения преимущественно за счёт плана пути, т.е. про-

тяжённости, наличия кривых и т.п. Высотные же ситуации на продольном профиле являются менее значимыми, что отличает проект ВСМ от традиционных железных дорог. Традиционные решения, основанные на оптимизации конструкций, при проектировании ВСМ ограничиваются возросшими требованиями технических условий по динамике, безопасности, экологии. Серьёзным фактором, осложняющим сопоставительную стоимостную оценку, является некомплект сметно-нормативной базы в части норм и расценок на принципиально новые работы.

Поднятые проблемы являют собой перспективный путь развития экономики транспортного строительства в сфере высокоскоростного железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

- Jandová, M., Tomeš, Z., Nash, C. High-speed rail for Central and Eastern European countries: a conference report. *Review of Economic Perspectives*, October 2016, Vol. 16, Iss. 3, pp. 269–275. DOI: 10.1515/revepc-2016–0016.
- Varela, C. V., Navarro, J. M. M. High-speed railway and tourism: is there an impact on intermediate cities evidence from two case studies in Castilla-la Mancha (Spain). *Journal of Urban and Regional Analysis*, January 2016, Vol. 8, Iss. 2, pp. 133–158. [Электронный ресурс]: <https://www.questia.com/library/journal/1P3-4321311781/high-speed-railway-and-tourism-is-there-an-impact>. Доступ 21.09.2019.
- Zhong, Shuoqiao; Xiao, Xinbiao; Wen, Zefeng; Jin, Xuesong. The effect of first-order bending resonance of wheelset at high speed on wheel–rail contact behavior. *Advances in Mechanical Engineering*, January 2015, Vol. 5, pp. 296106–296106. DOI: 10.1155/2013/296106.
- Ван Ю., Цзинь Л., Ван С. Развитие железных дорог и анализ ситуации в Китае. В сб.: *Современные аспекты транспортной логистики. Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика»*. – 2014. – С. 13–18.
- Щевьев Ю. Л., Смирнов Ю. А., Войтенко Е. В. Целесообразность применения эстакад вместо высоких насыпей на подходах к мостам. В сб.: *Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск-2015). Материалы IX Международной научно-практической конференции*. – 2015. – Т. 2. – С. 435–440.
- Зайцев А. А., Красковский В. Е., Терлецкий С. К. Эстакады или насыпь: нужен разумный подход // *Дороги. Инновации в строительстве*. – 2012. – № 19. – С. 18–21.
- Красковский В. Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии. В сб.: *Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14 Труды 2-й Международной научной конференции*. – 2014. – С. 75–80.
- Соловьёв В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог*. – 2016. – № 6. – С. 46–55.
- Белозёров О. В. Цели холдинга «РЖД» // *Гудок*, 8 декабря 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1395857&archive=2017.12.08>. Доступ 21.09.2019.
- Yang, H. W. Performance of pile foundation for the civil infrastructure of high speed rail in severe ground subsidence area. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2015, Vol. 372, pp. 525–528. DOI: 10.5194/piahs-372-525-2015.
- Pagliara, F., Biggiero, L., Patrone, A., Peruggini, F. An analysis of spatial equity concerning investments in high-speed rail systems: the case study of Italy. *Transport Problems*, 2016, Vol. 11, Iss. 3, pp. 55–68. DOI: 10.20858/trp.2016.11.3.6.
- Xueqiao, Yu; Maoxiang, Lang; Yang, Gao; Kai, Wang; Ching-Hsia, Su; Sang-Bing, Tsai; Mingkun, Huo; Xiao, Yu; Shiqi, Li. An empirical study on the design of China high-speed rail express train operation plan – from a sustainable transport perspective. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 7, p. 2478. DOI: 10.3390/su10072478.
- Caiyou, Zhao; Ping, Wang; Qiang, Yi; Duo, Meng. Viability analysis of waste tires as material for rail vibration and noise control in modern tram track systems. *Shock and Vibration*, 2015, Vol. 2015, Article ID725808, 12 p. DOI: 10.1155/2015/725808.
- Поляков В. Ю. Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ // *Мир транспорта*. – 2017. – № 5. – С. 54–67.
- Sa'adin, S., Kaewunruen, S., Jaroszewski, D. Risks of climate change with respect to the Singapore–Malaysia high speed rail system. *Climate*, 2016, Vol. 4, p. 65. DOI: 10.3390/cli4040065.
- Yuxiang Wang; Xueli Liu; Feng Wang. Economic impact of the high-speed railway on housing prices in China. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 12, p. 4799. DOI: 10.3390/su10124799.
- Фридкин В. М. Принципы формообразования в теории линейно-протяжённых сооружений. – М.: Ладыя, 2006. – 512 с.
- Соловьёв В. В., Кузнецова А. Э. Моделирование стоимостных нормативов для объектов железнодорожного строительства // *Экономика железных дорог*. – 2016. – № 12. – С. 44–51.
- Тарасенко А. А. Ретроспектива формирования показателей оценки эффективности инвестиций // *Экономика и управление*. – 2006. – № 3. – С. 131–134.
- Веригин Ф. Н. Курс земляных работ. – Л.: Гос. изд-во, 1930. – 312 с.
- Zbiciak, A., Oleszek, R., Michalczyk, R. Dynamics of an orthotropic railway bridge in the light of european standards. *Archives of Civil Engineering*, 2016, Vol. 62, Iss. 2, pp. 265–282. DOI 10.1515/ace-2015-0078.
- Евтюков С. А., Медрес Е. П. Строительство дорожных насыпей на слабых грунтах: подходы и методы // *Наука и транспорт. Транспортное строительство*. – 2012. – № 4. – С. 31–33.
- Li, Guangkai; Ai, Bo; He, Danping; Zhong, Zena; Hui, Bing; Kim, Junhyeong. On the feasibility of high speed railway mmWave channels in tunnel scenario. *Wireless Communications and Mobile Computing*, October 2017, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2017/7135896.
- Волков Б. А., Соловьёв В. В. Недвижимость железнодорожного транспорта // *Россия Недвижимость: экономика, управление*. – 2013. – № 2. – С. 128–130.
- Майборода В. П., Титов А. В. Моргун М. Ю. К проблеме разработки систем оценки и управления качеством сложных объектов // *Качество. Инновации. Образование*. – 2016. – № 8–10. – С. 84–93.





Economic Prerequisites for Assessing the Scope of Application of Transport Engineering Structures



Solovyov, Vyacheslav V., Directorate for comprehensive upgrading of railways and construction of railway facilities – a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.*

Vyacheslav V. SOLOVYOV

ABSTRACT

The objective of the study is to search for effective design solutions while expanding the passenger transportation network through high-speed rail development. Engineering structures, which occupy a significant part in the infrastructure of high-speed lines, require a revision of approaches to economic and feasibility evaluation of design solutions. The economic problems associated with the design process of HSR are considered, as due to different conditions and standards in divers countries, it became necessary to adapt design solutions through economic feasibility studies. The topicality of the problems of optimization of structures is due to the significant amount of work that can be initiated with the expected start of development of separate high-speed rail lines in Russia. The research significance consists in updating traditional approaches of the feasibility study in relation to the new tasks of railway construction.

The study was based on publications of domestic and foreign researchers in the field of railway infrastructure. For cost analysis, a standard costing methodology was used based on the estimated regulatory base. The cost comparison

of options is presented in the sample cost structure, which methodically contributes to allocation of compared costs.

The main practical result of the work is deemed to be associated with formalization of the cost function of modern engineering structures for HSR. Choosing the embankment or overpass, the task which is traditional for railways, was solved on the basis of the analysis of the applied design solutions. For the roadbed, modern reinforcement methods necessary for track stability have been considered. When analyzing the estimated costs for construction of spans, significant disparities were revealed between promising technologies and resource-technological models traditionally used for standard quotations. This casts doubt on the possibility of using traditional approaches of application of engineering structures in HSR projects.

To justify the design and technological solutions for high-speed transport, a whole range of work is needed to jointly develop both technological schemes and cost standards. As far as Russian example is concerned, the current budget and regulatory framework does not allow for reliable economic feasibility justification of the scope of application of engineering structures.

Keywords: railways, railway transport, high-speed rail (HSR), engineering structures, embankment, overpass, soft soils, comparison, cost, economic analysis.

*Information about the author:

Solovyov, Vyacheslav V. – Ph.D. (Economics), Leading Engineer of the Pricing Methodology Service of the Directorate for Comprehensive Upgrading of Railways and Construction of Railway Facilities – a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, s35681@yandex.ru.

Article received 18.03.2019, accepted 21.09.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 166.

Background. The traditional practices of using these or those design solutions in construction projects of new railways has got a significant evolutionary path. It is based on design standards, technological capabilities, as well as economic conditions that serve as the basis for project substantiation at the pre-design stage.

Now, Russian domestic rail transport is on the verge of a new era in creating a network of full-fledged high-speed railways (HSR). This defines a new goal in the field of feasibility analysis which is providing construction projects with scientifically sound tools for selecting design solutions. The peculiarity is that the current experience has been gained over a long period of development and operation of railways with speeds of up to 160–200 km/h, and its use in the pre-design analysis of HSR will lead to incompatible solutions that do not meet the requirements of cost-effective construction and ease of use. The primary task at the stage when construction is not started, but there are design solutions, is to study the practices of constructing HSR abroad and select the most effective structural and technological solutions for Russia with their subsequent adaptation to the peculiarities of domestic construction.

In the context of the problems of agglomeration development, HSR is quite widely considered by foreign researchers, e.g. [1; 2].

The experience of examination of design solutions within the framework of HSR Expert Council in Russian University of Transport has revealed several serious problems, requiring the exploration of corresponding research areas. A common difficulty in designation of certain structures, on which the authors [3] focus the attention, is the lack of practical experimental data on the behavior of infrastructure elements at speeds of more than 300 km/h. In any case, such speeds (300–350 km/h) are considered the most acceptable for the HSR network in France, Japan, and China [4]. Despite the highly developed modelling methods, a similar situation developed during the design of Moscow monorail transport system, when the choice of structures was made without calculating the indicators of comparative economic efficiency, only on the basis of boundary technical conditions, which finally turned to be overstated.

This experience is a warning before implementation of much more capital-intensive projects of construction of HSR urging at the stage of expert discussion to identify «weak points» in the economic sense and propose economically feasible solutions for their optimization. One of the similar problems considered by the author was the choice between embankment and overpass when designing the route. This choice in transport construction in the vast majority of cases was decided in favor of embankment even despite the fact that at the time an insufficient productivity of machinery for construction of the roadbed was felt quite sharply, increasing the road construction time. Domestic and foreign designers used viaducts only under the conditions of particularly difficult terrain (category IV) [5]. The use of the viaduct was justified by technical impossibility of the embankment arrangement. For more favorable tracing conditions, a comparison of estimated costs for construction of an overpass and embankment has always determined the latter as a cost-effective option [6]. Similar views exist among researchers in the field of non-rail high-speed transport [7].

Accepting this regularity as a rule is permissible for new broad gauge railways, albeit with a significant caveat as the ratio of technological, cost, environmental, and social factors is not constant when comparing the option; their quantitative proportions change over time and so the areas of rational use of designed constructions also naturally change. However, in relation to conventional railways, the relevance of this problem is limited by the small volumes of their construction [8]. The volume of construction provided by e.g. two-track HSR Moscow–Kazan project was of 760 km, while the route was supposed to be laid in fairly uniform conditions with the prospect of being extended to Yekaterinburg [9, p. 1].

The second reason for revision of previously identified patterns is a fundamental difference in design conditions. In this case, the construction divisions should initially be focused on the use of effective solutions, on mastering rational technologies as standard solutions, on purchase of appropriate equipment. Competing options when choosing engineering structures are European [10; 11] and Chinese [12] technological schemes of operation of transport systems.





Pic. 1. HSR overpass of low height in China (<http://news.southcn.com>).

Materials and methods

The above prerequisites determined the choice of *research topic* which is the search for economically feasible areas of application of embankments and overpasses for HSR. The main design solutions used for comparison were compiled according to the design documentation developed at the time for construction of the first Russian separate Moscow–Kazan HSR.

It is worth highlighting that issues of selection and justification of types of engineering structures are most relevant for promising roads that implement the principle of magnetic levitation. V. E. Kraskovsky in his works [7] noted that the share of overpass sections can reach 100 %, however, sections with embankments used as formation remain, and the technical possibility to arrange magnetic suspension systems is maintained even if the subgrade option is applied in a project. The factors reinforcing the role of overpasses are cited by the author in the form of a combination which is traditional for HSR. They include prevention of cross-cutting of lands used in the national economy by the railway, reduction of possible alienation of lands, and traffic safety at high speeds. Dynamic interactions of rolling stock and track infrastructure facilities are boundary conditions in the problems of economic comparison due to their impact on traffic safety [13; 14]. This allows us to make a judgment that the set of reasons for designing the entire route using overpasses is the same as compared to traditional rail transport.

The authors' study [15] on climatic features regarded as a factor affecting economic benefits

is also similar to the traditional conclusions on the rational field of application of embankments for railways. Abroad, development of line bridge building technologies for construction of long overpasses led to a decrease in the practical border allowing use of that decision to 5–7 meters. This is confirmed by the experience of designing Chinese HSR, where overpasses are successfully used, starting from a height of 6–7 meters (Pic. 1).

When carrying out an economic analysis of the costs of construction of embankments, one should proceed from the fact that quality of the soil massif has a significant impact on both technical solutions and the cost of the embankment. The problem of strengthening embankments and of construction of HSR overpasses has been sufficiently resolved in international practices [16], however, the use of foreign economic comparison criteria is unacceptable due to the difference in the structure of construction costs in different countries. In design practice, the established term «soft soils» is adopted, and its meaning is not so much geomorphological as form-forming for linearly extended structures.

Here it will be appropriate to mention one of the principles formulated by V. M. Fridkin when solving the problem of optimal configuration of a complex of engineering structures: «The optimization problem must be solved taking into account the scenarios of the behavior of the structure during its operation. Such scenarios should reflect options for the economic, natural and social conditions of construction and its maintenance changing over time. In optimization algorithms, it is

necessary to link the choice of values of design quality factors with achievement of a coordinated optimum of economic criteria under various (primarily normative) scenarios of operation of a structure» [17, p. 88]. This approach can, among other things, be applied in calculation of aggregated cost indicators, as mentioned earlier in the author's works [18]. The consolidation of normative indicators of estimated cost with reference to the mentioned «design factors» allows us to determine effective options by the criterion of minimum capital costs. The economic consequences of the operational phase have different properties: the structure of cost meters and their probabilistic characteristics do not allow them to be linked to design solutions. For this reason, to select an effective solution, it is advisable to aggregate indicators of capital investments and operating costs.

The most common method is the use of the reduced construction and maintenance costs as a comparative criterion. Its application in domestic practices preceded modern approaches to comparison based on discounted flows [19], however, at present, it remains possible to compare individual technical solutions based on the reduced costs. We are talking mainly about the structural elements of a facility, which do not have separate economic value, and do not affect the technological model of the structure. As example we can mention different options for supports, foundations, facing materials, provided that the dimensions, loads and reliability of the structure as of a whole are maintained. In a similar way, we can determine the effectiveness of replacing some types of culverting engineering structures with others, e.g. small bridges with pipes.

In accordance with the requirements of current methodological documents, cash flow discounting should be applied, including when introducing innovations. Since the issues of application of new solutions in the promising HSR projects are at the core of the problem of choosing the optimal infrastructure facilities, and if we consider Russian example, STO RZD [corporate standard] 08.005-2011 «Innovation in JSC Russian Railways. The procedure for evaluating the effectiveness of innovative projects» should be used. The main indicators for comparison are: net present value stream, profitability index and payback period. For the

selection problem considered in the article, within the framework of a large investment project, the author proposes the criterion C_p , which is a discounted flow:

$$C_p = NPV = \sum_{t=1}^T CF_t (1+r)^{-t},$$

where CF_t is annual cash flow determined by the innovative solution option;

E is discount rate;

T is settlement period.

In this case, it is assumed that there are definable financial flows that can be associated with each option of the technical solution, while there is no need to adjust the payback period of the entire project with each calculation. Nonlinearity with respect to time is specified through the standard factor $(1+E)^{-t}$. This calculation procedure is very convenient and justified for the railway facilities when the revenue model from transportation or any other activity is within the same conceptual model. If we are talking about an element of the transport infrastructure, including expanding the scope of its application in the project, the profitable part of the flow cannot be determined directly. A situation arises of a methodical «crossroads» when there are several solutions to the problem, and the choice is determined by the degree of qualification, freedom, and interest of the actor.

Based on this, it becomes possible to carry out a cost comparison within an optional statement, avoiding full calculation of costs according to the traditional structure of estimated cost. The advantages of this method should also include the fact that there is no formal need for indexing costs. The content of indicators is determined by the current technology for creating products at the time of calculation. This is equivalent to the principles of considering the technological model in designing estimation standards, when the once considered technology exists in the regulatory framework, providing not only calculation of absolute cost indicators, but also accuracy in comparative economic analysis.

To resolve the issue of effective areas of application of described engineering structures, one should rely on the existing experience in construction of HSR. At present, the Chinese high-speed rail system should be considered the most suitable model for designing HSR network. There are several reasons for this:

- territorial layout of the network, its size, network density and location of gravity areas are



more consistent with Russian conditions than similar indicators of European and, especially, Japanese HSR;

- prevailing geomorphological forms and climatic features of the northern part of China have sufficient tracing conditions in terms of complexity;

- climate in the northern provinces of China has similar requirements for construction and operation of both embankments and overpasses;

- land use system and relative indicators of the value of land alienation are similar to the Russian Nonblack Soil Zone [includes Central, North-Western, Northern and some other economic areas of the European part of the territory of the country – *ed. note*]. It should also be noted that the level of environmental requirements limiting some design solutions is comparable to Russia.

However, along with general features, there are serious differences associated mainly with different technological levels of the construction facilities in Russia and other states with a developed network of HSR. A feature of Russian railway construction is traditional development of machinery for earthworks. Thanks to this, at present, implementation of large volumes of earthwork has ceased to be a determining factor in choosing the route option. This aspect is most significant for railway lines with maximum gradient which is higher than the average ruling grade of the terrain.

This determines the rather high significance of practical height of the transition zone from the embankment to the overpass. In this case, the practical height should be understood as the average embankment height in the zone of transition to an overpass established in the practices of project activities. Such a transition has traditionally been used on approaches to bridges over certain obstacles. Hence the question of replacing the embankment with an overpass on long sections of the route without the presence of localized intersected obstacles until the beginning of the active growth of urban agglomerations in recent decades has not been massively considered in domestic practices. Elevated sections instead of embankments began to appear in design solutions in cities and under difficult engineering and geological conditions when designing non-high-speed railways. Yet at the beginning of 20th century embankments with a height of more than 20 meters were competitive due to technological development of their

construction [20, p. 262]. In many respects this was facilitated by maintainability of track ballast superstructure, which made it possible to compensate for the precipitation of the subgrade by adding a ballast prism.

The appearance of high-speed lines arranged along the ballastless track immediately determined a new level of requirements for permissible deformations of «bed/foundation – embankment» system. The inability to straighten the track in the traditional way involves necessity for small precipitation during operation, as small that it is almost impossible to provide them with traditional roadbed design. The design features of embankments of high-speed highways can be considered at the examples of the developed HSR network in China. As a measure to reduce the operational sediment, an integrated approach is used, which includes installation of a pile foundation of the embankment, reinforced soil structures (geogrids, laying of bentonite mats, increased compaction of the body of the embankment and, finally, replacement of the upper part of the embankment with protective layers). Such a saturation of the roadbed with engineering elements leads to a significant increase in estimated costs per kilometer of track. Also, when comparing with embankments, one should consider the wider main foundation site of 14,2 m for HSR.

The reinforcement of embankments is a synthesis of previously known technical solutions, but the mass practices of reinforcement in domestic railway construction are missing because of specific dynamic interactions [21]. For this reason, an analysis of the cost of reinforcement requires a comparison of the technologies used both in Russia and abroad. The main criterion for comparing an individual measure is the cost per 1 km of the route. Besides, the features of the reinforcement measures inherent in other types of construction are subject to accounting, the new types of works and structures to strengthen the earth masses being included in the projects.

The strength of the base of the embankment, insufficient to meet the requirements of the Special Specifications, necessitates construction of a continuous pile field with a flexible grill with geogrid [22]. A flexible geogrid grillage has cost of construction and installation works of 7,70 rubles per 1 m² in basic prices as of 01.01.2000. Given that under the HSR project 221 thousand m³ of bored piles (BNS) account for

790 thousand m² of geogrid, 1 m³ BNS will require 3,57 m² of geogrid. The correlation of this indicator with the foreign counterpart (China) shows the identity in construction of the «pile–grillage» system, however, the proportion of sites with a similar type of reinforcement in the domestic HSR project is much lower, which reduces the capital intensity of the construction as a whole. It should be noted that in the practice of China's HSR, pile foundations with a rigid grillage at the level of the edge of the embankment are used, which resembles, rather, a simplified buried overpass.

The total cost of construction and installation works to strengthen the base of «BNS + flexible grillage» type is from 15 to 31 thousand rubles per 1 km of the track at basic prices. Moreover, the cost is primarily dependent on the average height of the embankment, as shown by the analysis of seven types of transverse profiles over 70 km of the route.

Research results

Evaluation of the project costs for construction of the embankment, composed of sand and rocky soil, is based on the hypothesis of sufficient strength of the base to exclude re-consideration of factors. The main differentiating feature here is also the height of the embankment. For comparison, the design data for HSR roadbed is accepted (type 1–17 on the section of ballastless track). This type is represented by an embankment composed of gravel and sand mixtures and drainage soils. For the section «km 97 + 580–Petushki», the average cost of construction and installation works for the roadbed taking into account design solutions is presented in Table 1.

The cost of reinforcing the roadbed with geotextiles for the same heights of the embankment is as follows (Table 2).

One of the possible options for strengthening the base of the roadbed is installation of a pile field from driven piles 40 x 40, which is provided for by the project on a 0,212 km long section

Table 1
Estimated cost of construction and installation works on construction of the roadbed, million rubles per 1 km at basic prices

Embankment height, m	Sand	Rock
8	34,4	63,5
10	46,0	90,4
12	58,2	120,0

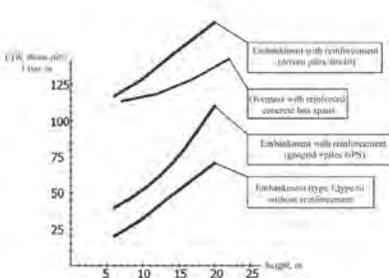
with an individual I2 profile. The average height of the embankment in this section is 8,5 m. The estimated cost of construction and installation works for installation of piles with grillage is 110,7 million rubles per km of embankment at basic prices. Similar cost indicators (with a spread of -8/+13 %) were obtained when analyzing the market for commercial offers of works on pile reinforcement of road embankments.

All the facts cited point to the need to review the previously existing methods of economic justification of the areas of rational use of engineering structures. The «Special technical conditions for design of «Moscow–Kazan» section» of Moscow–Kazan–Yekaterinburg HSR with speeds of up to 400 km/h, developed in Russia (Coordination: Ministry of Construction of the Russian Federation, 08.03.16, No. 24651-ec03) say the same: «When designing the roadbed, the options for transition of the track from the roadbed to overpasses and tunnels should be considered. The decision on transition to overpasses and tunnels should be made based on a technical and economic comparison of design options». Technical purpose criteria can be determined similarly to those given in [23], considering domestic safety requirements. Comparison of options, including for the purpose of searching effective areas of application, should be subject to current methods for determining economic efficiency. The identification of discounted cash flows and the calculation of indicators of comparative economic efficiency are priority goals

Table 2
Estimated cost of construction and installation works to strengthen the roadbed with geotextiles

Embankment height, m	Cost per 1 km of embankment at basic prices, mln rub	
	Geotextile with density 300 g/m ² (2 layers, standard solution of profile I4)	Geotextile with density 600 g/m ² (2 layers, standard solution of profile I1)
8	2,7	6,0
10	6,4	14,2
12	13,8	24,3





Pic. 2. Comparison of the estimated cost of construction and installation works for embankment and overpass.

according to a number of currently used methodological recommendations on composition and contents of supporting materials for investment projects (approved by JSC Russian Railways on November 28, 2016 No. 2396r). However, feasibility of applying this approach is great only for projects that have the fullness of qualities both in the cost part and in return on investment. Moreover, the differences between the options should affect most of the financial and economic properties of the project. Such a comparison is of great importance in comparative calculations between different modes of transport, when choosing a route option with different areas of gravity. If the compared objects are parts of a large complex of structures and do not have differences in cash flows of return of funds (revenue), then the best way to compare is to calculate construction and maintenance costs. This allows in a fairly simple way to get a local optimum in a large system, improving its final economic indicators. Also, in this case, the significance of value standards increases, since a detailed analysis focuses on the cost norms during construction and operation of an object, excluding their ignoring in the numerically large cash flows of the project as a whole.

The issue under consideration is typical for the case of choosing between a roadbed and a bridge structure for high-speed traffic, and the costly comparison criteria in this situation are prevailing, since the structural parts of the route compete with each other, and the general economic effects obtained in operation are unchanged. The reduced construction and maintenance costs E_{pr} for time-variable values are determined by the formula:

$$E_{pr} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} + (1-\gamma) \cdot \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+E)^t},$$

where K_t and C_t are capital investments and operating expenses (current expenses) at the t -th step (year), respectively;

γ is share of tax deductions from profits.

The costs of operating HSR infrastructure are currently the subject of a separate discussion, this allows us to consider the task of comparison in stages, starting with the capital costs of construction. Pic. 2 shows the capital costs of building competing construction options depending on embankment height.

As can be seen from the graph, in the range of rational differences in elevations of the route and the earth's surface (5–20 m), costs are «stratified» by options without intersection points, i.e. the subgrade design is competitive regardless of embankment height. At the same time, it should be noted that the cost of this or that variant of the roadbed is highly dependent on the degree of its strengthening. Some types of reinforcement (with the base of the embankment on driven prismatic piles) are comparable in cost to overpasses. In turn, the overpass option of the road can be made cheaper by industrialization of production and optimization of design solutions.

A feature of determining capital costs for construction of HSR infrastructure facilities is the novelty of structures and technologies for domestic construction. As a result of this, a reliability problem arose in determining the estimated cost of structures, in particular span structures of overpasses, ballastless track, embankments. The results of previous studies indicate that an analysis of the existing features of determining the estimated cost of spans and development of recommendations for improving accuracy are mandatory. To implement these tasks, it is necessary to consider not only construction of spans, but a complex of structural, technological and organizational solutions, taken into account in design of the bridge.

As a result of the analysis of project documentation, as well as comparison with available documents of the estimation regulatory base, controversial issues were identified in calculation of investment costs for the structures under consideration.

The use of some estimation norms and prices for bridge structures cannot be considered justified. So the price OERZh 30-02-005-05 for installation of reinforced concrete bridge spans

for a single railway track up to 34,3 m in length by cantilever cranes was developed for typical prefabricated two-block spans. The resource-technological model, taken into account in this case, is very different from the expected technology when installing box-shaped beams under two tracks with a lock crane. The maximum possible solution in the existing regulatory framework is replacement of GEPK mounting crane, considered in the price, with Gottwald AMK-306-83 crane, though the latter by its features is unsuitable for installation of designed span structures. Since the spans for HSR are designed double-track, there is a need to link the prices (with a meter that can be formulated as «the «span for 1 track») to the project scope. In such a situation, objectivity of estimating the upcoming installation costs by applying the existing price with a coefficient equal to two can only be associated with random luck. The situation is similar with application of norms for transportation of spans (OSSPZh 01-01-01-050, 04-02-01-025, 04-02-01-026, 01-01-02-050), which consider much lighter products and other bogies. The cost of arrangement (concreting) of span structures can be considered at the rate of OERZh 30-02-024-01, which considers simple wooden-plywood formwork. When concreting box girders within the span, it is assumed to use a special rearranged set of scaffolds and formwork, the design and scope of work for which significantly differ from those considered by the rate.

The described situation during development of HSR project is not connected at all with a mistake or intent, but with a kind of hopelessness, since there are no corresponding norms and prices in the estimated regulatory base, including with regard to the required machines and mechanisms. For relatively small projects where new designs are measured in units, the method of artificially linking inappropriate prices is acceptable. The author has determined that, for example, reducing the cost of spans by one percent provides an economic effect of about 5 million rubles per kilometer of track. The project assumes almost 64 kilometers of overpasses of the mentioned construction, therefore the absolute value of the possible error is significant in the total amount of the estimated construction cost. In this regard, it should be considered economically feasible to consider the initiation of the process of developing the missing standards and prices, as well as the costs of operating the machines, followed by the

inclusion in the register of federal estimation standards in accordance with the order of the Ministry of Construction No. 413 dated 02.06.2015.

The noted feature does not allow us to consider it possible to use the considered elements of direct costs in subsequent calculation of the project budget, in mutual settlements, etc. Specification of design decisions is required, turning them into standard ones for transport construction [24], including by filling in the gaps in the estimation regulatory base. This will not only solve the problems of choice within the framework of the project, but will also enrich the methodology for managing the development of quality of objects of complex nature, which include high-speed transport infrastructure [25].

Conclusion and discussion

Expert and analytical activities currently unfolding around the topic of building high-speed railways in Russia raise several scientific and practical problems of methodological novelty and based on a now different regulatory and technical model. The author has performed an analysis of the project costs in terms of engineering structures and roadbed, including its strengthening. To this end, a review of domestic and foreign approaches to criterial assessment of design decisions has been carried out, and the practical application of the concepts of rational areas of application of structures has been considered. The solution of applied problems of choice is made at the example of the most capital-intensive infrastructure elements which are embankments and overpasses. The result obtained is quite interesting from the point of view of choosing ways to improve the design works and estimation standards. Currently, all possible principal options for construction of the railway have monotonous differences in the total value of capital costs over the entire range of heights. This leads us to the conclusion that the search for a global result in the form of reduced investment in HSR project as a whole should be carried out in the plane of constructive and technological improvement of individual elements of the infrastructure. At the same time, the result of tracing the railway determines the cost of its construction mainly due to the track plan, i.e. length, the presence of curves, etc. The problems linked to the heights on the longitudinal profile are less significant, which distinguishes the HSR



project from traditional railways. Traditional solutions based on structural optimization in design of HSR are constrained by the increased technical requirements for dynamics, safety, and ecology. A serious factor complicating the comparative valuation is the lack of estimation regulatory base in terms of norms and prices for fundamentally new works.

The problems raised represent a promising way for development of the economy of transport construction in the field of high-speed railways.

REFERENCES

- Jandová, M., Tomeš, Z., Nash, C. High-speed rail for Central and Eastern European countries: a conference report. *Review of Economic Perspectives*, October 2016, Vol. 16, Iss. 3, pp. 269–275. DOI: 10.1515/revecp-2016-0016.
- Varela, C. V., Navarro, J. M. M. High-speed railway and tourism: is there an impact on intermediate cities evidence from two case studies in Castilla-la Mancha (Spain). *Journal of Urban and Regional Analysis*, January 2016, Vol. 8, Iss. 2, pp. 133–158. [Electronic resource]: <https://www.questia.com/library/journal/1P3-4321311781/high-speed-railway-and-tourism-is-there-an-impact>. Last accessed 21.09.2019.
- Zhong, Shuoqiao; Xiao, Xinbiao; Wen, Zefeng; Jin, Xuesong. The effect of first-order bending resonance of wheelset at high speed on wheel–rail contact behavior. *Advances in Mechanical Engineering*, January 2015, Vol. 5, pp. 296106–296106. DOI: 10.1155/2013/296106.
- Wang, Yu; Jin, L.; Wang, S. Development of railways and analysis of the situation in China [Razvitie zheleznikh dorog i analiz situatsii v Kitae]. In: *Modern aspects of transport logistics. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the department of technology of transport processes and logistics*, 2014, pp. 13–18.
- Shcheviev, Yu. L., Smirnov, Yu. A., Voitenko, E.V. Expediency of using overpasses instead of high embankments on approaches to bridges [Tselesoobraznost' primeneniya estakad vmesto vysokikh nasypei na podkhodakh k mostam]. *Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world (Georisk-2015). Proceedings of 9th International scientific and practical conference*, 2015, Vol. 2, pp. 435–440.
- Zaitsev, A. A., Kraskovsky, V. E., Terletsky, S. K. Overpasses or embankment: a reasonable approach is needed [Estakady ili nasyp': nuzhen razumnyi podkhod]. *Dorogi. Innovatsii v stroitelstve*, 2012, Iss. 19, pp. 18–21.
- Kraskovsky, V. E. General issues of designing engineering structures on roads using magnetic levitation technology [Obshchie voprosy proektirovaniya iskusstvennykh sooruzhenii na dorogakh s ispolzovaniem magnitolevitatsionnoi tekhnologii]. *MTST'14 Proceedings of the 2nd International scientific conference*, 2014, pp. 75–80.
- Solovyov, V. V. Sectoral features of the definition of aggregated indicators of the cost of construction [Otraslevie ossobennosti opredeleniya ukрупnennykh pokazatelei stoimosti stroitelstva]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2016, Iss. 6, pp. 46–55.
- Belozеров, O. V. Goals of RZD holding [Tseli kholdinga RZD]. *Gudok*, 8 December 2017. [Electronic resource]: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1395857&archive=2017.12.08>. Last accessed 21.09.2019.
- Yang, H. W. Performance of pile foundation for the civil infrastructure of high speed rail in severe ground subsidence area. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2015, Vol. 372, pp. 525–528. DOI: 10.5194/piahs-372-525-2015.
- Pagliara, F., Biggiero, L., Patrone, A., Peruggini, F. An analysis of spatial equity concerning investments in high-speed rail systems: the case study of Italy. *Transport Problems*, 2016, Vol. 11, Iss. 3, pp. 55–68. DOI: 10.20858/tp.2016.11.3.6.
- Xueqiao, Yu; Maoxiang, Lang; Yang, Gao; Kai, Wang; Ching-Hsia, Su; Sang-Bing, Tsai; Mingkun, Huo; Xiao, Yu; Shiqi, Li. An empirical study on the design of China high-speed rail express train operation plan – from a sustainable transport perspective. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 7, p. 2478. DOI: 10.3390/su10072478.
- Caiyou, Zhao; Ping, Wang; Qiang, Yi; Duo, Meng. Viability analysis of waste tires as material for rail vibration and noise control in modern tram track systems. *Shock and Vibration*, 2015, Vol. 2015, Article ID725808, 12 p. DOI: 10.1155/2015/725808.
- Polyakov, V. Yu. Optimization of Bridge Transition Zones on High-Speed Railways [Optimizatsiya perekhodnykh zon mostov na VSM]. *World of Transport and Transportation*, Vol. 15, 2017, Iss. 5, pp. 54–67.
- Sa'adin, S., Kaewunruen, S., Jaroszeski, D. Risks of climate change with respect to the Singapore–Malaysia high speed rail system. *Climate*, 2016, Vol. 4, p. 65. DOI: 10.3390/cli4040065.
- Yuxiang Wang; Xueli Liu; Feng Wang. Economic impact of the high-speed railway on housing prices in China. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 12, p. 4799. DOI: 10.3390/su10124799.
- Fridkin, V. M. The principles of shaping in the theory of linearly extended structures [Printsipy formoobrazovaniya v teorii lineino-protyazhennykh sooruzhenii]. Moscow, Ladya publ., 2006, 512 p.
- Solovyov, V. V., Kuznetsova, A. E. Modeling of cost standards for objects of railway construction [Modelirovanie stoimostnykh normativov dlya ob'ektov zheleznodorozhnogo stroitelstva]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2016, Iss. 12, pp. 44–51.
- Tarasenko, A. A. Retrospective of formation of indicators for assessing the effectiveness of investments [Retrospektiva formirovaniya pokazatelei otsenki effektivnosti investitsii]. *Ekonomika i upravlenie*, 2006, Iss. 3, pp. 131–134.
- Verigin, F. N. Course of earthworks [Kurs zemlyanykh rabot]. Leningrad, Gos. izd-vo, 1930, 312 c.
- Zbiciak, A., Oleszek, R., Michalczyk, R. Dynamics of an orthotropic railway bridge in the light of European standards. *Archives of Civil Engineering*, 2016, Vol. 62, Iss. 2, pp. 265–282. DOI 10.1515/ace-2015-0078.
- Evtuykov, S. A., Madras, E. P. Construction of road embankments on soft soils: approaches and methods [Stroitelstvo dorozhnykh nasypei na slabyykh gruntakh: podkhody i metody]. *Nauka i transport. Transportnoe stroitelstvo*, 2012, Iss. 4, pp. 31–33.
- Li, Guangkai; Ai, Bo; He, Danping; Zhong, Zena; Hui, Bing; Kim, Junhyeong. On the feasibility of high speed railway mmWave channels in tunnel scenario. *Wireless Communications and Mobile Computing*, October 2017, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2017/7135896.
- Volkov, B. A., Solovyov, V. V. Real estate of railway transport of Russia [Nedvizhimost' zheleznodorozhnogo transporta Rossii]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie*, 2013, Iss. 2, pp. 128–130.
- Mayboroda, V. P., Titov, A. V. Morgunov, M. Yu. On the problem of developing systems for assessing and managing quality of complex objects [K problem razrabotki sistem otsenki i upravleniya kachestvom slozhnykh ob'ektov]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2016, Iss. 8–10, pp. 84–93. ●



ТРАНСПОРТНАЯ НЕДЕЛЯ-2019

21 ноября 2019 года пленарным заседанием завершилась проводившаяся в тринадцатый раз ежегодная «Транспортная неделя».

В ходе «Транспортной недели» состоялся ряд важных мероприятий: XIII Международный форум «Транспорт России», XIII Международная выставка «Транспорт России», Координационное транспортное совещание государств-участников СНГ, XI Международная спартакиада студентов транспортных высших учебных заведений,

Международный фестиваль творчества студентов транспортных высших учебных заведений «ТранспАРТ», вручение VI Национальной премии за достижения в области транспорта и транспортной инфраструктуры «Формула движения», форум «Организация дорожного движения в Российской Федерации», другие важные события.

В этом году в мероприятиях приняли участие представители 42 стран и 71 российского региона. Форум и выставка «Транспорт России» были приурочены к 210-летию российского транспорт-



ного ведомства и транспортного образования. Деловая программа Форума включила три направления: «Интеграция», «Инфраструктура» и «Перевозки».

Было заключено 48 соглашений о взаимодействии и сотрудничестве, что практически вдвое больше показателя прошлого года. В рамках Форума было проведено 31 мероприятие в деловом формате, на которых выступили более 250 спикеров. Совокупно в деловой программе приняли участие 3000 человек, в выставке – более 100 экспонентов, стенды которых осмотрело 12 000 посетителей.

«2019 год для транспорта был позитивным, объём инвестиций в транс-

портную инфраструктуру вырос более чем на 14 %. 2,4 трлн руб. в этом году было привлечено на транспорт, из них 1,5 трлн – инвестиции внебюджетные. Мы идём в хорошем графике и рассчитываем в будущем году приблизиться к 2 трлн руб. инвестиций в транспорт и транспортную инфраструктуру», – отметил министр транспорта Евгений Дитрих.

По материалам и с использованием фотографий официального веб-сайта Министерства транспорта России <https://www.mintrans.ru/press-center/news/> и веб-сайта мероприятия <https://transweek.ru/2019/ru> ●



TRANSPORT WEEK 2019

The plenary session on November 21, 2019 was the final event of the yearly «Transport Week» held this year for the thirteenth time.

A number of important events held during the Transport Week comprised the 13th International Transport Forum of Russia, the 13th International Transport of Russia Exhibition, the Coordinating Transport Meeting of CIS Member States, the 11th International Sports festival of the students of Transport

Higher Education institutions, the International Festival of Student Creativity «TranspART», the awarding of the 6th National Formula of Movement Award for the merits in the field of transportation and transport infrastructure, Road Traffic Organization forum, and other important events.

This year's events were attended by representatives from 42 countries and 71 regions of the Russian Federation. Forum's business program included three core



fields: integration, infrastructure, and transportation.

48 interaction and cooperation agreements were signed, which is almost double the number of the previous year. Within the framework of the Transport of Russia Forum, 31 business events were held, attended by more than 250 speakers. More than 3000 participants took part in general business program, 100 exhibitors participated in exhibition that was visited by more than 12000 persons.

According to Evgeny Ditrich, the Minister of Transport of Russia, «2019 was a positive year for transport, the

volume of investments in transport infrastructure grew by more than 14 %. The amount of 2,4 trillion rubles was invested that year in transport sector, of which 1,5 trillion were extra-budgetary investments. We follow the good schedule and expect to approach 2 trillion rubles of investment in transport and transport infrastructure next year».

Compiled using materials and photos of the official website of the Ministry of Transport of the Russian federation
<https://www.mintrans.ru/press-center/news/> and of the website of the event
<https://transweek.ru/2019/en>●

T

ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ

*Электровелосипеды:
открытая дорога
или велодорожка?* **186**



*Как ускорить
автобусное движение?* **202**

*Каршеринг: автомобили
тяготеют к пользователям,
пользователи –
к автомобилям.* **222**

**ЖЕЛЕЗНЫЕ
ДОРОГИ** **242**

*Когда барьеры тормозят
вагоны и не ускоряют
сортировку, но очень нужны.*

**АВТОМОБИЛЬНЫЙ
ТРАНСПОРТ** **258**

*Дистанционный контроль за
грузовыми автоперевозками.*

URBAN TRANSPORT

*E-bikes: open road
or open track.* **194**

*How can we accelerate
bus traffic?* **212**

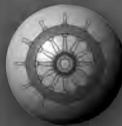
*Car sharing and gravity
model: cars and users,
who attracts whom?* **233**

RAILWAYS **250**

*There is the need for barriers
that... block the wagons and do
not accelerate the marshalling.*

**ROAD
TRANSPORTATION** **265**

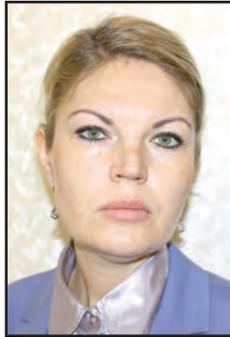
*Remote control of goods
freightage.*



Электровелосипеды в городской среде: перспективы и ограничения применения в мегаполисах



Дмитрий ЗАВЬЯЛОВ



Ольга БЫКОВА

Завьялов Дмитрий Вадимович – Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия.

Быкова Ольга Николаевна – Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия.*

Развитие транспортной системы, отвечающей как требованиям жителей по обеспечению мобильности при сохранении экологии города, так и требованиям бизнеса, нуждающегося в эффективной логистической системе – актуальная задача большинства мегаполисов. Москва, не являясь исключением, прикладывает значительные усилия для развития транспортной системы города, используя как традиционные методы увеличения пропускной способности автодорог, так и развивая городскую инфраструктуру для использования велотранспорта, способного снизить нагрузку на общественный транспорт города и повлиять на экономику и экологию города. В последнее время на улицах города стал появляться электротранспорт индивидуального использования: электровелосипеды, электросамокаты.

Целью статьи является рассмотрение проблем и оценка перспектив применения в мегаполисах,

на примере Москвы индивидуального электротранспорта как с рекреационными, так и утилитарными целями. В качестве методов исследования используется анализ опыта развития данных транспортных средств за рубежом, в том числе в городской транспортной системе, анализ нормативно-правовых аспектов использования электровелосипедов для определения основных направлений, требующих учёта при активном использовании электровелосипедов в городской среде.

Авторы проводят оценку возможностей их использования с учётом категорий грузов и особенностей маршрутизации. Делается вывод о потенциале использования электровелосипедов в качестве инструмента городской логистики, а также выделяются преимущества электровелосипедов как альтернативного городского транспорта.

Ключевые слова: городской наземный транспорт, грузоперевозки, велотранспорт, электровелосипед.

*Информация об авторах:

Завьялов Дмитрий Вадимович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой предпринимательства и логистики Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия, Zavyalov.DV@rea.ru.

Быкова Ольга Николаевна – доктор экономических наук, профессор кафедры предпринимательства и логистики Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия, Lgaa3@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 15.08.2019, принята к публикации 21.11.2019.

For the English text of the article please see p. 194.

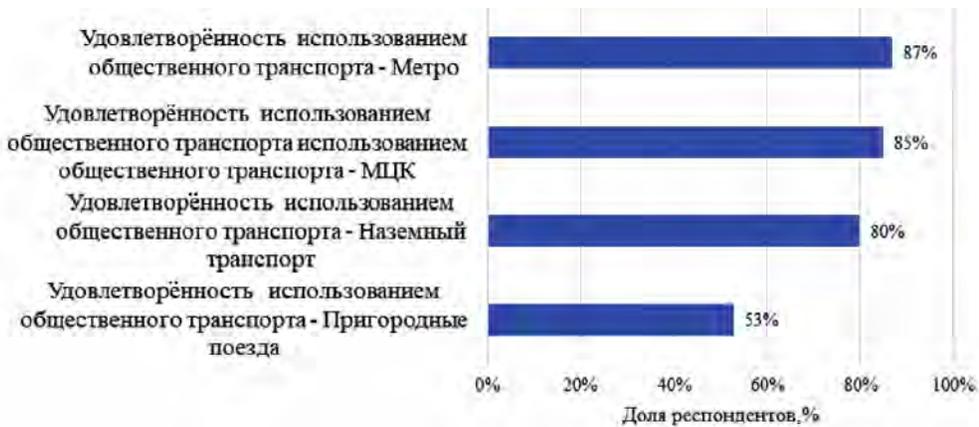


Рис. 1. Удовлетворённость москвичей уровнем развития городского общественного транспорта, 2018 год (составлено авторами на основе исследований РЭУ им. Г. В. Плеханова).

ВВЕДЕНИЕ

Современные задачи развития транспортной системы мегаполисов в большинстве стран мира сосредоточены на вопросах повышения транспортной доступности для горожан и снижения негативного влияния транспортной системы на условия проживания жителей за счёт повышения эффективности управления транспортными потоками и развития новых видов транспорта. Часть решений этих задач лежит в плоскости создания распределённой городской инфраструктуры, внедрения инновационных градостроительных проектов, ориентированных на создание множества центров притяжения (крупных торговых центров, парков, зон отдыха, офисных центров и прочих объектов).

В области управления развитием транспортной системы города применяются различные методы. В первую очередь, осуществляется модернизация транспортных путей и транспортных средств: развиваются сети наземного и подземного железнодорожного транспорта, что сопровождается неуклонным ростом скорости движения, расширяется улично-дорожная сеть, внедряются современные модели транспортных средств — автобусов, троллейбусов, трамваев. Практически во всех мегаполисах проводится политика мотивации жителей к пользованию услугами общественного транспорта, совместному использованию личных автомобилей, применению экологически безопасных

транспортных средств — велосипедов, самокатов и др.

Проведённые за последние годы в Москве мероприятия по развитию городской транспортной сети и совершенствованию качества услуг общественного транспорта существенно повлияли на мнение москвичей. По результатам проведённого РЭУ им. Г. В. Плеханова в 2018 году исследования жители высоко оценивают уровень развития общественного транспорта в городе (рис. 1).

Однако автомобильный парк Москвы также продолжает расти на 8–10 % ежегодно, и ежедневно по городу перемещаются 3,6 млн машин¹. Возможность применения альтернативных общественному транспорту и личным автомобилям видов транспорта, в частности, использование личных или прокатных велосипедов, ограничивается множеством факторов, таких, как недостаточная развитость инфраструктуры, необходимость преодолевать большие расстояния между точками маршрута, низкий уровень физической активности горожан [1].

Целью исследования является изучение проблем и оценка перспектив применения в мегаполисах, на примере Москвы, индивидуального электро-транспорта на основе использования методов сравнительного анализа данных и нормативно-правовых положений.

¹ FoxTime (Городское Интернет-издание). [Электронный ресурс]: <http://foxtime.ru/news-view/v-moskve-rastet-kolichestvo-mashin>. Доступ 12.06.2019.



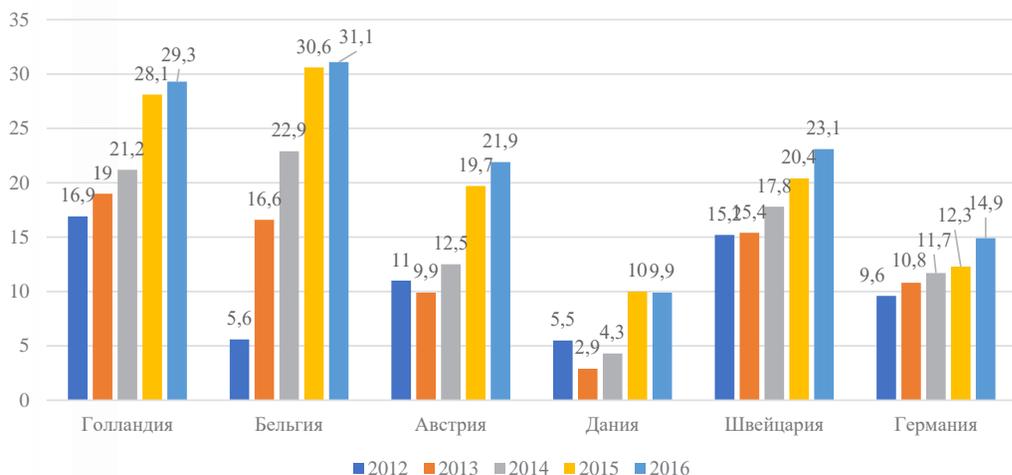


Рис. 2. Доля продаж электровелосипедов в общем объеме продаж велосипедов, %.
 [Plazier P., Weitkamp G., Berg A. Exploring the Adoption of E-Bikes by Different User Groups. *Frontiers in Built Environment*, 2018, Vol. 4, p. 47].

ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДЫ В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

Использование велосипедов как полноценного средства городского транспорта является одним из наиболее актуальных направлений стратегического развития транспортной системы современного мегаполиса. Задача перехода от рекреационного использования велосипеда к решению сугубо утилитарных, в частности, транспортных задач, ложится в основу многих программ устойчивого развития транспортной системы крупных городов [2]. При этом исследования показывают, что использование велосипеда эффективно на маршрутах небольшого радиуса — обычно до 4–5 километров [3]. Это не требует серьёзных физических усилий от неподготовленного человека и зачастую оказывается быстрее, чем использование других видов транспорта, особенно в загруженных мегаполисах [4]. Однако, с учётом разрастания территории мегаполисов, для преодоления более длинных расстояний велосипед до сих пор не стал полноценной альтернативой общественному или частному автомобильному транспорту. Ситуация в крупных городах начала в корне меняться последние несколько лет в связи с приходом на рынок электровелосипедов, объём продаж которых демонстрирует устойчивый рост (рис. 2).

РЫНОК ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДОВ

В настоящее время общий объём рынка электровелосипедов оценивается в 14,7 млрд долларов США. При этом ежегодный прирост ожидается на уровне 6,3 % [5]. Основным рынком электровелосипедов является азиатско-тихоокеанский регион, где лидером является рынок Китая. Именно Китай в течение десятилетия занимает первое место по производству и продаже электровелосипедов². На внутреннем китайском рынке эксплуатируется более 200 млн электровелосипедов, а ежегодные продажи составляют порядка 30 млн единиц, из которых около 25 млн приобретаются на замену старым или изношенным аппаратам. В европейских странах также можно наблюдать стремительное развитие электровелосипеда как вида транспорта. В частности, в Германии в 2018 году продажи электровелосипедов выросли на 36 %, достигнув уровня в 980 тыс. единиц [6]. В Нидерландах, где на 17 млн жителей приходится более 22 млн велосипедов, по итогам 2018 года из 1,22 млрд евро продаж новых велосипедов 823 млн евро пришлось на электровелосипеды [7]. Всего было продано более 400 тыс. единиц электровелосипедов, что на 40 % превысило продажи годом ранее. Растущая по-

² Модели электровелосипедов, используемые в Китае, более близки по размерам и функционалу к мопедам. Педальный механизм водителями практически не используется.

пулярность электровелосипедов объясняется их более активным использованием в качестве основного вида транспорта и постепенным вытеснением обычных велосипедов. В Нидерландах около 60 % населения проживают на расстоянии 15 км от работы [8], что превышает расстояние среднестатистической поездки на обычном велосипеде, равной 4–5 км. Использование электровелосипеда позволяет увеличить длину среднего маршрута до 10–25 км без дополнительных временных и физических затрат.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДОВ

В электровелосипедах установлен электрический мотор, обеспечивающий тягу, но при этом сохраняется возможность использования традиционной педальной тяги. Современные модели электровелосипедов могут быть снабжены как электродвигателями небольшой мощности, работающими для облегчения физических усилий, так и более мощными агрегатами, обеспечивающими полностью автономное движение и позволяющими достичь скорости в 35–45 км/ч. В связи с этим существует законодательное разграничение классов электровелосипедов. В частности, в соответствии с законодательством Европейского Союза³ к классу велосипедов относится исключительно Pedelec (Pedal electric cycle) – модель электровелосипеда, в которой электромотор, максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки не более 250 Вт, подключается в момент вращения педалей и автоматически отключается при достижении предельной скорости в 25 км/ч. Именно на такой тип электровелосипедов приходится большая часть общемировых продаж – около 88 % [5]. Модели электровелосипедов с более мощными моторами, которые работают без привязки к механизму вращению педалей, а также без функции автоматического отключения, официально не являются велосипедами и относятся, в зависимости от

местного законодательства, к классу мопедов или мотоциклов. Для них также существуют ограничения при движении по велосипедным дорожкам: в Германии и Великобритании велосипедными дорожками разрешено пользоваться только владельцам Pedelec, в Норвегии мощные электровелосипеды допускаются на велосипедные дорожки при отключённых электромоторах. В России, в соответствии с ПДД, транспортные средства с электродвигателем номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 0,25 кВт, автоматически отключающимся на скорости более 25 км/ч, также относятся к классу велосипедов. Электровелосипеды с более мощным двигателем относятся к классу мопедов и требуют получения прав категории «М»⁴.

С увеличением мощности и скорости движения электровелосипедов возрастают риски потенциального ущерба жизни, здоровью и имуществу как самих водителей, так и окружающих. В связи с этим в странах ЕС прорабатывается законодательная инициатива обязательного страхования гражданской ответственности для владельцев электровелосипедов. В 2018 году данная рекомендация была оглашена Европейской Комиссией, однако отклонена Европарламентом под давлением Европейской федерации велосипедистов (ЕФВ)⁵.

В большинстве европейских стран Pedelec рассматривается как вариант обычного велосипеда и введение дополнительных ограничений, по мнению ЕФВ [9], негативно скажется на развитии велодвижения, новый толчок которому дали технологии электротранспорта. Именно продажи электровелосипедов оживили стагнирующий рынок и помогли привлечь к данному виду транспорта дополнительных пользователей как среди молодёжи, так и в старшей возрастной категории. По прогнозам ЕФВ, основанных на данных о продажах электровелосипедов в Германии и Нидерландах, в ближайшее десяти-

³ Стандарт EN15194 Cycles – Electrically power assisted cycles – EPAC Bicycles. [Электронный ресурс]: <https://www.en-standard.eu/ilnas-en-15194-cycles-electrically-power-assisted-cycles-epac-bicycles/>. Доступ 12.06.2019.

⁴ Федеральный закон от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ (ред. от 27.12.2018 г.) «О безопасности дорожного движения» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.11.2019 г.). Статья 25. [Электронный ресурс]: <http://www.consultant.ru/>. Доступ 21.07.2019.

⁵ European Cyclists' Federation (ECF). [Электронный ресурс]: <https://ecf.com/>. Доступ 21.07.2019.



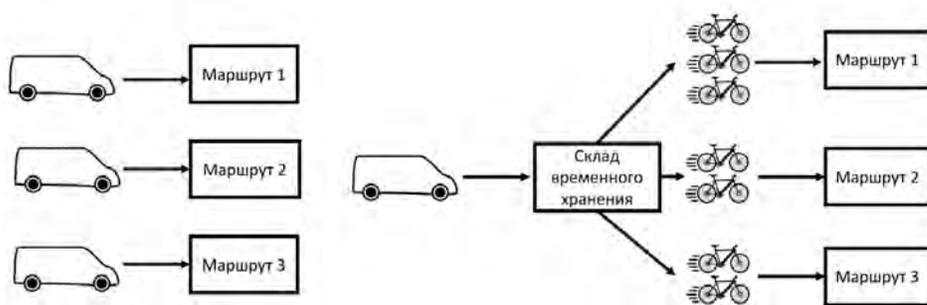


Рис. 3. Модель замены малотоннажных автомобилей на электровелосипеды. Источник: Составлено авторами на основе Nocerino, R., Colorni, A., Lia, F., Luè, A. *E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots*. 6th Transport Research Arena, 2016.

летие будет реализовано около 150 млн единиц электровелосипедов [6].

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДОВ В МОСКВЕ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

С точки зрения интеграции в городскую транспортную систему электровелосипеды имеют ряд несомненных преимуществ по сравнению с обычным велосипедом — они позволяют покрывать значительно большие расстояния, минимизируют негативные эффекты сложной топографии, подходят для людей разной физической подготовки и состояния здоровья. По результатам опросов, проведённых в рамках исследований Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Москвы, значительная часть респондентов в качестве причины отказа от пользования велосипедом называют состояние здоровья или возраст. Именно по этой причине электровелосипеды имеют большой потенциал с точки зрения альтернативы личным автомобилям, нежели обычные велосипеды.

Помимо рекреационного использования, растёт популярность электровелосипедов среди курьерских и логистических компаний в качестве транспорта для внутригородских перевозок небольших грузов. Использование электровелосипедов позволяет решить проблемы с высокой стоимостью платной парковки, дефицитом разгрузочных зон на центральных улицах, а отсутствие необходимости иметь водительское удостоверение значительно рас-

ширяет пул потенциальных сотрудников, нанимаемых в качестве водителей.

Организация внутригородских перевозок является одной из основных задач логистических экспертов крупных городов. Транспортные грузовые потоки большей частью совпадают с передвижением владельцев личного автотранспорта и ухудшают напряжённую дорожную ситуацию в пиковые часы. Грузовые перевозки составляют от 8 % до 10 % транспортного потока и, в случае выполнения погрузо-разгрузочных работ, сокращают пропускную способность улицы на 30 % [10; 11]. Порядка 20 % выбросов CO₂ в атмосферу города происходит по вине грузовых перевозок [12]. К примеру, в Великобритании количество малотоннажных автомобилей за 20 лет выросло на 71 % при том, что парк легковых автомобилей увеличился только на 13 %. Использование электровелосипедов может частично решить эти проблемы. По предварительным оценкам, от 19 % до 48 % среднесуточного пробега грузового автомобиля, работающего в черте города [13], и перевозка до 51 % [14] всех грузов может быть выполнена с использованием электровелосипедов, приспособленных под перевозку небольших грузов — грузовых электровелосипедов.

Исследование, проведённое Университетом прикладных наук Амстердама [15] в 2016–2017 гг. подтверждает возможность использования электровелосипедов вместо автомобилей для 10–15 % внутригородских грузовых перевозок. Наиболее перспективными направлениями являются перевозки продуктов питания, курьерская и почтовая

доставка, розничная торговля непищевыми товарами, сфера услуг.

Одним из потенциальных ограничений при использовании электровелосипедов в качестве инструмента городской логистики являются трудозатраты, поскольку модель замены малотоннажных грузовых автомобилей на электровелосипеды подразумевает увеличение численности задействованного персонала (рис. 3).

В этом случае увеличение трудозатрат и потенциальных расходов на организацию склада временного хранения должны в должной мере компенсироваться как за счёт сокращения переменных издержек, связанных с эксплуатацией автомобильного парка, так и за счёт уменьшения времени доставки и повышения качества обслуживания клиентов. Кроме того, в зонах лимитированного движения автотранспорта, территорий с ограниченными возможностями для проведения погрузо-разгрузочных работ, отсутствием или высокой стоимостью парковочного пространства, экономия времени может быть особенно существенной.

Реализация подобных моделей использования электровелосипедов в массовом масштабе на территории г. Москвы ограничивается как недостаточной связностью существующей велоинфраструктуры [3], так и действующим регулированием в сфере дорожного движения. В частности, открытыми остаются вопросы фиксации нарушений ПДД водителями велосипедов, страхование ответственности велоперевозчиков, возможность проезда электровелосипедов на пешеходные улицы и улицы с ограничениями движения. Потенциальной проблемой также может стать чрезмерная загруженность существующей велосипедной инфраструктуры, если ею активно начнут пользоваться для коммерческих перевозок. Тем не менее, подобные схемы работы активно внедряются на практике во многих городах, в особенности применительно к логистике последней мили. Так, в Гамбурге компанией «weColli team» было создано мобильное приложение, позволяющее логистическим компаниям размещать заказы на перевозку грузов перевозчикам на электровелосипедах [16]. Во многих случаях это позволило сократить время доставки за счёт того, что перевоз-

чики пользуются велосипедной инфраструктурой, проложенной в том числе вне автомобильных дорог, и не зависят от загруженности магистралей. Международные компании UPS и DHL активно тестируют различные модели электровелосипедов, чтобы выбрать максимально эффективные варианты для использования в качестве транспорта «последней мили» в крупных городах [16]. К такому решению их подталкивают не только возможность сократить время доставки в часы пик, но и общемировой тренд по снижению вредных выбросов в атмосферу, благодаря которому в некоторых городах США появились «зоны чистого воздуха»⁶, куда не допускаются автомобили на традиционном топливе. Однако использование электровелосипедов для логистики последней мили имеет свои ограничения — отдельные категории грузов или особенности маршрута не позволяют получить дополнительные преимущества, предоставляемые электровелосипедами (табл. 1).

Как видно из данных таблицы, использование электровелосипеда в логистике последней мили имеет ряд особенностей и требует выстраивания соответствующей цепочки операций. Формирование маршрутов должно происходить с учётом специфики данного вида транспорта и требует использования соответствующего программного обеспечения для учёта характеристик груза, маршрута, актуальных данных о загруженности дорог. Авторы исследования, проведённого в Нидерландах [15], отметили ряд дополнительных недостатков электровелосипедов. Среди них: время заряда аккумуляторной батареи, отсутствие инфраструктуры для подзарядки, неопределённость правового статуса грузовых электровелосипедов относительно других участников движения и пешеходов, недостаточная ширина велодорожек для комфортного маневрирования.

Несмотря на перечисленные недостатки, доля электровелосипедов в городской логистике европейских городов возрастает. Уже сейчас накопленный опыт крупных логистических компаний, а также результаты экспериментальных исследований показывают

⁶ Clean Air Zone. [Электронный ресурс]: https://en.wikipedia.org/wiki/Clean_Air_Zone. Доступ 21.07.2019.



Ограничения использования электровелосипедов для перевозки грузов

Параметр	Подходит для электровелосипеда	Не подходит для электровелосипеда
Температурный режим	<ul style="list-style-type: none"> Груз без специального температурного режима перевозки и хранения. Грузы с заданным температурным режимом (горячие, холодные), требующие быстрой доставки 	Замороженные продукты
Вес груза	Грузы небольшой массы	Грузы большой массы
Габаритные размеры	Грузы небольшого габаритного размера	Перевозка сверхгабаритных грузов ограничена требованиями ПДД
Скорость движения	Дороги с ограничением скоростного режима, загруженные улицы	При отсутствии дополнительных скоростных ограничений для автомобилей или при отсутствии пробок предпочтительнее использовать автомобиль
Число остановок на маршруте	Наличие большого количества точек на маршруте, поскольку велосипед проще парковать	Увеличение точек на маршруте ведёт к увеличению массы или объёма груза. Для использования велосипеда может потребоваться ограничение точек на маршруте и использование промежуточного места хранения
Расстояние	Небольшое расстояние между точками разгрузки	При больших расстояниях между точками сравнительная эффективность велосипеда падает
Наличие парковки	<ul style="list-style-type: none"> Дефицит парковочного пространства. Отсутствие возможности парковки на автомобиле непосредственно в точке разгрузки. Высокая стоимость автомобильной парковки 	Наличие специального подъезда для грузового/курьерского транспорта к точке разгрузки, увеличивает время разгрузки

Подготовлено на основе: City logistics: light and electric LEFV-logic: research on light electric freight vehicles. Amsterdam University of Applied Sciences. [Электронный ресурс]: <https://www.amsterdamuas.com/car-technology/shared-content/publications/publications-general/city-logistics-light-and-electric.html>. Доступ 21.07.2019.

несомненные преимущества электровелосипедов как альтернативного городского транспорта. Увеличение протяжённости маршрута, возможности использования электровелосипеда широкими слоями жителей мегаполисов, развитие технологий, позволяющих увеличить пробег без подзарядки и снизить себестоимость и цену электровелосипедов, объясняют растущую популярность данного вида транспорта среди велосипедистов и потенциальных потребителей. С точки зрения использования электровелосипеда в логистике последней мили, его преимущества в манёвренности, скорости передвижения в городском потоке, способности проезда в зоны ограниченного движения представляют широкие возможности при перевозке небольших грузов, грузов с ограниченным сроком хранения и транспортировки грузов, требующих срочной доставки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие велотранспорта, оснащённого электродвигателями, является перспектив-

ным направлением совершенствования транспортной системы города. Данные транспортные средства могут быть использованы для перемещения на достаточно большие расстояния, что особенно актуально для растущего города при включении в его границы новых территорий, не имеющих плотной и развитой транспортной сети, а также для доставки малогабаритных грузов. Однако использование транспортных средств с электродвигателями требует создания специализированных объектов транспортной инфраструктуры, к которым относятся выделенные полосы движения, обособленные от пешеходных и автомобильных потоков. Даже при наличии выделенных полос движения необходим системный контроль за соблюдением ПДД велосипедистами, использующими электродвигатели, поскольку их масса значительно выше, чем у механических велосипедов. При перемещении по полосам, совмещённым с пешеходным движением (на скорости менее 25 км/час), ущерб, нанесённый при столкновении с пешеходом, мо-

жет быть значительно выше. Эти условия являются обязательными для обеспечения безопасности пешеходов и участников транспортного движения.

Эффективное использование электровелосипедов требует также:

1) наличия станций зарядки аккумуляторов и системы утилизации отработанных аккумуляторов;

2) оборудования специальных парковочных мест на стоянках временного и постоянного хранения велосипедов и установки системы наблюдения за сохранностью транспортного средства;

3) контроля за техническим состоянием ТС;

4) ограничения скорости электровелосипедов и самокатов в рекреационных зонах.

Многообразие моделей электрических велосипедов и самокатов требует наличия развитой сервисной сети по ремонту и техническому осмотру транспортного средства. С одной стороны, все эти мероприятия являются высокочрезвычайными. С другой стороны, они могут способствовать экономическому развитию города. Наиболее целесообразным в этой ситуации является государственно-частное партнёрство, в котором в обязанности города входит разработка проектов велоинфраструктуры (с периодом окупаемости не менее 3–5 лет), а субъекты МСП обеспечивают реализацию этих проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завьялов Д. В., Сагинова О. В., Завьялова Н. Б. Методика мониторинга воспринимаемого горожанами уровня развития велотранспортной инфраструктуры в г. Москва // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2019. – № 1. – С. 66–83.

2. Завьялов Д. В., Сагинова О. В., Завьялова Н. Б., Быкова О. Н. Велотранспортная инфраструктура города как средство изменения транспортного поведения москвичей // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – № 2А. – С. 238–251.

3. Сагинова О. В., Мхитарян С. В., Завьялов Д. В. Восприятие потребителями новых форм городской мобильности: пример мониторинга велоинфраструктуры в Москве // Маркетинг и маркетинговые исследования. – 2019. – № 2. – С. 132–145.

4. Council of the European Union. Draft statement by Luxembourg promoting cycling as a mode of transport (11.09.2015). [Электронный ресурс]: <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11944-2015-INIT/en/pdf>. Доступ 21.08.2019.

5. Mordor Intelligence. E-bike market – growth, trends, and forecast (2019–2024). [Электронный ресурс]: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/e-bike-market>. Доступ 21.08.2019.

6. 100 million extra e-bike purchases by 2030, Graphs NGO Using 2018's Stellar EU Sales Figures. [Электрон-

ный ресурс]: <https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/04/11/100-million-extra-e-bike-purchases-by-2030-graphs-ngo-using-2018s-stellar-eu-sales-figures/#42052f481a89>. Доступ 21.07.2019.

7. Zonnig 2018 stuwt omzet fietsbranche naar record [BOVAG and RAI Association]. [Электронный ресурс]: <https://raivereniging.nl/artikel/persberichten/2019-q1/0301-zonnig-2018-stuwt-omzet-fietsbranche-naar-record.html>. Доступ 20.07.2019.

8. The Guardian. Bike country No. 1: Dutch go electric in record numbers. [Электронный ресурс]: <https://www.theguardian.com/world/2019/mar/01/bike-country-n0-1-dutch-electric-record-numbers-e-bikes-netherlands>. Доступ 20.07.2019.

9. Годовой отчёт Европейской Федерации Велосипедистов. [Электронный ресурс]: https://ecf.com/system/files/ECF_AnnualReport_2018.pdf. Доступ 21.07.2019.

10. MDS Transmodal Limited: DG MOVE, European Commission: Study on Urban Freight Transport, Final Report, 2012. [Электронный ресурс]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/studies/doc/2012-04-urban-freight-transport.pdf>. Доступ 21.07.2019.

11. Patier, D. La Logistique dans la ville. CELSE, February 2002. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/5086863_La_Logistique_dans_la_ville. Доступ 21.07.2019.

12. Schoemaker, J., Allen, J., Huschebek, M., Monigl, J. Quantification of urban freight transport effects I. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002–2006), BESTUFS Consortium, 2006. [Электронный ресурс]: http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key_issuesII/BESTUF_Quantification_of_effects.pdf. Доступ 28.08.2019.

13. Gruber, J., Ehrler, V., Lenz, B. Technical potential and user requirements for the implementation of electric cargo bikes in courier logistics services. 13th World Conference on Transport Research (WCTR), 2013. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/259904186_Technical_potential_and_user_requirements_for_the_implementation_of_electric_cargo_bikes_in_courier_logistics_services. Доступ 28.08.2019.

14. Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., Rhoades, J. Sustainable city logistics – Making cargo cycles viable for urban freight transport. Research in Transportation Business & Management, June 2015, Vol. 15, pp. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>.

15. City logistics: light and electric LEFV-logic: research on light electric freight vehicles. Amsterdam University of Applied Sciences. [Электронный ресурс]: <https://www.amsterdamuas.com/car-technology/shared-content/publications/publications-general/city-logistics-light-and-electric.html>. Доступ 21.07.2019.

16. Urban logistics redefined – with e-cargo bikes over the last mile. [Электронный ресурс]: <https://www.logistics-newsfeed.com/top-story-november/>. Доступ 22.08.2019.

17. How UPS sees electric cargo bikes fitting into global logistics. [Электронный ресурс]: <https://electricbikereport.com/how-ups-sees-electric-cargo-bikes-fitting-into-global-logistics-video/>. Доступ 22.07.2019.

18. Plazier, P. A., Weitkamp, G., Van Den Berg, A. E. Exploring the adoption of e-bikes by different user groups. Faculty of Spatial Sciences, University of Groningen, Groningen, Netherlands, Frontiers in Built Environment, 27 August 2018, Vol. 4, p. 47. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00047>.

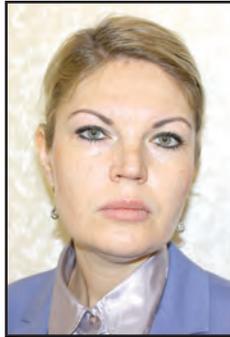




Electric Bicycles in the Urban Environment: Prospects and Constraints for Use in Megalopolises



Dmitry V. ZAVYALOV



Olga N. BYKOVA

*Zavyalov, Dmitry V., Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia.
Bykova, Olga N., Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The development of a transport system that meets both the requirements of residents to ensure mobility while maintaining the ecology of the city, and the requirements of a business that needs an efficient logistics system is a topical task for most megalopolises. Moscow, being no exception, is making significant efforts to develop the city's transport system, using both traditional methods of increasing the capacity of roads and developing the city's infrastructure to use bicycle transport, which can reduce the load on the city's public transport and positively affect the city's economy and ecology. Recently, electric vehicles of individual use began to appear on the streets of the city: electric bicycles, electric scooters, etc.

The objective of the research is to consider problems and assess the prospects for using

individual electric vehicles in megalopolises, at the example of Moscow, for both recreational and utilitarian purposes. The study used as research methods the analysis of the experience of development of these vehicles abroad, including in the urban transport system, and the analysis of the regulatory aspects of the use of electric bikes to determine the main areas that need to be taken into account when using electric bikes in the urban environment.

The authors also evaluate the possibilities of their use, considering categories of goods and the features of routing. The conclusion is drawn on the large existing potential of the use of electric bicycles as of an instrument of urban logistics, and on the advantages of electric bicycles as of an alternative urban transport mode.

Keywords: urban land transport, cargo transportation, bicycle transport, electric bicycle, electric bikes, e-bikes.

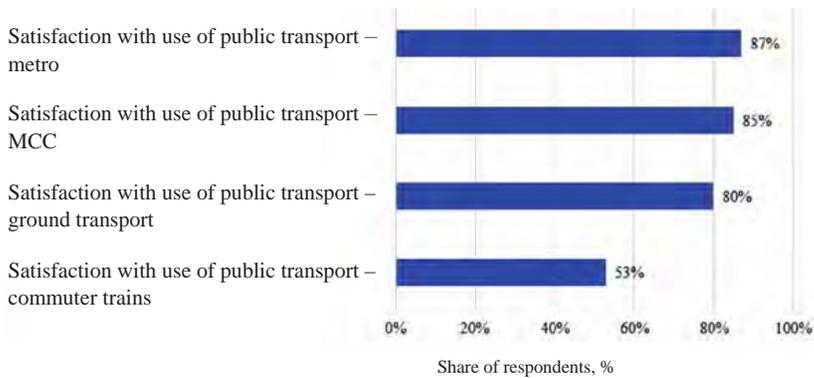
*Information about the authors:

Zavyalov, Dmitry V. – Ph.D. (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Entrepreneurship and Logistics of Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, Zavyalov.DV@rea.ru.

Bykova, Olga N. – D.Sc. (Economics), Professor at the Department of Entrepreneurship and Logistics of Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, Lgaa3@rambler.ru.

Article received 15.08.2019, accepted 21.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 186



Pic. 1. Satisfaction of Muscovites with the level of development of urban public transport, 2018. Compiled by the authors based on the research of Plekhanov Russian University of Economics.

Background. The modern tasks of developing the transport system of megalopolises in most countries are focused on increasing transport accessibility for citizens and on reducing the negative impact of the transport system on the living conditions of megalopolis residents by increasing the efficiency of traffic management and developing new modes of transport. Part of the solutions to these problems lies in the plane of creating a distributed urban infrastructure, introducing innovative urban development projects focused on creation of many centers of attraction (large shopping centers, parks, recreation areas, office centers, etc.).

Development management in the field of the urban transport systems uses various methods. First of all, it is associated with modernization of transport routes and vehicles. Networks of ground and underground railways are being developed, which results in a steady increase in speed; the street-road network is expanding; modern models of vehicles, buses, trolleybuses, trams are being introduced. Almost all megapolises follow the policy of motivating residents to use public transport, sharing private cars, and using environmentally friendly vehicles: bicycles, scooters, etc.

The measures taken in recent years in Moscow to develop the urban transport network and improve quality of public transport services significantly influenced the opinion of Muscovites. According to the results of Plekhanov Russian University of Economics (REU) 2018 research residents highly assess the level of development of public transport in the city (Pic. 1).

However, the car fleet of Moscow also continues to grow by 8–10 % annually and

3,6 million cars move around the city daily¹. The possibility of using other modes of transport as alternative to public transport and private cars, in particular, the use of personal or rental bicycles, is limited by many factors, such as insufficient infrastructure, the need to overcome long distances between route points, and the low level of physical activity of citizens [1].

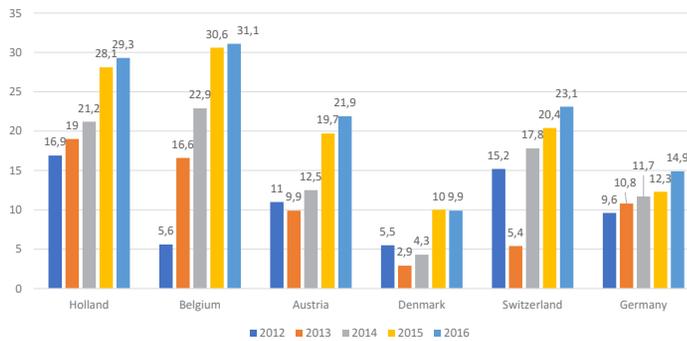
The objective of the research is to study problems and to assess prospects for use in megalopolises, at the example of Moscow, of personal electric transport. The research is based on the methods of comparative analysis of data and regulations.

Electric bicycles in the urban transport system

The use of bicycles as a full-fledged means of urban transport is one of the most relevant areas of strategic development of the transport system of a modern metropolis. The problem of transition from recreational use of a bicycle to solving purely utilitarian, and particularly transport problems, forms the basis of many programs for sustainable development of transport systems of large cities [2]. At the same time, studies show that the use of a bicycle is effective on routes of a small radius, usually up to 4–5 kilometers [3]. This does not require serious physical effort from an unprepared person and often turns out to be faster than using other modes of transport, especially in megacities with busy traffic [4]. However, considering the expansion of the territory of megacities, to overcome longer distances, the bicycle has not yet become a full-fledged

¹ FoxTime (City Internet-edition). [Electronic resource]: <http://foxtime.ru/news-view/v-moskve-rastet-kolichestvo-mashin>. Last accessed 12.06.2019.





Pic. 2. Share of sales of electric bicycles in the total volume of bicycles sales, %. Source: Plazier P. Weitkamp G., Berg A. *Exploring the Adoption of E-Bikes by Different User Groups. Frontiers in Built Environment, 2018, Vol. 4, p. 47.*

alternative to public or private road transport. The situation in large cities has begun to radically change over the past few years following the arrival of electric bicycles on the market, whose sales are showing steady growth (Pic. 2).

Electric bicycles market

Currently, the total market for electric bicycles is estimated at 14,7 billion US dollars. Moreover, annual growth is expected at the level of 6,3 % [5]. The main market for electric bicycles is Asia-Pacific region, where the leader is the Chinese market. It is China that, for a decade, has been number one in production and sale of electric bicycles². More than 200 million electric bicycles are operated in the domestic Chinese market, and annual sales amount to about 30 million units, of which about 25 million are purchased to replace old or worn devices. In European countries, it is also possible to see rapid development of electric bicycles as a mode of transport. In Germany in 2018, sales of electric bicycles increased by 36 %, reaching a level of 980 thousand units [6]. In the Netherlands, where 17 million inhabitants account for more than 22 million bicycles, by the end of 2018, out of 1,22 billion Euros spent to purchase new bicycles, 823 million Euros accounted for electric bicycles [7]. In total, more than 400 thousand units of electric bicycles were sold, which is 40 % more than sales a year earlier. The growing popularity of electric bicycles is due to their more active use as the main mode of transport and gradual displacement of

conventional bicycles. In the Netherlands, about 60 % of the population lives at a distance of 15 km from work [8], which exceeds the distance of an average trip on a regular bicycle, equal to 4–5 km. Using an electric bicycle allows to increase the length of an average route to 10–25 km without additional time and physical costs.

Regulatory aspects of using electric bicycles

Electric bicycles have an electric motor that provides traction, but at the same time, the possibility of using traditional pedal traction remains. Modern models of electric bicycles can be equipped with small electric motors that work to facilitate physical effort, as well as with more powerful units that provide fully autonomous movement and allow reaching speeds of 35–45 km/h. In this regard, there is a legislative distinction between the classes of electric bicycles. In particular, in accordance with the legislation of the European Union³, only Pedelec (Pedal electric cycle) is a bicycle class: an electric bicycle model in which an electric motor, with a maximum power in continuous load mode of not more than 250 W, is connected at the moment of pedaling and automatically turns off when the limit speed of 25 km/h is reached. It is this type of electric bicycles that accounts for the majority of global sales, about 88 % [5]. Models of electric bicycles with more powerful motors that operate without reference to the pedal rotation mechanism, as well as without the automatic shut-off function, are not officially bicycles and, depending on local legislation, belong to the class of mopeds or

² Models of electric bicycles used in China are closer in dimensions and functions to motor bikes. Pedal gear is almost not used.

³ Standard EN15194 Cycles – Electrically power assisted cycles – EPAC Bicycles. [Electronic resource]: <https://www.en-standard.eu/ilnas-en-15194-cycles-electrically-power-assisted-cycles-epac-bicycles/>. Last accessed 12.06.2019.

motorcycles. For them, there are also restrictions when driving along bicycle lanes: in Germany and the UK only Pedelec owners are allowed to use bicycle lanes; in Norway powerful electric bicycles are allowed on bicycle lanes with electric motors disconnected. In Russia, in accordance with the Traffic rules, vehicles with an electric motor with a rated maximum power in continuous load mode not exceeding 0,25 kW, which automatically switches off at a speed of more than 25 km/h, also belong to the class of bicycles. Electric bicycles with a more powerful engine belong to the class of mopeds and require obtaining the driving license of category «M»⁴.

With an increase in the power and speed of electric bicycles, the risks of potential damage to life, health, and property of both the drivers themselves and those around them increase. In this regard, the EU countries are developing a legislative initiative for compulsory liability insurance for owners of electric bicycles. In 2018, this recommendation was announced by the European Commission, but was rejected by the European Parliament under pressure from the European Federation of Cyclists (EFC)⁵. In most European countries, Pedelec is considered as a variant of a conventional bicycle and introduction of additional restrictions, according to EFC [9], will negatively affect development of cycling, a new impetus to which is given by electric transport technologies. The sales of electric bicycles have particularly revived the stagnant market and helped to attract additional users to this type of transport both among young people and in the older age category. According to EFC forecasts, based on data on sales of electric bicycles in Germany and the Netherlands, about 150 million units of electric bicycles will be sold in the next decade [6].

Prospects for use of electric bicycles in Moscow based on international experience

From the point of view of integration into the urban transport system, electric bicycles have a number of undoubted advantages compared to ordinary bicycles: they allow to

cover significantly greater distances, minimize the negative effects of complex topography, and are suitable for people of different physical fitness and health. According to the results of surveys conducted as part of studies by the Department of Transport and Development of Road Transport Infrastructure of the city of Moscow, a significant portion of respondents cite health or age as a reason for refusing to use a bicycle. It is for this reason that electric bicycles have more potential in terms of alternatives to personal cars than ordinary bicycles.

Besides recreational use, the popularity of electric bicycles among courier and logistics companies is growing as of a vehicle for intercity transportation of small loads. The use of electric bicycles can solve the problems with the high cost of paid parking, shortage of unloading areas in the central streets, and the lack of the need to have a driver's license significantly expands the pool of potential employees hired as drivers.

Organization of intracity transportation is one of the main tasks of logistics experts in large cities. Transport cargo flows mostly coincide with traffic routes of personal vehicle owners and worsen the busy traffic situation during peak hours. Cargo transportation makes up from 8 % to 10 % of the transport flow and, in case of loading and unloading, reduce street throughput by 30 % [10; 11]. About 20 % of CO₂ emissions into the city's atmosphere are caused by cargo transportation [12]. For example, in the UK the number of small vehicles over the past 20 years has grown by 71 %, while the fleet of cars has increased by only 13 %. Using electric bicycles can partially solve these problems. According to preliminary estimates, from 19 % to 48 % of the average daily mileage of a truck operating within the city [13], and transportation of up to 51 % [14] of all goods can be carried out using electric bicycles adapted for transportation of small goods (cargo electric bicycles).

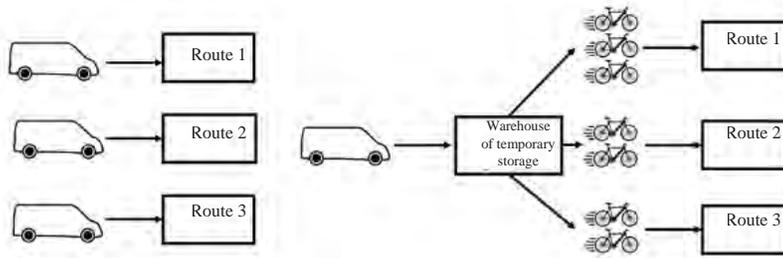
A study conducted by Amsterdam University of Applied Sciences [15] in 2016–2017 confirms the possibility of using electric bicycles instead of cars for 10–15 % of intra-urban cargo transportation. The most promising areas are food transportation, courier and mail delivery, retail trade in non-food products, and services.

Labor costs can be considered among potential constraints when using electric

⁴ Federal Law dated 10.12.1995 No. 196-FZ (as amended on 27.12.2018) «On Traffic Safety» (with amend. Entering into force since 01.11.2019). Article 25. [Electronic resource]: <http://www.consultant.ru>. Last accessed 21.07.2019.

⁵ European Cyclists' Federation (ECF). [Electronic resource]: <https://ecf.com/>. Last accessed 21.07.2019.





Pic. 3. Model of replacement of low-tonnage trucks with electric bicycles. Compiled by the authors on the basis of: Nocerino, R., Colorni, A., Lia, F., Luè, A. E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots. 6th Transport Research Arena, 2016.

Table 1

Limitations of the use of electric bicycles for transportation of goods

Parameter	Suitable for electric bicycles	Not suitable for electric bicycles
Temperature mode	<ul style="list-style-type: none"> • Cargo without special temperature mode of transportation and storage. • Cargo with a predetermined temperature mode (hot, cold) requiring fast delivery 	Frozen products
Cargo weight	Light cargo	Heavy cargo
Dimensions	Cargo of small dimensions	Oversized cargo transportation is limited by traffic rules
Movement speed	Speed limit roads, busy streets	In the absence of additional speed limits for cars or in the absence of traffic jams, it is preferable to use a car
Number of stops on the route	The presence of a large number of delivery points on the route, since it is easier to park a bicycle	An increase in points along the route leads to an increase in mass or volume of the cargo. To use a bicycle, it may be required to limit points on the route and use an intermediate storage location
Distance	Short distance between points of unloading	At large distances between points, comparative effectiveness of a bicycle decreases
Availability of parking	<ul style="list-style-type: none"> • Shortage of parking space. • Lack of possibility to park a car directly at an unloading point. • High cost of car parking 	The presence of a special entrance for cargo/courier transport to the unloading point increases the unloading time

Compiled based on City logistics: light and electric LEFV-logic: research on light electric freight vehicles. Amsterdam University of Applied Sciences. [Electronic resource]: <https://www.amsterdamuas.com/car-technology/shared-content/publications/publications-general/city-logistics-light-and-electric.html>. Last accessed 21.07.2019.

bicycles as an instrument of urban logistics, since the model of replacing low-tonnage trucks with electric bicycles implies an increase in the number of personnel involved (Pic. 3).

In this case, the increase in labor costs and potential costs for organizing a temporary storage warehouse should be adequately compensated both by reducing the variable costs associated with operating the fleet, and by reducing delivery time and improving quality of customer service. In addition, in areas of limited traffic, areas with restricted capabilities for loading and unloading, in zones with the absence of parking space or with expensive parking payment, time savings can be especially significant.

The implementation of such models of use of electric bicycles on a mass scale in the territory of Moscow is limited by both insufficient connectivity of the existing bicycle infrastructure [3] and the current regulation in the field of traffic. In particular, the issues of fixing violations of traffic rules by bicycle drivers, liability insurance for bicycle carriers, the possibility of electric bicycles traveling via pedestrian streets and streets with restricted traffic remain open. Excessive workload of the existing bicycle infrastructure can also become a potential problem if it is actively used for commercial transportation. Nevertheless, such work schemes are being actively implemented in many cities, especially regarding logistics of the last mile. So, in Hamburg, weColli team



created a mobile application that allows logistics companies to place orders for transportation of goods by electric bicycle carriers [16]. In many cases, this made it possible to reduce the delivery time since carriers use the bicycle infrastructure, which frequently exists outside of highways, and does not depend on traffic congestion. International companies UPS and DHL are actively testing various models of electric bicycles to choose the most effective options for use as the last mile transportation in large cities [16]. They are prompted to make such a decision not only to reduce delivery time during peak hours, but also to follow the global trend to reduce harmful emissions into the atmosphere, due to which «Clean Air Zones»⁶ have appeared in some cities in the USA, where cars using traditional fuels are not allowed. However, the use of electric bicycles for logistics of the last mile has its limitations: certain categories of goods or route features do not allow to obtain additional benefits provided by electric bicycles (Table 1).

As can be seen from the Table 1, the use of an electric bicycle in the logistics of the last mile has several features and requires construction of an appropriate operation chain. The formation of routes should consider the features of this type of transport and requires the use of appropriate software to consider the characteristics of the cargo, route, current data on traffic congestion. The authors of the study conducted in the Netherlands [15] noted several additional disadvantages of electric bicycles, particularly battery charge time, lack of infrastructure for recharging, uncertainty of the legal status of cargo electric bicycles relative to other road users and pedestrians,

and insufficient width of bicycle lanes for comfortable maneuvering.

Despite these shortcomings, the share of electric bicycles in urban logistics in European cities is increasing. Already, the accumulated experience of large logistics companies, as well as the results of experimental studies have shown the undoubted advantages of electric bicycles as of an alternative urban transport. The increase in the length of the route, the possibility of using an electric bicycle by wide strata of residents of megalopolises, development of technology to increase mileage without recharging and reduce cost and price of electric bicycles explain the growing popularity of this type of transport among cyclists and potential consumers. From the point of view of using an electric bicycle in logistics of the last mile, its advantages in maneuverability, speed of movement in city traffic, and the possibility of traveling to restricted traffic areas represent great opportunities for transporting small loads, goods with a limited shelf life and limited time of transportation, goods requiring urgent delivery.

Conclusion. The development of bicycle transport, equipped with electric motors, is a promising area for improving the transport system of the city. These vehicles can be used to travel long distances, which is especially important for a growing city, proceeding with inclusion of new territories that do not have a dense and developed transport network, as well as for delivery of small loads. However, the use of vehicles with electric motors requires creation of special transport infrastructure facilities, which include dedicated lanes, separate from pedestrian and car flows. Even if allocated lanes exist, systematic monitoring of compliance with traffic rules by cyclists using electric motors is necessary, since their mass is much higher than that of mechanical bicycles.

⁶ Clean Air Zone. [Electronic resource]: https://en.wikipedia.org/wiki/Clean_Air_Zone. Last accessed 21.07.2019.



That is, when moving along lanes combined with pedestrian traffic (at a speed of less than 25 km/h), the damage caused by a collision with a pedestrian can be significantly higher. These conditions are mandatory to ensure safety of pedestrians and participants in traffic.

The effective use of electric bicycles also requires:

- 1) presence of battery charging stations and a system for disposal of used batteries;
- 2) reequipment of special parking spaces for temporary and permanent storage of bicycles and installation of a vehicle safety monitoring system;
- 3) control over technical state of vehicles;
- 4) speed limits for electric bicycles and scooters in recreational areas.

The variety of models of electric bicycles and scooters requires development of a service network for repair and technical inspection of a vehicle. On the one hand, all these activities are costly. On the other hand, they can contribute to economic development of the city. The most appropriate in this situation is public-private partnership, in which the responsibilities of the city include development of bicycle infrastructure projects (with a payback period of at least 3–5 years), while small and medium-sized businesses ensure implementation of these projects.

REFERENCES

1. Zavyalov, D. V., Saginova, O. V., Zavyalova, N. B. Methodology for monitoring the level of development of bicycle transport infrastructure perceived by city dwellers in Moscow [*Metodika monitoring vosprinimaemogo gorozhanami urovnya razvitiya velotransportnoi infrastruktury v g. Moskva*]. *MIR (Modernization. Innovations. Development)*, 2019, Iss. 1, pp. 66–83.
2. Zavyalov, D. V., Saginova, O. V., Zavyalova, N. B., Bykova, O. N. Bicycle transport infrastructure of the city as a means of changing transport behavior of Muscovites [*Velotransportnaya infrastruktura goroda kak sredstvo izmeneniya transportnogo povedeniya moskvicei*]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 2019, Iss. 2A, pp. 238–251.
3. Saginova, O. V., Mkhitarian, S. V., Zavyalov, D. V. Consumer perception of new forms of urban mobility: an example of monitoring bicycle infrastructure in Moscow [*Vospriyatie potrebitelyami novykh form gorodskoi mobilnoi: primer monitoring veloinfrastruktury v Moskve*]. *Marketing i marketingovie issledovaniya*, 2019, Iss. 2, pp. 132–145.
4. Council of the European Union. Draft statement by Luxembourg promoting cycling as a mode of transport (11.09.2015). [Electronic resource]: <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11944-2015-INIT/en/pdf>. Last accessed 21.08.2019.
5. Mordor Intelligence. E-bike market – growth, trends, and forecast (2019–2024). [Electronic resource]: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/e-bike-market>. Last accessed 21.08.2019.

6. 100 million extra e-bike purchases by 2030, Graphs NGO Using 2018's Stellar EU Sales Figures. [Electronic resource]: <https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/04/11/100-million-extra-e-bike-purchases-by-2030-graphs-ngo-using-2018s-stellar-eu-sales-figures/#42052f481a89>. Last accessed 21.07.2019.

7. Zonnig 2018 stuwt omzet fietsbranche naar record [BOVAG and RAI Association]. [Electronic resource]: <https://raivereniging.nl/artikel/persberichten/2019-q1/0301-zonnig-2018-stuwt-omzet-fietsbranche-naar-record.html>. Last accessed 20.07.2019.

8. The Guardian. Bike country No. 1: Dutch go electric in record numbers. [Electronic resource]: <https://www.theguardian.com/world/2019/mar/01/bike-country-no-1-dutch-electric-record-numbers-e-bikes-netherlands>. Last accessed 20.07.2019.

9. Annual report of the European Federation of Cyclists. [Electronic resource]: https://ecf.com/system/files/ECF_AnnualReport_2018.pdf. Last accessed 21.07.2019.

10. MDS Transmodal Limited: DG MOVE, European Commission: Study on Urban Freight Transport, Final Report, 2012. [Electronic resource]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/studies/doc/2012-04-urban-freight-transport.pdf>. Last accessed 21.07.2019.

11. Patier, D. La Logistique dans la ville. CELSE, February 2002. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/5086863_La_Logistique_dans_la_ville. Last accessed 21.07.2019.

12. Schoemaker, J., Allen, J., Huschebek, M., Monigl, J. Quantification of urban freight transport effects I. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002–2006), BESTUFS Consortium, 2006. [Electronic resource]: http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key-issuesII/BESTUF_Quantification_of_effects.pdf. Last accessed 28.08.2019.

13. Gruber, J., Ehrler, V., Lenz, B. Technical potential and user requirements for the implementation of electric cargo bikes in courier logistics services. 13th World Conference on Transport Research (WCTR), 2013. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/259904186_Technical_potential_and_user_requirements_for_the_implementation_of_electric_cargo_bikes_in_courier_logistics_services. Last accessed 28.08.2019.

14. Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., Rhoades, J. Sustainable city logistics – Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, June 2015, Vol. 15, pp. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>.

15. City logistics: light and electric LEFV-logic: research on light electric freight vehicles. Amsterdam University of Applied Sciences. [Electronic resource]: <https://www.amsterdamuas.com/car-technology/shared-content/publications/publications-general/city-logistics-light-and-electric.html>. Last accessed 21.07.2019.

16. Urban logistics redefined – with e-cargo bikes over the last mile. [Electronic resource]: <https://www.logistics-newsfeed.com/top-story-november/>. Last accessed 22.08.2019.

17. How UPS sees electric cargo bikes fitting into global logistics. [Electronic resource]: <https://electricbikereport.com/how-ups-sees-electric-cargo-bikes-fitting-into-global-logistics-video/>. Last accessed 22.07.2019.

18. Plazier, P. A., Weitkamp, G., Van Den Berg, A. E. Exploring the adoption of e-bikes by different user groups. Faculty of Spatial Sciences, University of Groningen, Groningen, Netherlands, *Frontiers in Built Environment*, 27 August 2018, Vol. 4, p. 47. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuilt.2018.00047>.



Фото: mos.ru, Евгений Самарин

САМЫЙ ДОЛГИЙ СЕЗОН ВЕЛОПРОКАТА В МОСКВЕ

Пользователи велопроката совершили в 2019 году пять миллионов поездок — почти на 17 процентов больше, чем в 2018 году.

В свой седьмой год столичный велопрокат отработал самый долгий сезон — почти семь месяцев. В 2019 году пункты аренды городских велосипедов работали с 20 апреля, а на зимний перерыв ушли только 17 ноября, ранее они так поздно не закрывались. Сезон продлили, потому что позволила погода, а также из-за большого количества просьб, поступивших от москвичей.

Столичная система велопроката — одна из самых динамично растущих в мире. За пять лет масштаб проекта вырос в два раза. В 2015 году станций было 300, а велосипедов — 2600. В этом году горожанам были доступны 528 станций и более 5,5 тысячи велосипедов в разных районах города.

Карта самых популярных районов велопроката в 2019 году включает районы Хамовники, Тверской, Пресненский, Останкинский, Марьино, Очаково-Матвеевское, Нагатинский Затон и Лефортово.

Героями минувшего сезона стали два пользователя. Один из них проехал более 10 тысяч километров — это расстояние длиной от экватора до Южного полюса. Другой пользователь брал велосипед 3300 раз — в прошлом году москвич успел 2,5 тысячи раз воспользоваться прокатом.

Столичный прокат — один из лидеров по уровню востребованности среди жителей: в среднем в Москве приходится 6,1 поездки на один велосипед в сутки, что более чем в два раза больше, чем в Лондоне — одном из городов-лидеров по популярности велопроката. В британской столице на один велосипед в среднем приходится 2,6 поездки.

Среднее время поездки прокатного велосипеда — 27 минут.

Растёт популярность электровелосипедов. В этом году на них совершено 125 тысяч поездок. Сейчас в городе можно взять напрокат 429 электровелосипедов, а в следующем году количество увеличится почти в два раза — их будет 729.

В следующем году планируется добавить ещё 100 станций и тысячи велосипедов. Таким образом, велопрокат будет работать на всей территории города. Специалисты оценят предложения жителей, где разместить станции, а также проанализируют, где по итогам 2019 года прокат пользовался наибольшей популярностью.

Всего с момента запуска «Велобайка» в системе зарегистрировались один миллион 600 тысяч человек. В сознании москвичей велосипед сейчас — это популярный и привычный способ добраться из одной точки в другую.

Благодаря развитию проката велосипедисты в Москве становятся активными участниками движения. В столице проводятся городские велофестивали. Так, на 2020 год уже запланировано три подобных события.

Набирает обороты прокат самокатов, который открылся в Москве в 2018 году. В этом году более полумиллиона поездок совершили пользователи проката. Это почти в четыре раза больше, чем годом ранее — тогда самокаты брали 140 тысяч раз. За время работы сервис завоевал популярность у москвичей — поездки в центре города стали частым явлением. Всего в системах операторов зарегистрировано около 350 тысяч пользователей.

По материалам официального сайта мэра
Москвы: https://www.mos.ru/news/item/65374073/?utm_source=search&utm_term=serp ●





Увеличение скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах



Михаил ГРЯЗНОВ



Кирилл ДАВЫДОВ

*Грязнов Михаил Владимирович – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Давыдов Кирилл Александрович – ООО «Автодоркомплект», Магнитогорск, Россия*.*

В статье обозначены актуальные направления повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом за счёт использования современных цифровых технологий контроля и управления загруженностью дорожной сети, организации уличного движения, оценки надёжности перевозочного процесса.

Цель работы – развитие теоретической базы и разработка практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах городского транспорта в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог. Теоретические исследования выполнены на основе анализа научной и нормативно-технической литературы, системного анализа транспортных процессов. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и дорожных условиях с использованием математи-

ческого моделирования, методов математической статистики, технико-экономического и системного анализа транспортных процессов, анализа пассажиропотоков, натуральных наблюдений.

Получены зависимости скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, технической скорости движения автобуса по дополнительным дорогам от интенсивности потока маршрутных транспортных средств. Для условий г. Магнитогорска рассчитан экономический эффект от практической реализации предлагаемых рекомендаций. Так, посредством перенаправления автобусов на дороги-дублёры в период пиковой загрузки дорожной сети обоснована возможность увеличения скорости сообщения на 7 км/ч, что позволит сократить потребности в автобусах на 2 единицы и получить расчётный экономический эффект.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, городская дорожная сеть, регулярный автобусный маршрут, скорость сообщения.

*Информация об авторах:

Грязнов Михаил Владимирович – доктор технических наук, доцент Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, gm-autolab@mail.ru.

Давыдов Кирилл Александрович – менеджер филиала ООО «Автодоркомплект», Магнитогорск, Россия, davyd_mazda@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.10.2019, актуализирована 10.12.2019, принята к публикации 17.12.2019.

For the English text of the article please see p. 212.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности перевозок пассажиров городским транспортом является важной социально-экономической проблемой. Одним из направлений решения данной проблемы, активно обсуждаемых в настоящее время специалистами, является ускорение потока маршрутных транспортных средств, позволяющих увеличить скорость сообщения. В современной отечественной и иностранной научной литературе предлагаются методические рекомендации, направленные на ускорение потока городского транспорта за счёт использования навигационных диспетчерских систем, цифровых технологий для оценки заторов маршрутных потоков, индивидуальных средств мобильной связи для оценки состояния трафика и потерь времени пассажирами в пути следования [1–4].

Большое количество работ посвящено организации уличного движения с целью увеличения пропускной способности городской дорожной сети, включая регулярную маршрутную сеть городского транспорта. Например, на основе аналитических методов, авторами в работах [5–7] предлагаются рекомендации по организации работы остановочно-пересадочных пунктов на регулярных маршрутах городского транспорта, управлению продолжительностью преодоления транспортным потоком регулируемых пересечений, оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта.

Следует также уделить внимание работам [8; 9], в которых предлагается методическая база оценки надёжности перевозки пассажиров городским транспортом. Предлагаемые авторами рекомендации дают возможность количественно обосновать такой параметр качества транспортного обслуживания населения, как надёжность, в большинстве случаев оцениваемый качественными характеристиками.

Несмотря на всестороннюю исследованность рассматриваемой проблемы, реализация предлагаемых методов по ускорению маршрутных транспортных средств требует их доводки и настройки под индивидуальные особенности планировочных решений дорожной сети конкретного города, зачастую не имеющего

резервов территорий под дорожное строительство.

Поэтому целью данной работы является развитие теоретической базы и разработка практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах городского транспорта в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог. Развитие теоретической базы, представляющей научную новизну, состоит в установлении зависимостей скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, а также технической скорости движения автобуса по дополнительным дорогам от интенсивности потока маршрутных транспортных средств. *Практическая значимость* работы заключается в разработке практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на примере регулярной маршрутной сети Магнитогорска.

В работе использовались методы, широко применяемые в исследованиях. Анализ научной и нормативно-технической литературы позволил установить глубину проработки проблемы повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом, определить существующие методики расчёта скорости транспортного потока, сформулировать цель настоящего исследования. Системный анализ транспортных процессов позволил установить влияние загруженности дорожной сети движением на скорость транспортного потока.

Математическое моделирование обеспечило выполнение многократных расчётов скорости транспортного потока при различных режимах проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков с учётом разного уровня загруженности дорожной сети движением. По результатам моделирования с использованием статистического анализа были построены искомые зависимости, оценена достоверность аппроксимации и установлены уравнения регрессии.

Исходные данные для проводимых расчётов, а также для установления критических по уровню загрузки участков дорожной сети Магнитогорска были получены натурными наблюдениями за транспортными потоками по городским автодорогам, а также непосредственным подсчётом



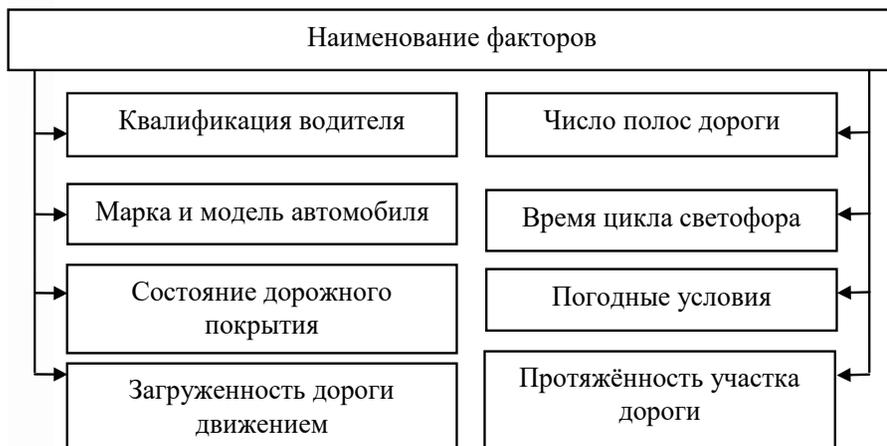


Рис. 1. Факторы, влияющие на скорость транспортного потока.

корреспонденций пассажиропотоков на регулярных маршрутах городского транспорта. Техничко-экономический анализ позволил обосновать целесообразность практической реализации методического инструментария по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффект снижения затрат на перевозку пассажиров при направлении автобусов на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети достигается сокращением числа автобусов на маршруте для выполнения перевозок с заданным интервалом движения в результате увеличения скорости сообщения. Скорость сообщения определяется скоростью потока транспортных средств, на величину которой влияют факторы, представленные на рис. 1.

Методики расчёта скорости потока транспортных средств в большом разнообразии приведены в научной и учебной литературе. Например, в работе [10, с. 6] предлагается производить расчёт усреднённой скорости по формуле:

$$V_{cp.} = \frac{l_{уч.}}{t_a^{cp.}}, \tag{1}$$

где $l_{уч.}$ – длина сегмента, км;
 $t_a^{cp.}$ – среднее время проезда сегмента автомобилями, ч.

Время проезда сегмента автомобилем включает задержки в движении по причи-

не прерываний потока из-за действия регулирующих сигналов или возникновения заторов:

$$t_a = t_p + t_{дв.} + t_o + t_{ож}, \tag{2}$$

где t_p – время разгона транспортного средства до максимально разрешённой скорости, с;

$t_{дв.}$ – время движения транспортного средства по участку с максимально разрешённой скоростью, с;

t_o – остановочное время, с;

$t_{ож.}$ – время ожидания проезда затора на перекрёстке, с.

Время разгона транспортного средства до максимально разрешённой скорости является справочной величиной, остальные компоненты формулы (2) рассчитываются. Время движения транспортного средства по участку с максимально разрешённой скоростью определяется по формуле:

$$t_{дв} = \frac{l_{уч.} - l_{зат.} - l_o}{V_{макс.}}, \tag{3}$$

где $l_{зат.}$ – длина затора перед перекрёстком, м;

l_o – остановочный путь автомобиля, м;

$V_{макс.}$ – максимально разрешённая скорость движения транспортного средства по участку, м/с.

Остановочный путь автомобиля рассчитывается по формуле:

$$l_o = (t_p + t_c + 0,5 \cdot t_n) \cdot V_0 + \frac{V_0^2 \cdot K_g}{2 \cdot g \cdot \phi_x}, \tag{4}$$

где t_p – время реакции водителя, с;

t_c – время срабатывания тормозной системы, с;

Таблица 1

**Варианты расчёта скорости потока транспортных средств при различных режимах
проезда транспортными средствами через регулируемые перекрёстки**

Первый режим: движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке	
Без затора (интенсивность движения по участку меньше пропускной способности участка)	С затором (интенсивность движения по участку больше пропускной способности участка)
$V_1 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}}}$	$V_1 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$
Второй режим: движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором	
$V_2 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$	
Третий режим: движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке	
Без затора (интенсивность движения по участку меньше пропускной способности участка)	С затором (интенсивность движения по участку больше пропускной способности участка)
$V_3 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}}}$	$V_3 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$
Четвёртый режим: движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке	
$V_4 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$	

t_n — время нарастания тормозных сил, с;
 V_0 — начальная скорость торможения, км/ч;

K_3 — коэффициент эффективности торможения;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ϕ_x — коэффициент продольного сцепления колёс автомобиля с дорогой.

Остановочное время — это время, прошедшее от момента, когда водитель заметил препятствие до полной остановки автомобиля, оно определяется по следующей формуле:

$$t_o = t_p + t_c + 0,5 \cdot t_{n0} + \frac{V_0 \cdot K_3}{g \cdot \phi_x} \quad (5)$$

Время ожидания проезда затора во время действия разрешающего сигнала светофора на перекрёстке определяется по формуле:

$$t_{\text{ож}} = I_1 + (n_{\text{разг.}} - 1) \cdot I_p + n_{\text{макс.}} \cdot I_{\text{макс.}} \quad (6)$$

где I_1 — продолжительность пересечения стоп-линии первым транспортным средством после начала движения, с;

$n_{\text{разг.}}$ — количество транспортных средств, которые пересекают стоп-линию во время разгона до максимально допустимой скорости с момента включения разрешающего сигнала светофора;

I_p — интервал между передними бамперами транспортных средств при прохождении стоп-линии во время разгона потока до максимально допустимой скорости;

$n_{\text{макс.}}$ — количество транспортных средств, которые пересекают стоп-линию во время максимально допустимой скорости с момента включения разрешающего сигнала светофора;

$I_{\text{макс.}}$ — интервал между передними бамперами транспортных средств при прохождении



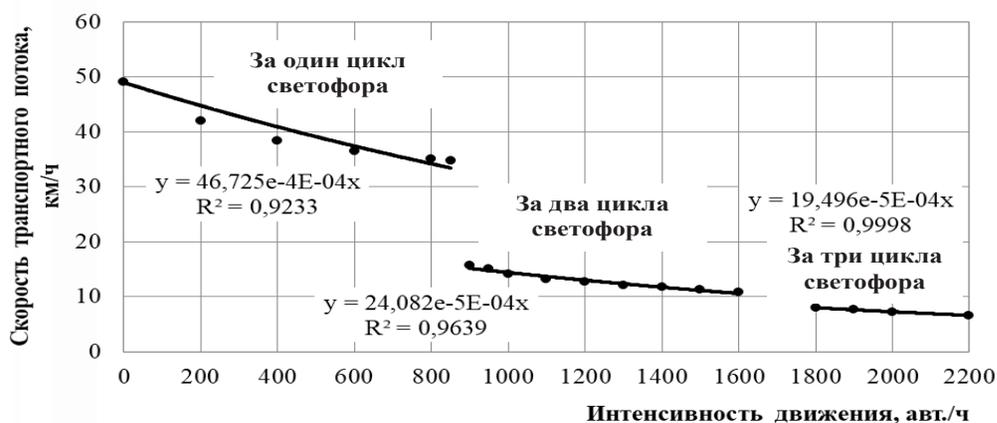


Рис. 2. Зависимость скорости транспортного потока от интенсивности движения.

дении стоп-линии во время максимально допустимой скорости, с.

Для движения доступен только период времени зелёного сигнала светофора. Наличие разрешающего сигнала светофора на момент подъезда транспортного средства к перекрёстку будет определять скорость потока транспортных средств. Поэтому в расчётах были рассмотрены четыре режима проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков. Скорость потока транспортных средств предлагается рассматривать как среднюю величину скорости проезда транспортным средством перекрёстка при четырёх режимах.

Первый режим: движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок с работающего зелёного сигнала светофора (начальная скорость 60 км/ч) и доезжает до затора на следующем перекрёстке в момент загорания зелёного сигнала светофора или проезжает перекрёсток, если нет затора в данное время.

Второй режим: движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором. Транспортное средство въезжает на участок после ожидания включения зелёного сигнала светофора (начальная скорость 0 км/ч) и доезжает до следующего перекрёстка, на котором образовался затор по причине ожидания разрешающего движение сигнала.

Третий режим: движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем

перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок после ожидания включения зелёного сигнала светофора (начальная скорость 0 км/ч) и доезжает до затора на следующем перекрёстке в момент загорания зелёного сигнала светофора или проезжает перекрёсток, если нет затора в данное время.

Четвёртый режим: движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок с работающего зелёного сигнала светофора (начальная скорость 60 км/ч) и доезжает до следующего перекрёстка, на котором образовался затор по причине ожидания разрешающего движение сигнала.

Варианты расчёта скорости транспортного потока при различных режимах проезда транспортными средствами через регулируемые перекрёстки приведены в табл. 1.

Посредством расчётов по приведённой в табл. 1 методике была получена зависимость скорости потока транспортных средств от интенсивности движения для трёх уровней загрузки участка дорожной сети, когда транспортное средство преодолевает затор перед регулируемым перекрёстком соответственно за один, два и три цикла светофора (рис. 2).

Кроме того, на основе математического моделирования была установлена зависимость технической скорости движения автобусов по дополнительным дорогам городской дорожной сети в период её загрузки от интенсивности потока маршрутных транспортных средств (рис. 3).

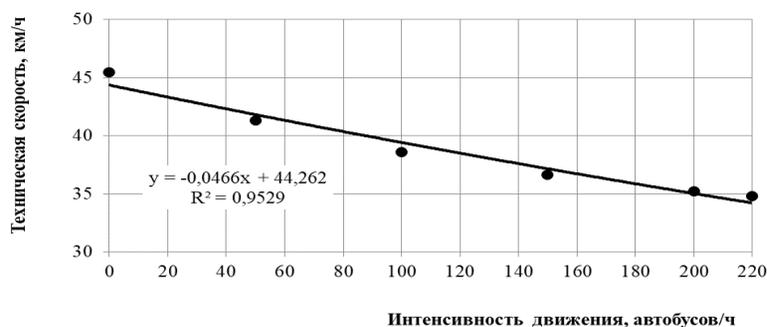


Рис. 3. Зависимость технической скорости движения автобусов по дополнительной дороге от интенсивности потока маршрутных транспортных средств.

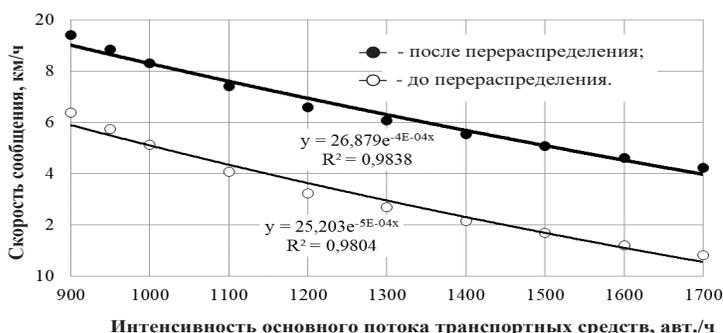


Рис. 4. Изменение средней скорости сообщения движения автобусов при их направлении на дополнительные дороги дорожной сети Магнитогорска.

Зависимость была получена для условий светофорного регулирования возврата маршрутных транспортных средств с дополнительной дороги на основной участок городской дорожной сети после объезда затора. Установленные зависимости необходимы для расчёта скорости сообщения, требуемого количества автобусов на маршруте и получаемого экономического эффекта от реализации рекомендаций по направлению маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети.

Скорость сообщения зависит также от планировочных решений городской дорожной сети. Эти планировочные решения индивидуальны для каждого муниципального образования. В данной работе был произведён анализ дорожной сети Магнитогорска в части определения мест возможного ускорения потока маршрутных транспортных средств за счёт его перераспределения на дополнительные дороги.

В Магнитогорске дороги-дублёры имеют участки дорожной сети в южной части проспектов Карла Маркса и Ленина, а также в центральной части улиц Труда и 50-летия Магнитки. По этим участкам пролегают трассы регулярных автобусных маршрутов,

и в этих местах имеется возможность ускорения потока маршрутных транспортных средств. По результатам проведённого анализа и расчётов было установлено, что перераспределение маршрутных автобусов на дополнительные дороги увеличивает скорость сообщения на регулярных автобусных маршрутах в среднем на 4 км/ч (рис. 4).

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обоснование целесообразности практической реализации методического инструментария по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах за счёт направления маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети был произведён на примере автобусного маршрута № 33 Магнитогорска. Рассматриваемый автобусный маршрут связывает южные районы города с его юго-восточной окраиной в левобережной части. Маршрут является маятниковым. Его протяжённость в прямом и обратном направлениях равна 36,2 км. На маршруте эксплуатируются автобусы ГАЗ-322132 и Citroen Jumper.

Анализ загруженности в течение суток участков городской дорожной сети, по



Результаты расчёта интенсивности потока транспортных средств по проспекту Карла Маркса, авт./ч [11]

Участки дорожной сети	Периоды суток								
	9:00–12:00			12:00–15:00			15:00–18:00		
	Прямое направление	Обратное направление	Сумма	Прямое направление	Обратное направление	Сумма	Прямое направление	Обратное направление	Сумма
1. Вокзальная–Московская	438	330	768	300	240	540	384	342	726
2. Московская–Первомайская	600	354	954	468	360	828	534	372	906
3. Первомайская–Уральская	624	468	1092	570	474	1044	690	468	1158
4. Уральская–Комсомольская	588	594	1182	450	642	1092	642	582	1224
5. Комсомольская–Ленинградская	630	720	1350	702	732	1434	786	636	1422
6. Ленинградская–Татищева	513	684	1197	960	906	1866	768	720	1488
7. Татищева–Гагарина	510	726	1236	774	696	1470	786	714	1500
8. Гагарина–им. Газеты «Правда»	536	678	1214	1014	942	1956	906	882	1788
9. им. Газеты «Правда»–Дружбы	576	894	1470	954	882	1836	960	924	1884
10. Дружбы–магазин «Весна»	551	720	1271	816	918	1734	864	900	1764
11. Магазин «Весна»–Грязнова	574	774	1348	966	828	1794	960	870	1830
12. Грязнова–Советской Армии	554	1014	1568	1074	948	2022	1038	978	2016
13. Советской Армии–Сталеваров	1256	1044	2300	1348	710	2058	1752	645	2397,855
14. Сталеваров–Завенягина	1200	1065	2265	1300	736	2036	1690	669	2359,091
15. Завенягина–ост. Энгельса	968	650	1618	1276	600	1876	1659	545	2204,255
16. ост. Энгельса–Бориса Ручьёва	960	680	1640	1210	612	1822	1573	556	2129,364
17. Бориса Ручьёва–Труда	856	920	1776	972	952	1924	1264	865	2129,055
18. Труда–50-летия Магнитки	580	464	1044	720	692	1412	936	629	1565,091
19. 50-летия Магнитки – Зелёный Лог	512	532	1044	724	612	1336	941	556	1497,564
Итого:	13026	13311	26337	16598	13482	30080	19133	12855	31988

которым пролегает трасса дублирующего маршрута № 33, позволила определить критический участок на проспекте Карла Маркса (табл. 2).

Таким участком является отрезок проспекта от улицы Сталеваров до улицы Труда, на котором в пиковый период суток с 15:00 по 18:00 средняя скорость потока транспортных средств снижается до 11 км/ч, что приводит к образованию заторов на пересечениях и увеличению времени доставки пассажиров маршрутным транспортом. В эти периоды суток целесообразно направлять автобусы рассматриваемого маршрута с основной дороги на дороги-дублёры, расположенные вдоль проспекта Карла Маркса на участках:

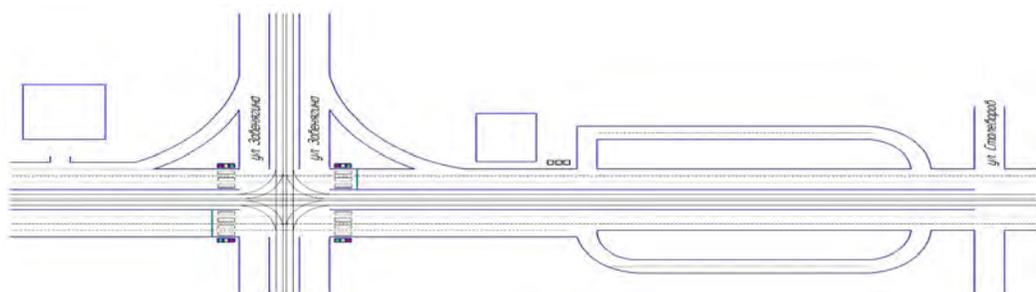
- от улицы Сталеваров до улицы Завенягина;
- от улицы Завенягина до остановки Энгельса;
- от остановки Энгельса до улицы Бориса Ручьёва;
- от улицы Бориса Ручьёва до улицы Труда.

Система движения маршрутных транспортных средств по дорогам-дублёрам

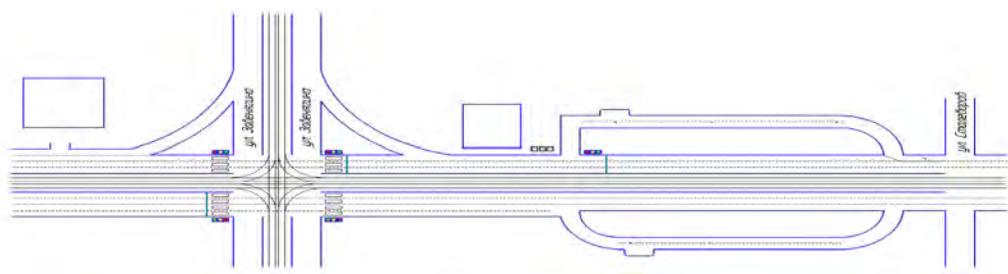
требует организации светофорного регулирования возврата автобусов с дополнительных дорог на основную дорожную сеть. Это связано с затратами на приобретение и монтаж светофорных узлов, места установки которых показаны на схемах (рис. 5–7). Кроме того, необходимо будет перенести существующий светофорный узел от остановки «Зори Урала» до пересечения дороги-дублёра с главной дорогой проспекта на участке ул. Сталеваров–ул. Завенягина. Это необходимо для того, чтобы пропустить автобус с дублёра на основную дорогу без задержки потока транспортных средств.

Результаты технико-экономического анализа существующего и предлагаемого вариантов организации работы автобусного маршрута № 33 приведены в табл. 3.

Проведённые расчёты позволили установить, что направление в периоды пиковой загрузки участков в южной части проспекта Карла Маркса на дороги-дублёры в период с 15:00 по 18:00 обеспечивает увеличение скорости сообщения на рассматриваемом автобусном маршруте с 11 км/ч до 18 км/ч. Время проезда рассмат-



а) Существующий вариант

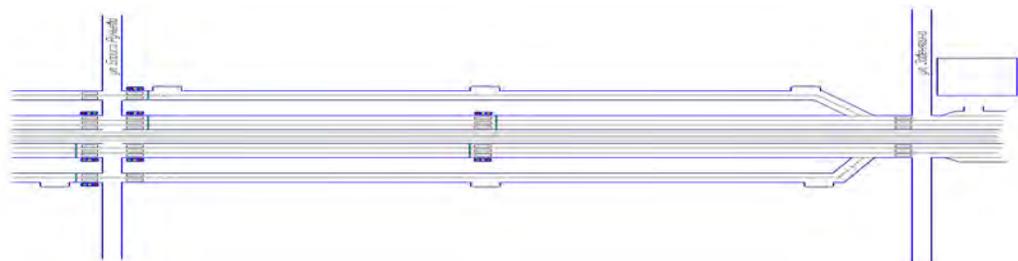


б) Предлагаемый вариант

Рис. 5. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Сталеваров до улицы Завенягина.



а) Существующий вариант



б) Предлагаемый вариант

Рис. 6. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Завенягина до улицы Бориса Ручьева.



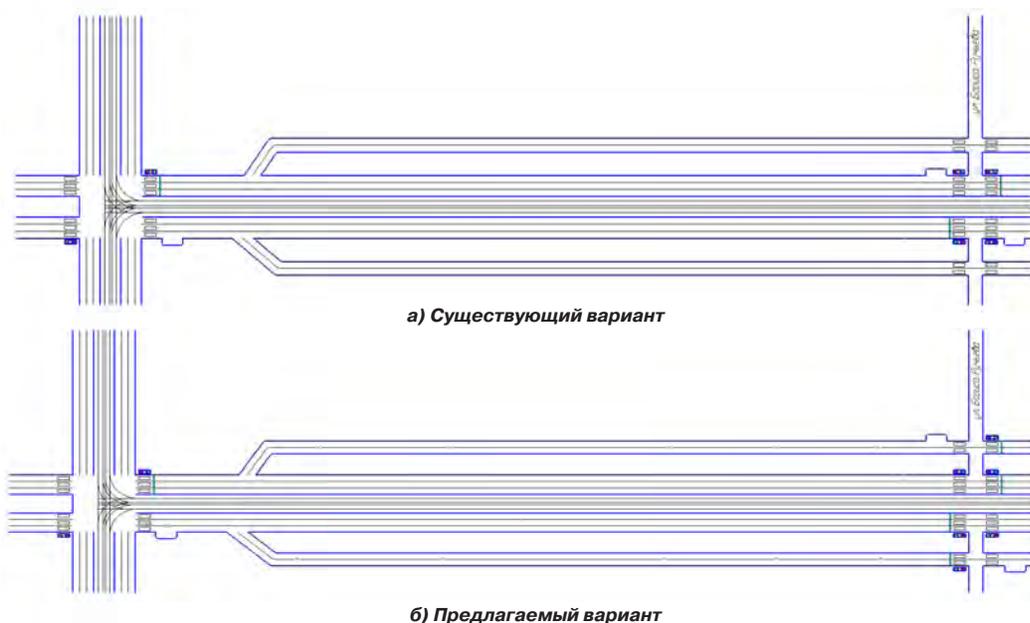


Рис. 7. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Бориса Ручьева до улицы Труда.

Таблица 3

Результаты технико-экономического анализа вариантов организации работы автобусного маршрута № 33

Показатель, ед. изм.	Существующий вариант	Предлагаемый вариант
1. Численность автобусов на маршруте, ед.	8	6
2. Годовой объём перевозок, чел.	469111	469111
3. Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.	11680,9	9917,72
4. Затраты на формирование транспортной инфраструктуры, тыс. руб.	—	2553,1
5. Приведённые затраты, тыс. руб./год	11680,9	10428,34
6. Себестоимость перевозок, руб./чел.	24,9	22,23
7. Годовой экономический эффект, тыс. руб.	—	1252,56

риваемого участка сокращается с 15 минут до 9 минут. Такая мера позволит исключить увеличение потребности в автобусах на маршруте на 2 единицы для соблюдения заданного интервала движения и снижения совокупных затрат на перевозку одного пассажира на 2,7 руб. Расчётный годовой экономический эффект от реализации предлагаемых рекомендаций составляет 1,25 млн руб.

Выводы

1. Одним из направлений решения проблемы повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом является ускорение потока маршрутных транспортных средств за счёт пере-

направления его на дополнительные дороги, дублирующие основные магистрали, в периоды их загрузки движением, что позволяет увеличить скорость сообщения. Несмотря на всестороннюю исследованность рассматриваемой проблемы, реализация предлагаемых методов по ускорению маршрутных транспортных средств требует их доводки и настройки под индивидуальные особенности планировочных решений дорожной сети конкретного города, зачастую не имеющего резервов территорий под дорожное строительство.

2. Эффект снижения затрат на перевозку пассажиров при направлении автобусов на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети достигается сокращени-

ем числа автобусов на маршруте для выполнения перевозок с заданным интервалом движения в результате увеличения скорости сообщения. Расчёт экономического эффекта основан на предложенных в работе зависимостях: скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, а также технической скорости движения автобуса по дополнительной дороге — от интенсивности потока маршрутных транспортных средств.

3. Установленные в работе зависимости были получены по результатам моделирования четырёх режимов проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков:

- первый режим — движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке;
- второй режим — движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором;
- третий режим — движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке;
- четвёртый режим — движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке.

В расчётах также учитывались разные уровни загрузки дорожной сети движением, когда транспортное средство преодолевает затор перед регулируемым перекрёстком соответственно за один, два и три цикла светофора.

4. Расчёт экономического эффекта от направления маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети был произведён на примере автобусного маршрута № 33 Магнитогорска. Проведённые расчёты позволили установить, что направление в периоды пиковой загрузки участков в южной части проспекта Карла Маркса на дороги-дублёры в период с 15:00 по 18:00 обеспечивает увеличение скорости сообщения на рассматриваемом автобусном маршруте до 18 км/ч. Время проезда рассматриваемого участка сокращается с 15 минут до 9 минут. Такая мера позволит исключить увеличение потребности в автобусах на маршруте на 2 единицы для соблюдения заданного

интервала движения и снижения совокупных затрат на перевозку одного пассажира на 2,6 руб. Расчётный годовой экономический эффект от реализации предлагаемых рекомендаций составляет 1,25 млн руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефименко Д. Б., Финько Е. В. Использование навигационных диспетчерских систем для развития специализированных сервисов информирования о работе наземного городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. — 2015. — № 5. — С. 6–10.

2. Jia, Lu; Li, Cao. Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Shanghai, China, 2003, Vol. 1, pp. 50–53. [Электронный ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1251919>. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251919>.

3. Schneider, W. Mobile phones as a basis for traffic state information. Proceedings 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 782–784. [Электронный ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1520148>. DOI: 10.1109/ITSC.2005.1520148.

4. Batley, R., Bates, J., Bliemer, M., Böjesson, M. [et al]. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. Transportation, 2019, Vol. 46, pp. 583–621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>.

5. Арсланов М. А., Минатуллаев Ш. М., Филиппов А. А. Математическая модель организации перевозок пассажиров в остановочно-пересадочных пунктах при многократном изменении пассажиропотока // Вестник СибАДИ. — 2018. — № 15(3). — С. 362–371.

6. Исаков К., Стасенко Л. Н., Алтыбаев А. Ш., Дайырбекова Д. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 16(2). — С. 146–155. [Электронный ресурс]: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/850>. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>.

7. Мочалин С. М., Колебер Ю. А. Перспективы развития методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 6(3). — С. 241–255.

8. Курганов В. М., Грязнов М. В. Управление надёжностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: Монография. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2013. — 318 с.

9. Шаров М. И., Михайлов А. Ю. Оценка надёжности функционирования городского общественного транспорта в городах Российской Федерации // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 16. — С. 302–311. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-302-311>.

10. Лапский, С. Л., Аземша С. А. Эксплуатационные качества транспортных средств: практикум. — Гомель: БелГУТ, 2011. — 312 с.

11. Малюгин П. Н. Теория и моделирование транспортных потоков и систем: конспект лекций по дисциплине «Теория и моделирование транспортных потоков и систем». — Омск: СибАДИ, 2012. — 45 с.

12. Грязнов М. В., Давыдов К. А., Колобанов С. В., Мукаев В. Н., Связинский А. А., Тимофеев Е. А. Результаты мониторинга организации дорожного движения по проспекту Карла Маркса в таблицах и графиках. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2017. — 350 с.





Increase in Speed of Regular Urban Bus Traffic



Mikhail V. GRYAZNOV



Kirill A. DAVYDOV

*Gryaznov, Mikhail V., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Davydov, Kirill A., LLC Avtodorkomplekt, Magnitogorsk, Russia*.*

ABSTRACT

The article outlines the currently relevant directions for increasing the efficiency of passenger transportation by urban transport, achievable through using modern digital technologies for monitoring and controlling congestion of the road network, traffic management, and assessing reliability of the transportation process.

The objective of the study was to develop theoretical base and practical recommendations for increasing speed of traffic on regular urban bus routes during periods of high load of the urban road network using alternate roads.

Theoretical studies were based on the analysis of scientific and regulatory sources, and on the system analysis of transportation

processes. Experimental studies were carried out in laboratory and road conditions using mathematical modelling, methods of mathematical statistics, technical, economic and system analysis of transportation processes, analysis of passenger flows, field observations.

The dependences of the flow rate of vehicles on traffic intensity, technical speed of buses on alternate roads on the flow rate of fixed-route vehicles are obtained. The economic effect resulting from implementation of recommendations was calculated for the conditions of the city of Magnitogorsk, since redirecting the buses to alternate roads during peak load periods for road network allows to increase their route speed by 7 km/h and hence to reduce the need in bus fleet by 2 units, obtaining the target economic effect.

Keywords: transport, urban public transport, urban road network, regular bus route, traffic speed.

*Information about the authors:

Gryaznov, Mikhail V. – D.Sc. (Eng), Associate Professor of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, gm-autolab@mail.ru.

Davydov, Kirill A. – Manager at the branch of LLC Avtodorkomplekt, Magnitogorsk, Russia, davyd_mazda@mail.ru.

Article received 24.10.2019, revised 10.12.2019, accepted 17.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 202.

Background. Improving the efficiency of passenger transportation by urban transport is an important socio-economic problem. One of the directions for solving this problem, which is currently being actively discussed by the experts, is to accelerate the flow of fixed-route vehicles, which can increase traffic speed. Modern domestic and foreign scientific sources offer methodological recommendations aimed at accelerating the flow of urban transport vehicles through the use of navigation dispatch systems, digital technologies for assessing traffic congestion, individual means of mobile communication to assess the state of traffic and passenger time losses along the route [1–4].

A large number of works are devoted to organization of traffic in order to increase the capacity of the urban road network, including a regular route network of urban transport. For example, on the basis of analytical methods, the authors of [5–7] offer recommendations on organization of work of stopovers at regular urban transport routes, managing the duration of the traffic flow at controlled intersections, and optimizing route networks of urban passenger transport.

Attention should also be paid to works [8; 9], which propose a methodological basis for assessing reliability of passenger transportation by urban transport. The recommendations proposed by the authors make it possible to quantitatively substantiate such a parameter of quality of public transport services as reliability, which in most cases is assessed by qualitative characteristics.

Despite the comprehensive study of the problem under consideration, implementation of the proposed methods for accelerating fixed-route vehicles requires refinement and tuning to individual characteristics of the planning decisions of the road network of a particular city, often missing undeveloped areas for road construction.

Therefore, the *objective* of this study is to develop of a theoretical base and practical recommendations to increase the traffic speed on regular bus routes of urban transport during periods of high load of the urban road network through the use of alternate roads. The development of the theoretical base, which is the scientific novelty of the study, consists in establishing the dependencies of the vehicle flow rate on traffic intensity, as well as of the technical speed of the bus along additional

roads on the flow rate of fixed-route vehicles. The practical significance of the work lies in development of practical recommendations for increasing the speed of traffic at the example of regular route network of the city of Magnitogorsk.

The *methods* applied are widely used by other researchers. The analysis of scientific and regulatory sources made it possible to identify the maturity of the study of the problem of increasing the efficiency of passenger transportation by urban transport, as well as to identify the existing methods for calculating the speed of the traffic flow, to formulate the objective of this study. A systematic analysis of transport processes made it possible to establish the effect of traffic congestion on speed of the traffic flow.

Mathematical modelling ensured performance of multiple calculations of speed of the traffic flow at various driving modes of vehicles at regulated intersections, considering the different levels of traffic load on the road network. Based on the simulation results and using statistical analysis, the desired dependencies were constructed, reliability of approximation was estimated, and the regression equations were established.

The initial data for the calculations performed, as well as for establishing critical sections of the road network of the city of Magnitogorsk in terms of load, were obtained from field observations of traffic flows on urban roads, as well as by direct calculation of passenger traffic correspondence on regular urban transport routes. The feasibility study made it possible to justify the practical implementation of methodological tools to increase the speed of traffic on regular bus routes during periods of high load of the city's road network using alternate roads.

Results.

The effect of reducing the cost of transporting passengers when buses are sent to alternate roads during the load of the road network is achieved by reducing the number of buses on the route to perform transportation at a specified traffic interval as a result of an increase in the traffic speed. Traffic speed is determined by the flow rate of vehicles, the value of which is influenced by the factors shown in Pic. 1.

A wide variety of methods for calculating the flow rate of vehicles can be found in scientific



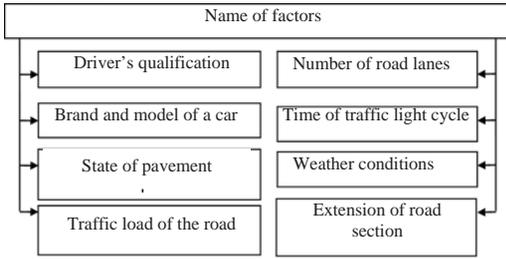


Fig. 1. Factors influencing transport flow speed.

and educational sources. For example, in [10, p. 6] it is proposed to calculate the average speed by the formula:

$$V_{av.} = \frac{l_{sec.}}{t_c^{av.}}, \tag{1}$$

where $l_{sec.}$ is length of the road segment, km; $t_c^{av.}$ is average travel time needed for cars to pass through the segment, h.

The travel time of a car passing through the segment includes delays in movement due to interruptions in flow due to regulatory signals or congestion:

$$t_c = t_a + t_{mov} + t_s + t_w, \tag{2}$$

where t_a is acceleration time of the vehicle to the maximum permitted speed, sec;

t_{mov} is vehicle travel time within the segment with the maximum permitted speed, sec;

t_s is stop time, sec;

t_w is waiting time because of the traffic congestion at the intersection, sec.

The acceleration time of the vehicle to the maximum permitted speed is a reference value, the remaining components of formula (2) are calculated. The vehicle travel time in the area with the maximum permitted speed is determined by the formula:

$$t_{mov} = \frac{l_{sec} - l_{con} - l_s}{V_{max}}, \tag{3}$$

where $l_{con.}$ is length of congestion in front of the intersection, m;

l_s is car stopping distance, m;

V_{max} is maximum permitted vehicle speed in the section, m/s.

The stopping distance of the car is calculated by the formula:

$$l_s = (t_r + t_i + 0,5 \cdot t_i) \cdot V_0 + \frac{V_0^2 \cdot K_e}{2 \cdot g \cdot \phi_x}, \tag{4}$$

where t_r is driver reaction time, s;

t_i is triggering time of the brake system, s; t_i is increase time of braking forces, s; V_0 is initial braking speed, km/h; K_e is braking efficiency coefficient; g is acceleration of gravity, m/s²; ϕ_x is coefficient of longitudinal adhesion of wheels of the car with the road.

Stopping time is time from the moment when the driver noticed an obstacle to a complete stop of the car, and it is determined by the following formula:

$$t_s = t_r + t_i + 0,5 \cdot t_{i0} + \frac{V_0 \cdot K_e}{g \cdot \phi_x}. \tag{5}$$

The waiting time for traffic congestion during the time of action of the traffic light at the intersection is determined by the formula:

$$t_w = I_1 + (n_{acc} - 1) \cdot I_p + n_{max} \cdot I_{max}, \tag{6}$$

where I_1 is duration of the stop-line crossing by the first vehicle after the start of movement, sec;

n_{acc} is number of vehicles that cross the stop line during acceleration to the maximum permissible speed from the moment the enable signal of the traffic light is turned on;

I_p is interval between the front bumpers of vehicles when passing the stop line during acceleration of the flow to the maximum permissible speed;

n_{max} is number of vehicles that cross the stop line at the maximum permissible speed from the moment the enable signal of the traffic light is turned;

I_{max} is interval between the front bumpers of vehicles when passing the stop line at the maximum permissible speed, sec.

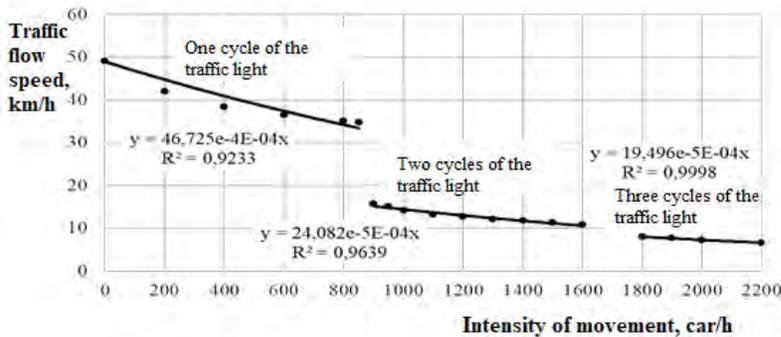
Only the time period when the green traffic light is on is available for movement. The presence of a traffic lights' permitting signal at the moment the vehicle approaches the intersection will determine the flow rate of the vehicles. Therefore, in the calculations, four modes of passing by vehicles of regulated intersections were considered. The flow rate of vehicles is proposed to be considered as the average value of the vehicle speed of the intersection under four modes.

The first mode: movement from green light to green light whilst there is or there is no traffic jam at the next intersection. The vehicle enters the section with a working green traffic light (initial speed of 60 km/h) and arrives at the next intersection with traffic jam when the green traffic light comes on, or passes that intersection if there is no traffic jam at this time.

Table 1

Options of calculation of speed of flow of vehicles at various modes through regulated intersections

<i>First mode:</i> movement from the green light to the green light (there is or there is no traffic jam at the next intersection)	
Without traffic jam (intensity of movement at the segment is less than the transit capacity of the segment)	With traffic jam (intensity of movement at the segment is higher than the transit capacity of the segment)
$V_1 = \frac{l_{sec}}{t_{mov}}$,	$V_1 = \frac{l_{sec}}{t_{mov} + t_s + t_w}$.
<i>Second mode:</i> movement from the red light to the red light (there is a traffic jam)	
$V_2 = \frac{l_{sec}}{t_r + t_{mov} + t_s + t_w}$.	
<i>Third mode:</i> movement from the red light to the green light (there is or there is no traffic jam at the next intersection)	
Without traffic jam (intensity of movement at the segment is less than the transit capacity of the segment)	With traffic jam (intensity of movement at the segment is higher than the transit capacity of the segment)
$V_3 = \frac{l_{sec}}{t_r + t_{mov}}$,	$V_3 = \frac{l_{sec}}{t_r + t_{mov} + t_s + t_w}$.
<i>Fourth mode:</i> movement from the green light to the red light (there is a traffic jam at the next intersection)	
$V_4 = \frac{l_{sec}}{t_{mov} + t_s + t_w}$.	



Pic. 2. Dependence of traffic flow speed on intensity of movement.

The second mode: movement from a red light to a red light with a traffic jam. The vehicle enters the section after waiting for the green traffic light to turn on (initial speed 0 km/h) and arrives at the next intersection at which a traffic jam was formed due to waiting for the traffic permitting signal.

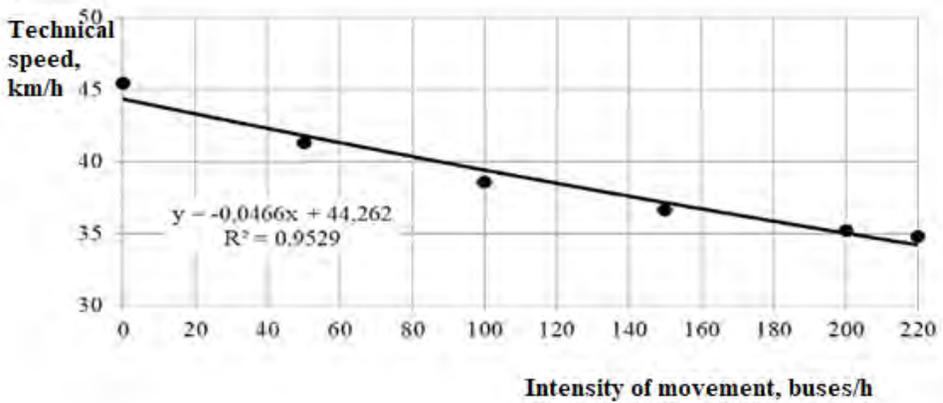
The third mode: movement from a red light to a green light whilst there is or there is no traffic jam at the next intersection. The vehicle enters the section after waiting for the green traffic light to turn on (initial speed 0 km/h) and arrives at the next intersection with traffic jam when the green traffic light comes on, or passes that intersection if there is no traffic jam at this time.

The fourth mode: movement from a green light to a red light when there is traffic jam at the next intersection. The vehicle enters the section with a working green traffic light (initial speed of 60 km/h) and reaches the next intersection where a traffic jam has formed due to waiting for the traffic-permitting signal.

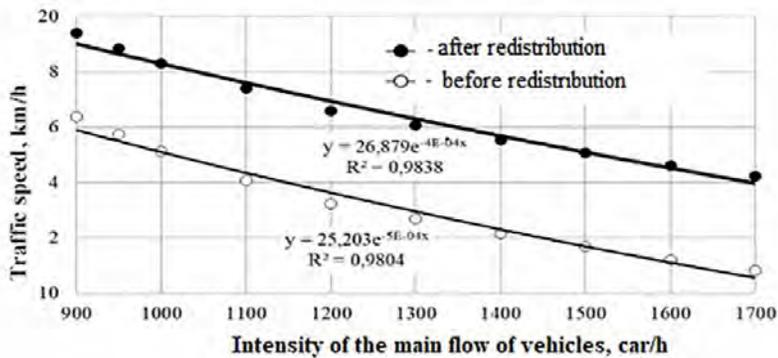
Options for calculating the speed of the traffic flow for various modes of travel through signal-controlled intersections are shown in Table 1.

Through calculations using the methodology shown in Table 1, the dependence of vehicle flow rate on traffic intensity was obtained for three levels of load of a road network segment





Pic. 3. Dependence of the technical speed of buses on alternate road on the flow rate of fixed-route vehicles.



Pic. 4. Change of average speed of buses when they are directed to alternate roads of the road network of Magnitogorsk.

when a vehicle overcomes a traffic jam in front of a signal-controlled intersection during one, two, and three traffic lights cycles, respectively (Pic. 2).

Besides, based on mathematical modelling, the dependence of the technical speed of buses along the alternate roads of the city road network during its high load on the flow rate of fixed-route vehicles was established (Pic. 3).

The dependence was obtained for signal-controlled traffic conditions of return of fixed-route vehicles from an alternate road to the main segment of the city road network after a detour of a traffic jam. The found dependencies are necessary for calculating the traffic speed, the required number of buses on the route and the resulting economic effect from implementation of recommendations on the direction of fixed-route transport to alternate roads during the load of the road network.

Traffic speed also depends on the planning decisions of the urban road network. These development decisions are individual for each municipality. In this work, an analysis of the

road network of the city of Magnitogorsk was carried out in terms of determining the places of possible acceleration of the flow of fixed-route vehicles due to its redistribution to alternate roads.

In Magnitogorsk, alternate roads make part of the road network in the southern part of Karl Marx and Lenin Avenues, as well as in the central part of Truda Street and 50-letiya Magnitki Street. Routes of regular bus routes run through these sections and in these places it is possible to accelerate the flow of fixed-route vehicles. According to the results of the analysis and calculations, it was found that redistribution of fixed-route buses to alternate roads increases the traffic speed on regular bus routes by an average of 4 km/h (Pic. 4).

Feasibility study

The rationale for practical implementation of methodological tools to increase the traffic speed on regular bus routes by directing fixed-route transportation to alternate roads during the load periods of the road network was made at the

Table 2

Calculation results of intensity of traffic flow on Karl Marx Avenue, car/h [11]

Sections of the road network	Periods of the day								
	9:00–12:00			12:00–15:00			15:00–18:00		
	Forward direction	Backward direction	Sum	Forward direction	Backward direction	Sum	Forward direction	Backward direction	Sum
1. Vokzalnaya–Moskovskaya	438	330	768	300	240	540	384	342	726
2. Moskovskaya–Pervomaiskaya	600	354	954	468	360	828	534	372	906
3. Pervomaiskaya–Uralskaya	624	468	1092	570	474	1044	690	468	1158
4. Uralskaya–Komsomolskaya	588	594	1182	450	642	1092	642	582	1224
5. Komsomolskaya–Leningradskaya	630	720	1350	702	732	1434	786	636	1422
6. Leningradskaya–Tatishcheva	513	684	1197	960	906	1866	768	720	1488
7. Tatishcheva–Gagarina	510	726	1236	774	696	1470	786	714	1500
8. Gagarina–im. Gazety «Pravda»	536	678	1214	1014	942	1956	906	882	1788
9. im. Gazety «Pravda»–Druzhby	576	894	1470	954	882	1836	960	924	1884
10. Druzhby–magazin «Vesna»	551	720	1271	816	918	1734	864	900	1764
11. Magazin Vesna–Gryaznova	574	774	1348	966	828	1794	960	870	1830
12. Gryaznova–Sovetskoi Armii	554	1014	1568	1074	948	2022	1038	978	2016
13. Sovetskoi Armii–Stalevarov	1256	1044	2300	1348	710	2058	1752	645	2397,855
14. Stalevarov–Zavenyagina	1200	1065	2265	1300	736	2036	1690	669	2359,091
15. Zavenyagina–ost. Engelsa	968	650	1618	1276	600	1876	1659	545	2204,255
16. st. Engelsa–Borisa Ruchieva	960	680	1640	1210	612	1822	1573	556	2129,364
17. Borisa Ruchieva–Truda	856	920	1776	972	952	1924	1264	865	2129,055
18. Truda–50-letiya Magnitki	580	464	1044	720	692	1412	936	629	1565,091
19. 50-letiya Magnitki–Zeleniy Log	512	532	1044	724	612	1336	941	556	1497,564
Total:	13026	13311	26337	16598	13482	30080	19133	12855	31988

example of bus route No. 33 of Magnitogorsk. The bus route under consideration connects the southern areas of the city with its southeastern outskirts in the left-bank part. The route is of pendulum type. Its length in the forward and reverse directions is 36,2 km. GAZ-322132 and Citroen Jumper buses are operated on the route.

Analysis of the load of urban road network sections during the day along which the alternate route No. 33 runs allows us to determine the critical section on Karl Marx Avenue (Table 2).

Critical segment is a section of the Karl Marx avenue from intersection with Stalevarov Street to intersection with Truda Street where, during the peak period of the day from 15:00 to 18:00, the average flow speed of vehicles decreases to 11 km/h, which leads to formation of traffic jams at the intersections and an increase in the transit time for passengers of fixed-route transport. During these periods of the day, it is advisable to direct the buses of the considered route from the main road to the alternate roads located along Karl Marx Avenue within the sections:

- from Stalevarov Street to Zavenyagina Street;
- from Zavenyagina Street to Engelsa st.;
- from Engelsa ost. to Borisa Ruchieva Street;

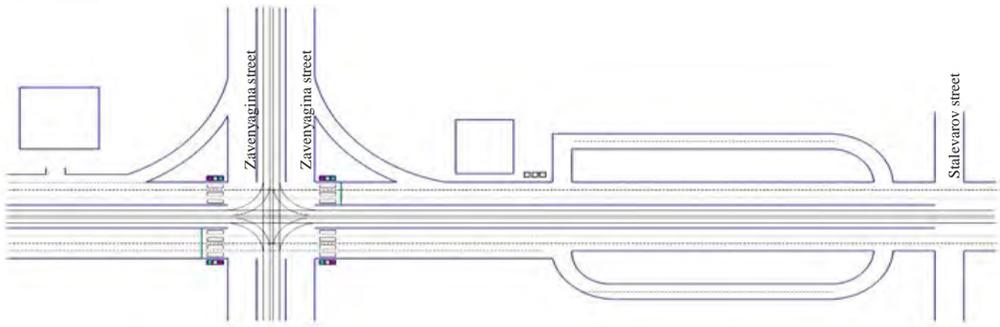
- from Borisa Ruchieva Street to Truda Street.

Fixed-route vehicles traffic on alternate roads requires to organize traffic lights to regulate the return of buses from alternate roads to the main road network. This involves costs of acquisition and installation of traffic lights, the installation locations of which are shown in the diagrams (Pics. 5–7). In addition, it will be necessary to transfer the existing traffic light unit from Zory Urala stop to the intersection of the alternate road with the main avenue at the section Stalevarov Street–Zavenyagina Street. This is necessary in order to pass the bus from the alternate road to the main road without delaying the flow of vehicles.

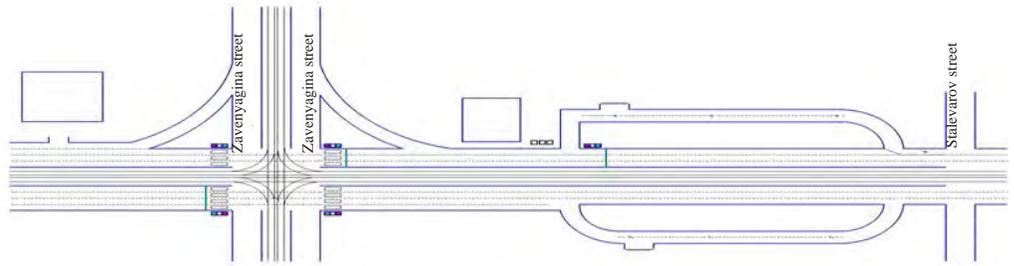
The results of feasibility study of the existing and proposed options for organizing the operation of bus route No. 33 are shown in Table 3.

The calculations made it possible to establish that the directing of buses during the periods of peak load of sections in the southern part of Karl Marx Avenue to alternate roads from 15:00 to 18:00 increases the traffic speed on the bus route under consideration from 11 km/h to 18 km/h. The time to travel through the section under consideration is reduced from 15 minutes to 9 minutes. Such a measure will exclude an increase in demand for buses on the



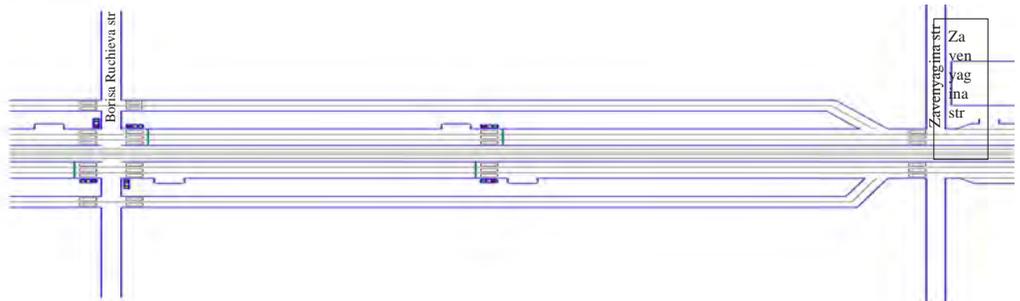


a) Existing option

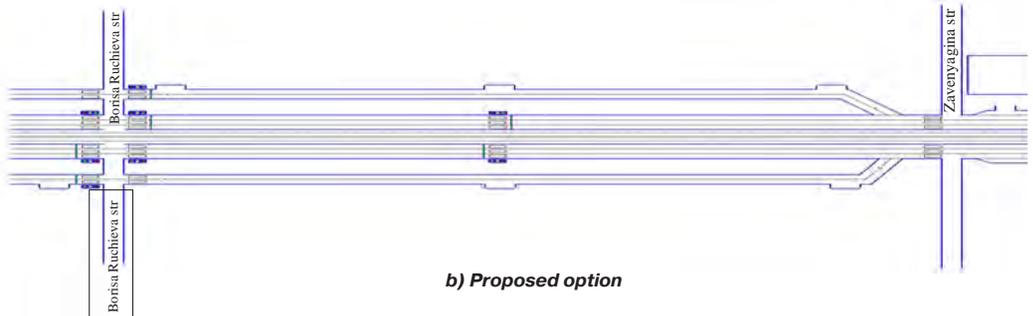


b) Proposed option

Pic. 5. Schemes of organization of road traffic in Magnitogorsk along Karl Marx Avenue from Stalevarov street to Zavenyagina street.



a) Existing option



b) Proposed option

Pic. 6. Schemes of organization of road traffic in Magnitogorsk along Karl Marx Avenue from Zavenyagina street to Boris Ruchieva street.

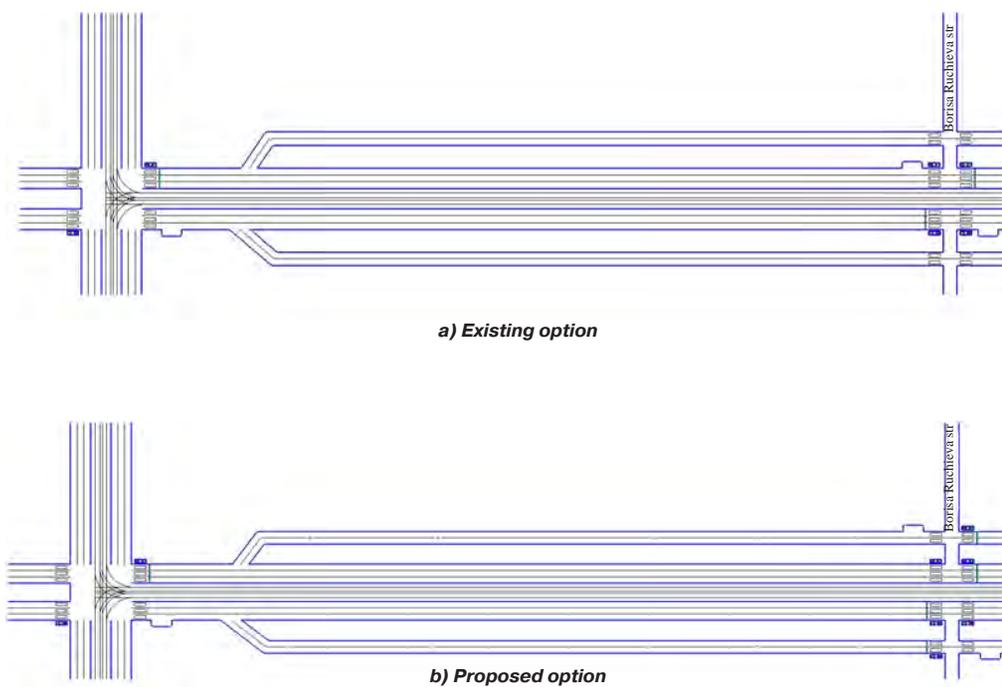


Fig. 7. Schemes of organization of road traffic in Magnitogorsk along Karl Marx Avenue from Borisa Ruchieva street to Truda street.

Table 3

Results of technical-economic analysis of options of organization of operation of the bus route No. 33

Indicator, units	Existing option	Proposed option
1. Number of buses on the route, units	8	6
2. Annual volume of transportation, persons	469111	469111
3. Annual operating expenses, thous. rub.	11680,9	9917,72
4. Expenses for formation of transport infrastructure, thous. rub.	—	2553,1
5. Reduced expenses, thous. rub./year	11680,9	10428,34
6. Prime cost of transportation, rub./persons	24,9	22,23
7. Annual economic effect, thous. rub.	—	1252,56

route by 2 units to sufficiently comply with the specified traffic interval and will permit to reduce the total cost of transporting one passenger by 2,7 rubles. The estimated annual economic effect from implementation of the proposed recommendations is 1,25 million rubles.

Conclusions

1. One of the ways to increase efficiency of urban passenger transportation is acceleration of flow of fixed-route vehicles through its redistribution to alternate roads, doubling the main roads in the periods of their load, which allows to increase the traffic speed. Despite detailed examination of the problem under

consideration, implementation of the proposed methods to accelerate fixed-route vehicles require their tuning and refinement for individual features of planning solutions of the road network of a specific city, which often does not have undeveloped areas for road construction.

2. Effect of reduction of expenses for passenger transportation when directing buses to alternate roads in the periods of load of the road network is achieved by reduction of number of buses on the route followed by respect of preset traffic intervals as a result of increase in traffic speed. The calculation of the economic effect is based on dependences proposed in the work: which are dependence



of speed of traffic flow on intensity of movement, as well as dependence of technical speed of bus movement via the alternate road on intensity of traffic flow of fixed-route vehicles.

3. The dependences were obtained based on the results of modelling of four modes of passing through light-controlled intersections:

- first mode: movement from the green light to the green light under the presence or absence of traffic jam at the next intersection;
- second mode: movement from the red light to the red light with a traffic jam at the next intersection;
- third mode: movement from the red light to the green light under the presence or absence of traffic jam at the next intersection;
- fourth mode: movement from the green light to the red light when there is traffic jam at the next intersection.

The calculations considered different levels of traffic load of the road network, when a vehicle overcomes a congestion before the regulated intersection during one, two or three cycles of the traffic light, respectively.

4. The calculation of the economic effect from direction of fixed-route buses to alternate roads during the periods of high load of the road network was made using the example of bus route No. 33 of the city of Magnitogorsk. The calculations made it possible to establish that the redirecting during the periods of peak load of road segments in the southern part of Karl Marx Avenue to alternate roads from 15:00 to 18:00 increases the traffic speed on the bus route under consideration from 11 km/h to 18 km/h. The transit time is reduced from 15 minutes to 9 minutes. Such a measure will exclude an increase in demand for buses on the route by 2 units while ensuring the compliance with the specified traffic intervals between the buses and will allow to reduce the total cost of transporting a passenger by 2,7 rubles. The estimated annual economic effect from implementation of the proposed recommendations is equal to 1,25 million rubles.

REFERENCES

1. Efimenko, D. B., Finko, E. V. Use of navigation dispatch systems for development of specialized services for informing about the work of land urban passenger transport [Ispolzovanie navigatsionnykh dispatcherских sistem dlya razvitiya spetsializirovannykh servisov informirovaniya o rabote nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2015, Iss. 5, pp. 6–10.

2. Lu, J.; Cao, L. Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Shanghai, China, Vol. 1, 2003, pp. 50–53. [Electronic resource]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1251919>. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251919>.

3. Schneider, W. Mobile phones as a basis for traffic state information. *Proceedings. IEEE Intelligent Transportation Systems*, 2005, pp. 782–784. [Electronic resource]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1520148>. DOI: 10.1109/ITSC.2005.1520148.

4. Batley, R., Bates, J., Bliemer, M., Börjesson, M. [et al]. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. *Transportation*, 2019, Vol. 46, pp. 583–621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>.

5. Arslanov, M. A., Minatullaev, Sh. M., Filippov, A. A. Mathematical model of organization of passenger transportation in stop-interchange hubs with multiple change in passenger flow [Matematicheskaya model organizatsii perevozok passazhirov v ostanovochno-peresadochnykh punktakh pri mnogokratnom izmenenii passazhiropotoka]. *Vestnik SibADI*, 2018, Vol. 15, Iss. 3, pp. 362–371.

6. Isakov, K., Stasenko, L. N., Altybaev, A. Sh., Daiyrbekova, D. Influence of parameters of traffic light regulation on the throughput of regulated intersections [Vliyaniye oparametrov tsikla svetofornogo regulirovaniya na propusknuyu sposobnost' reguliruemyykh peresechenii]. *Vestnik SibADI*, 2019, Iss. 16 (2), pp. 146–155. [Electronic resource]: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/850>. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>.

7. Mochalin, S. M., Koleber, Yu. A. Prospects of development of methods of optimization of route networks of urban passenger transport [Perspektivy razvitiya metodov optimizatsii marshrutnykh setei gorodskogo passazhirskogo transporta]. *Vestnik SibADI*, 2019, Vol. 6, Iss. 3, pp. 241–255.

8. Kurganov, V. M., Gryaznov, M. V. Management of reliability of transport systems and processes of road transportation: monograph [Upravlenie nadezhnostyu transportnykh sistem i protsessov avtomobilnykh perevozok: monografiya]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Publishing House, 2013, 318 p.

9. Sharov, M. I., Mikhailov, A. Yu. Assessment of reliability of functioning of urban public transport in the cities of the Russian Federation [Otsenka nadezhnosti funktsionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta v gorodakh Rossiiskoi Federatsii]. *Vestnik SibADI*, 2019, Iss. 16, pp. 302–311. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-302-311>.

10. Lapsky, S. L., Azemsha, S. A. Operating features of transport means: practicum [Ekspluatatsionnye kachestva transportnykh sredstv: praktikum]. Gomel, BelGUT, 2011, 312 p.

11. Malyugin, P. N. Theory and modeling of traffic flows and systems: lectures on the discipline: «Theory and modeling of traffic flows and systems» [Teoriya i modelirovaniye transportnykh potokov i sistem: konspekt lektsii po distsipline: «Teoriya i modelirovaniye transportnykh potokov i sistem»]. Omsk, SibADI, 2012, 45 p.

12. Gryaznov, M. V., Davydov, K. A., Kolobanov, S. V., Mukaev, V. N., Svyazinsky, A. A., Timofeev, E. A. Results of monitoring of organization of road traffic along Karl Marx Avenue in tables and graphs [Rezultaty monitoring organizatsii dorozhnogo dvizheniya po prospektu Karla Marksa v tablitsakh i grafikakh]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Publishing House, 2017, 350 p. ●



EXPRESS INFORMATION



Photo: mos.ru, Evgeny Samarini.

THE LONGEST SEASON OF BIKE-SHARING IN MOSCOW

Bike-share users made 5 million trips, that is almost by 17 % more than in 2018.

During the seventh year of its operation, Moscow bike sharing saw the longest season, almost seven months. Opened on 20 April, bike-sharing stations closed on 17 November, this late for the first time. The season was extended due to the warm weather and the large number of requests from Muscovites.

Moscow bike-sharing system is one of the fastest growing in the world. Over the five years, the project's scale has doubled. In 2015, there were 300 stations with 2,600 bicycles. This year, 528 stations with some 5,500 bicycles offered in different Moscow districts were available to citizens.

In 2019, the map of the most popular bike-sharing districts highlights Khamovniki, Tverskoi, Presnensky, Ostankinsky, Maryino, Ochakovo-Matveevskoye, Nagatinsky Zaton and Lefortovo.

Two bike-share users have become heroes of the last season. One of them travelled more than 10,000 km around Moscow — a route covering the distance from the equator to the South Pole. Another user rented a bike 3,300 times. Last year, a Muscovite rented a bike 2,500 times.

Moscow bike-sharing is leading in terms of demand among residents: on average, a bike is used for 6,4 trips per day, which is twice more than in London, one of the leading cities in bike-sharing, with 2,6 daily trips per bike.

The average ride time is 27 min.

E-bikes are growing popular, too, with 125,000 rides made this year. To date, there are 429 e-bikes to share in Moscow. Next year, this number will almost double, with 729 e-bikes available.

Next year, some 100 stations are expected to open, with 1,000 bicycles more. So, bike sharing will cover the entire city. Experts will assess the proposals of the best sites to open new stations, and analyse where the bike sharing was the most in-demand as of the end of 2019.

A total of 1,600,000 people have registered in the system since the velobike's launch. For Muscovites, a bike is now a popular and common way to get from one spot to another.

Thanks to the bike-sharing development, Moscow cyclists have become active traffic participants. Bike festivals are regularly held in Moscow, with three events already scheduled for 2020.

Electric kick scooter sharing, opened in Moscow in 2018, is growing popular, too. This year more than half a million trips have been made. This is almost four times more than the previous year, when kick scooters were rented 140,000 times. During its operation, the service has grown popular among Muscovites, with trips in the city centre becoming a common thing. In total, about 350,000 users are registered in the operators' systems.

Compiled from the news on the official Moscow Mayor website: https://www.mos.ru/en/news/item/65374073/?utm_source=search&utm_term=serp ●



Гравитационное моделирование каршеринга на базе PTV Visum



Андронов Сергей Александрович – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург, Россия.*

Сергей АНДРОНОВ

Каршеринг играет важную роль в переходе к беспилотному транспорту. В настоящей статье рассматриваются положительные и отрицательные моменты существующей системы каршеринга в России, а также прогнозные тенденции на примере Москвы и Санкт-Петербурга. Поскольку развитие каршеринга в Северной столице ещё не получило должной динамики, а прогнозы операторов по ёмкости рынка расходятся, интерес представляют определение условий, способствующих успешному развитию сервиса, и оценки потребности города в количестве машин.

Целью исследования, отражённого в статье, являлось исследование тенденций развития каршерингового сервиса, оценка потребного количества каршеринговых автомобилей и интенсивности их аренды в отдельном районе города. Для решения задачи использовался метод гравитационного моделирования на базе 18-й версии программной системы PTV Visum. Несмотря на то, что не использовались специальные средства разрабатываемой линейки программ PTV MaaS (Controller, Operator, Simulator, Modeller), продукт

позволяет строить транспортные модели макроуровня и выполнять транспортное моделирование с учётом новых форм мобильности (каршеринг, байкшеринг и пр.) при планировании и управлении транспортными системами городов.

Решение задачи предполагало разработку двух моделей транспортного спроса для выбранного района города: без и с учётом каршеринга. В процессе моделирования исследовалась структура временных транспортных затрат при изменении числа машин автопарка и интенсивности его аренды для ряда тарифов оператора. Критическое число каршеринговых автомобилей для района города определялось из условия наибольшей конкуренции этих машин с индивидуальным транспортом. Показано, что в текущих условиях эффект снижения современных транспортных затрат в районе составляет порядка 14 % при однолетнем горизонте моделирования. Результаты моделирования согласуются с реальными данными поездок и могут быть экстраполированы на другие районы города.

Ключевые слова: транспорт, городской транспорт, каршеринг, транспортное моделирование, PTV Visum.

*Информация об авторе:

Андронов Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и логистики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург, Россия, andronv_00@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.08.2019, принята к публикации 27.11.2019.

For the English text of the article please see p. 233.

ВВЕДЕНИЕ

Организационные меры разгрузки трафика, наряду с прочими, являются существенным подспорьем для создаваемых, весьма затратных интеллектуальных транспортных систем. В числе таких мер, способных внести весомый вклад в решение транспортных проблем города, — аренда автомобиля (или каршеринг) для краткосрочного передвижения на небольшие расстояния по городу и в близких его окрестностях.

В России подобные сервисы, такие, как райдшеринг (разделение оплаты между попутчиками), карпулинг (совместное использование автомобиля с другими людьми), аренда велосипедов, самокатов, электромобилей и другие, в настоящее время только набирают обороты. Городские жители начинают понимать, что лучше делить, а не владеть. Важным фактором продвижения названных сервисов является внедрение современных технологий, позволяющих воспользоваться данными сервисами с помощью смартфона. Услуги MaaS (mobility as a service) или «мобильность как услуга» подразумевают, что пользователь получает на свой смартфон готовое решение, как добраться из одной точки города в другую с учётом пробок.

Тема пробок и загрязнения является весьма болезненной. Кроме того, потери времени в пробках имеют вполне конкретное финансовое выражение не только для жителей, но и для бюджета городов. Оценка расходов от пробок в день по формуле [1] впечатляет:

$$M = T \cdot N \cdot (K \cdot S + B) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot (2 \cdot 324 + 90) \approx 369 \text{ млн руб.},$$

где M — общий расход от пробок в день;

T — время, проведённое в пробке одним человеком, ч.;

N — количество машин, стоящих в пробках, $0,5 \cdot 10^6$ авт. (в Москве по оценкам Яндекса более 10^6);

K — среднее число пассажиров;

S — средняя зарплата в час в Санкт-Петербурге при 40 часовой рабочей неделе в 2019 г. руб.;

B — средний расход топлива за час в транспортном заторе, 2 л (90 руб.).

По статистике одна машина краткосрочной аренды способна в день обеспечить нужды десятка пользователей. Таким

образом, участником дорожного движения становится всего один автомобиль, а не десять. По прогнозам экспертов, в результате из транспортного потока будут исключены 3—4 из 5 машин, что положительно отразится на состоянии трафика. В приведённой выше формуле это, очевидно, уменьшение параметра N более чем на 60 % и, следовательно, существенная экономия.

Помимо разгрузки трафика, переход к аренде с поминутной оплатой имеет следующие мотивы:

1. Высокая стоимость владения личным автомобилем.

Согласно исследованию портала «Авто.ру», в среднем владение личным автомобилем в России обходится в 32,2 тыс. руб. в месяц [2], и при этом стоимость возрастает вместе с инфляцией.

В случае аренды не придётся нести издержки, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом личного автомобиля, тратиться на парковку, бензин, страховку (арендуемые автомобили застрахованы, и цена страховки включена в тариф). Вопрос сохранности ТС также находится в зоне ответственности каршеринговой компании.

Простейшие расчёты показывают, что только прямые затраты на владение личным автомобилем со средней стоимостью в 2019 году в 1,5 млн руб. и годовым пробегом 15 тыс. км составляют 137,5 тыс. руб. в год. Здесь учтены затраты на бензин (расход 10 л на 100 км, что составляет 69 тыс. руб.), стоимость ОСАГО (5,5 тыс. руб.), техобслуживание (25 тыс. руб.), затраты на покупку резины (4 тыс. руб.), стоимость мойки и приобретения жидкости омывателя стёкол (24 тыс. руб.), транспортный налог (10 тыс. руб.). Для автомобиля каршеринга (далее CS-автомобиль) эти затраты даже при тарифе 10 руб./км соответствуют 35 тыс. км пробега. Если учесть ещё и бесплатную парковку, выгода будет ещё выше. А как известно, есть ещё и косвенные потери: автомобиль за 3 года эксплуатации теряет 30 % своей стоимости.

2. Сокращение эмиссии CO_2 (основная причина глобального потепления) благоприятно должно отразиться на экологии. Оценка — в результате развития каршеринга будет достигнуто снижение выбросов CO_2 от использования автомобилей на 10 %.



Популярность сервиса в Москве растёт гигантскими темпами. За последние годы она выросла втрое и количество CS-автомобилей приближается к 30 тыс.

Каковы же перспективы сервиса в Санкт-Петербурге? По оценкам операторов (2018 г.), ёмкость рынка каршеринга в Северной столице составляет: Youdrive (7000), Делимобиль (3000), COLESA.COM (3500) [3].

Однако понятно, что автопарк не должен простаивать, и не должно быть перекосов в сторону необоснованного увеличения количества CS-авто, что приводит к тому, что зона платной парковки в Москве на треть занята именно каршеринговыми автомобилями. Встаёт вопрос: какова же реальная потребность города в данном сервисе в нынешних условиях? Ответ на него можно попытаться получить на основе транспортного моделирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данная статья посвящена вопросам развития каршеринга в Санкт-Петербурге. В качестве объекта исследования выбран один из районов города (Петродворцовый). С учётом того, что оценки потребного количества CS-автомобилей и интенсивности их аренды у разных операторов расходятся, предлагается применить транспортное моделирование. Таким образом, для получения количественных оценок требуется разработать модель транспортного спроса для выбранного района в специализированной программе с учётом системы каршеринга. С помощью моделирования возможно оценить динамику и составить прогноз изменения структуры транспортных затрат с учётом каршеринга, а именно, снижение транспортного спроса на индивидуальный транспорт (ИТ). Результаты моделирования необходимо затем сравнить с данными реальной аренды CS-автомобилей в выбранном районе.

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КАРШЕРИНГА

На сегодня в России система каршеринга далека от совершенства. В частности, участились случаи дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с CS-автомобилями (более 200 ДТП с начала 2019 года), среди пользователей которых зачастую оказываются те, кто не имеет постоянной практи-

ки вождения или, хуже того, нетрезвые, лишённые прав водители. Тогда автомобиль превращается в источник опасности. Для борьбы с этим в ГИБДД рассматривают меры идентификации водителей и их состояния за рулём CS-автомобилей. Кроме того, обсуждается вопрос блокирования использования сервиса для нарушителей правил дорожного движения.

Значимой проблемой является отсутствие нормативной документации для осуществления деятельности компаний. На данный момент только в Москве имеются принятые на уровне города документы, регулирующие действия сервиса и надзор за ним со стороны государства.

Другой проблемой является отсутствие единых реестров, в которых бы содержались данные обо всех компаниях, предоставляющих услуги каршеринга, и их абонентах. Данная централизация упростит регистрацию водителей, поскольку в таком случае достаточно будет зарегистрироваться всего лишь раз, а не делать это в каждой компании по отдельности, соответственно будет возможность выбирать автомобиль, который находится ближе.

Санкт-Петербург по парку CS-автомобилей занимает второе место после Москвы. На март 2019 года в городе работали семь каршеринговых компаний с парком, насчитывавшим 3515 автомобилей [4]. Данная цифра мало отражается на общей ситуации в городе, в котором в 2017 году насчитывалось более 2,4 млн легковых автомобилей [5]. Важным показателем является количество жителей на один CS-автомобиль. Для Петербурга на данный момент он составляет $5,38 \text{ млн} / 3515 = 1530$ жителей.

Властями Санкт-Петербурга взят курс на деавтомобилизацию города, разгрузку магистралей и улучшение экологической обстановки в мегаполисе. Несмотря на перспективность каршеринга и все преимущества сервиса, на данный момент существует ряд проблем в сфере краткосрочной аренды автомобилей.

Для развития каршеринга в Санкт-Петербурге первостепенным является вопрос платной парковки. В настоящий момент зона платной парковки незначительна и функционирует неэффективно. Как только эта зона начнёт расширяться, заин-



Рис. 1. Количество CS-автомобилей (прогноз автора на 2019 год на основе обработки статистических данных 2015–2018 годов).

тересованность в каршеринге значительно вырастет, поскольку сервис предполагает введение бесплатной парковки для CS-автомобилей, как это сделано в Москве. Кроме того, в городе действует законодательство, косвенно касающееся и каршеринга, но при этом напрямую влияющее на транспортную обстановку города. С 1 июля 2020 года коммерческие маршрутные такси прекращают работу, что должно в перспективе переориентировать часть пассажиров на каршеринг, а остальных — на общественный транспорт (ОТ). Пока же операторам в Санкт-Петербурге нет смысла развивать этот сервис без интенсивной поддержки властей.

С учётом данных статистики изменения автопарка в Москве и Петербурге с 2015 по 2018 годы [6; 7] на рис. 1 представлены соответствующие тренды. Следует оговориться, что прогнозы в данной области из-за возможного изменения экономических условий нельзя рассматривать как полностью достоверные. Можно лишь предположить, что при реализации в Петербурге условий, подобных существующим в Москве, тенденция развития сервиса будет стремиться, учитывая соотношение населения городов, к достижению по крайней мере половинных значений московских показателей. По планам московских властей на каждую машину будет приходиться примерно 500 жителей, и Москва догонит по этому показателю мировых

лидеров: Торонто (498), Мадрид (500), Штутгарт (515) и Нью-Йорк (525) [7].

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТРАТ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как было отмечено, существует задача оценки транспортного спроса с учётом каршеринга на основе моделирования. Соответствующие средства имеются в программе PTV Visum (18-й версии) [8]. Полученные в процессе моделирования оценки могут быть выполнены не только для каршеринга, но и для системы велопроката (байкшеринга).

Количество автомобилей в районе города является динамическим показателем и меняется в зависимости от времени суток и дня недели. Некоторые ТС могут быть в ремонте или проходить техническое обслуживание. Поездки осуществляются как в пределах районов, так и за их пределами. Их количество определяется такими факторами, как срочность поездки, дата и время, транспортная ситуация на дороге, наличие альтернативных путей и маршрутов, самочувствие, труднодоступность места назначения и т.п. Поэтому возможно оперировать только взвешенными значениями.

Модель с учётом ограничений при планировании исследования охватывает не весь Петродворцовый район Санкт-Петербурга, а только муниципальное об-



Количество: 30	Name	€	дошкольники	места_ВУЗ	места_сад	места_школа	население	рабочие_места	студенты	сфера_услуг	трудящиеся	школьники
1	Больница	0	0	0	0	0	0	2000	0	800	0	800
2	Парк колониистский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Жилый район (529)	100	0	1000	0	0	2890	300	350	200	1900	560
4	Парк (Фортаны)	0	0	0	0	0	0	1250	0	900	0	0
5	Ракета	90	0	0	0	0	450	600	50	200	300	0
6	Институт морской	0	2300	0	2300	2300	10	0	0	150	0	0
7	Парк	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Семира	1000	0	0	0	0	10500	800	350	400	7800	280
9	Студгородок, СПбГУ	0	5500	0	5500	5500	540	0	0	230	150	0
10	Школы (411,419)	200	0	1000	0	0	1540	780	20	250	1200	0
11	Школа (567)	100	0	0	0	0	1500	220	220	100	950	560
12	Сад 33	50	0	0	0	0	830	115	70	70	500	280
13	Сад 16	40	0	0	0	0	1590	120	250	90	590	280
14	Госпиталь	20	0	0	0	0	450	450	48	240	100	0
15	Рынок	5	0	0	0	0	120	355	2	320	100	0
16	Школа 671	0	0	500	0	0	0	50	0	160	0	0
17	Детский сад 1	10	0	0	0	0	830	650	150	30	600	280
18	Сфера услуг (жаралекин,брызна)	0	0	0	0	0	0	1000	0	1400	270	0
19	школа 415	300	0	500	0	0	850	120	200	90	300	0
20	аврора	400	0	0	0	0	1210	230	40	280	500	0
21	школа 416	160	0	500	0	0	2100	370	340	50	1500	0
22	каскад	170	0	0	0	0	2770	980	300	635	2000	280
23	Жилый район (сад 29)	100	0	0	0	0	2800	760	400	440	2000	280
24	Жилый район (полушка)	125	0	0	0	0	4200	710	550	700	800	0
25	Жилый район(школа 412)	70	0	500	0	0	3510	570	850	230	500	0
26	Жилый район	50	0	0	0	0	1500	490	150	290	500	0
27	школа 542	10	0	500	0	0	1310	400	150	700	900	0
28	Санаторий	0	0	0	0	0	0	390	0	245	0	0
29	парк АНГП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	парк АНГП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Фрагмент таблицы спроса групп населения.

разование город Петергоф. Другим упрощением является учёт поездок только внутри Петергофа, то есть без поездок в Санкт-Петербург и обратно. При этом очевидно, что рабочие места в центральных районах города являются естественным центром притяжения для жителей отдалённых районов. Сам Петергоф – также центр притяжения для посетителей с экскурсионными целями. Эти факторы могут быть уточнены при построении более полной модели.

Вместе с тем принятое на данном этапе упрощение модели частично обоснованно: большая часть рабочих мест и достопримечательностей сосредоточена в отдалённых от центра районах города. Например, если среднее время регулярной поездки по Санкт-Петербургу составляет 40 мин, то в Петродворцовом районе, по опросам жителей, – около 15 мин. Кроме того, от съезда с Кольцевой автомобильной дороги (КАД) со стороны Санкт-Петербурга и до въезда в Петергоф образуются транспортные заторы, которые делают каршеринговый сервис недостаточно удобным для поездок в центральные районы.

Муниципальное образование город Петергоф входит в состав г. Санкт-Петербурга и включает в себя микрорайоны Старый Петергоф, Новый Петергоф, Красные Зори и Университет. Данный район является особенным, учитывая его музейный потенциал. На-

селение Петергофа на 2018 год составило 82940 человек [9].

Для построения модели были использованы следующие данные: количество мест в детских садах (6100), школах (9600), численность детей дошкольного возраста (5600), рабочих мест на предприятиях (56300) и в сфере услуг (13250), численность занятых (68800), школьников (8800) [9].

При создании модели была использована зона покрытия каршеринга, обозначенная в интерфейсе соответствующего приложения оператора «Делимобиль», пока единственного оператора, работающего в этом районе. Исходными данными для создания модели транспортного спроса стали общая численность населения Петергофа, распределение населения по группам, корреспонденции, автобусные маршруты и связанная с ними транспортная инфраструктура.

В основе расчёта транспортного спроса лежит стандартная четырёхшаговая модель (например, [10, с. 26]). В модели, заложенной в программу Visum, эти шаги следующие: генерация спроса (Trip Generation), распределение спроса (Trip Distribution), выбор режима (Mode Choice), перераспределение (Traffic Assignment). Первые два этапа представляют собой подготовку к созданию модели.

Начинается построение модели с внесения элементов улично-дорожной сети, таких, как узлы, отрезки, районы, примы-

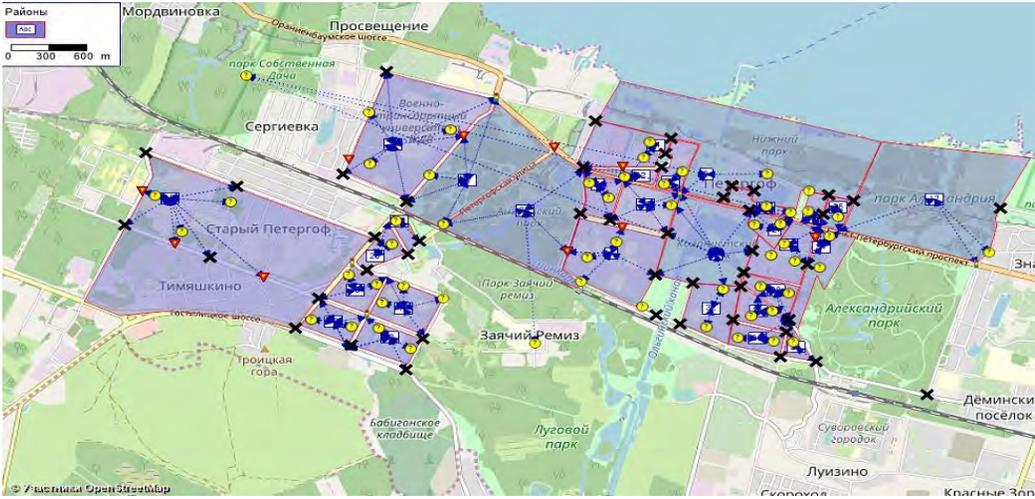


Рис. 3. Районы с узлами участков дорожной сети.

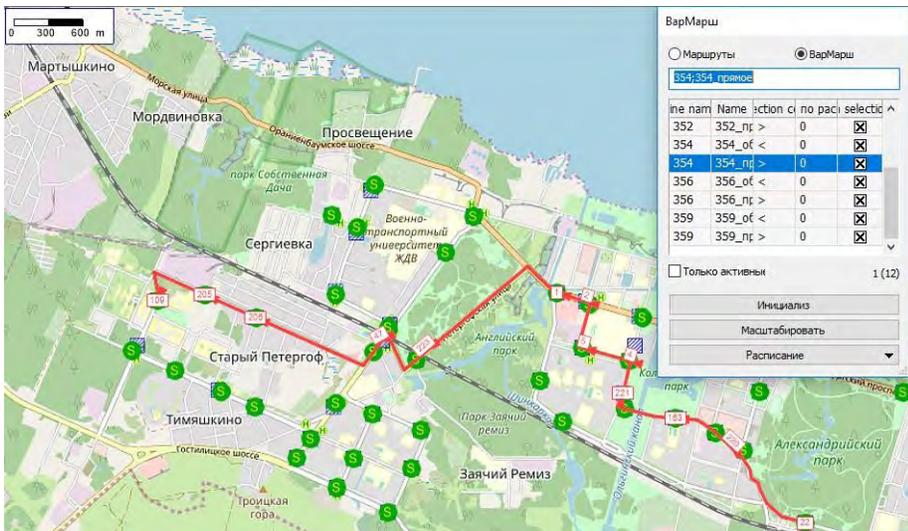


Рис. 4. Фрагмент карты с остановками и одним из маршрутов ОТ.

кания, остановки (пункт остановки, зона остановки, остановка), автобусные маршруты. На рис. 2 приведён фрагмент матрицы, определяющей спрос групп населения на транспортные услуги.

Примыкания связывают районы с улично-дорожной сетью города и представляют собой виртуальные отрезки. Одни примыкания направлены на автомобильный транспорт, за счёт чего определяется время на выезд автомобиля из района на улицы города; по ним также могут двигаться пешеходы. Другие примыкания относятся исключительно к пешеходам и соединены с узлами, к которым прикреплены остановки. После того как все рассмотренные

элементы построены и созданы все маршруты ОТ, необходимо рассчитать транспортный спрос. Фрагменты вида районов с узлами и зонами остановок, остановками ОТ и одним из маршрутов изображены соответственно на рис. 3, 4.

Далее выполняются процедуры генерации транспортного движения, распределения транспортного движения по районам, выбора транспорта (для Петергофа было приняты значения 40 % поездок ИТ и 60 % – на ОТ), перераспределения транспортного движения. В ходе последнего этапа рассчитывается интенсивность транспортных потоков. Приведённое выше распределение основано на данных иссле-



довательского центра портала «Superjob», полученных по результатам опросов в Санкт-Петербурге, которые показали, что 10 % населения добираются до работы пешком, 35 % – на ИТ, 55 % – на ОТ.

При создании процедуры выбора режима транспорта (третий шаг четырёхшаговой модели) используется модель логистической регрессии (*logit*-функция, тогда как на втором этапе используется комбинированное экспоненциальное распределение). Выбранные значения параметров кривых являются стандартными для моделей транспортного распределения и выбора режима в PTV Visum для городов и районов с малой численностью населения при исследовании транспортного спроса.

Результатами расчёта транспортного спроса являются матрицы межрайонных корреспонденций с полученными временными значениями, итоговые матрицы по ИТ и ОТ. Общий суммарный спрос на ИТ составляет в результате 41226, а для ОТ – 103598 мин/год.

Данная модель является только подготовительной, а также образцом для сравнения с моделью, в которую далее был добавлен каршеринговый сервис. Не будем останавливаться на технологии введения в модель сервиса, поскольку данная технология описана в соответствующем примере из дистрибутива программы Visum.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В VISUM

По данным [11] на март 2019 средняя продолжительность аренды CS-автомобилей по Петербургу составляет порядка 40 минут, а средний чек – около 300 рублей. (Для сравнения тариф такси (эконом), если поездка составит от 1 часа до 2,5 часов – 15 руб./мин [12]).

Тариф оператора «Делимобиль» – 7 руб./мин, а после достижения дальности поездки больше 120 км применяется тариф 8 руб./км [13]. Таким образом, при поездке на 10 км за полчаса при средней скорости 30 км/час, с учётом пробок по городу можно потратить 210 руб., а в час, соответственно 420 руб.

Вместе с тем поездка на ИТ с учётом страховки соответствует тарифу 11 руб. за 1 км. Перемещение по городу на расстояние 10 км при скорости 30 км/час с учё-

том пробок, как показано выше, занимает примерно полчаса. Таким образом, цена получаса составляет 110 руб. (в час – 220 руб.). Однако, если учитывать все платежи, связанные с чистой стоимостью владения ТС, цена одной минуты поездки может быть оценена в 19 руб., если её время занимает один час [12]. С учётом других составляющих стоимости владения личным автомобилем стоимость минуты гораздо выше.

Для поездок внутри Петергофа для моделирования рассмотрим два случая. Тариф «Делимобиль» – 7 руб./мин. Чтобы составить конкуренцию личному ИТ, тариф заведомо должен быть ниже, чем затраты на ИТ, то есть, не 220 руб., а, например, 180 руб./час (3 руб./мин – тариф в период акций операторов). Стоимость поездок на ОТ установлена в виде тарифа «по зонам» в 40 руб.

Реальным вариантом, существующим в Петергофе, является случай «свободно плавающих автомобилей» (*free floating*), не привязанных к станции проката. Поскольку процедура распределения выполняется в процессе имитации, результаты имеют случайную природу. Однако, как следует из приведённых графиков, наблюдаются и неслучайные тенденции. В процессе моделирования для ИТ использовалось равномерное распределение, для ОТ – распределение по расписанию «с обучающей процедурой».

Исследуются повременные затраты для ИТ и ОТ в зависимости от изменения числа CS-автомобилей. Результаты моделирования для случая 7 руб./мин приведены на рис. 5.

Минимальное значение числа автомобилей в этом режиме строго больше 0. При изменении числа CS-автомобилей в сети наблюдаются максимум затрат при поездках на ИТ при 20 CS-автомобилях и, соответственно, минимум – при поездках в ОТ (к которому по версии разработчиков и отнесён каршеринг). Можно заключить, что 20 автомобилей – критическое число для данного района в текущих условиях, которое соответствует наибольшей конкуренции CS-автомобилей с ИТ.

Зависимость при тарифе 7 руб./мин от изменения интенсивности аренды, то есть от числа арендованных автомобилей в час,

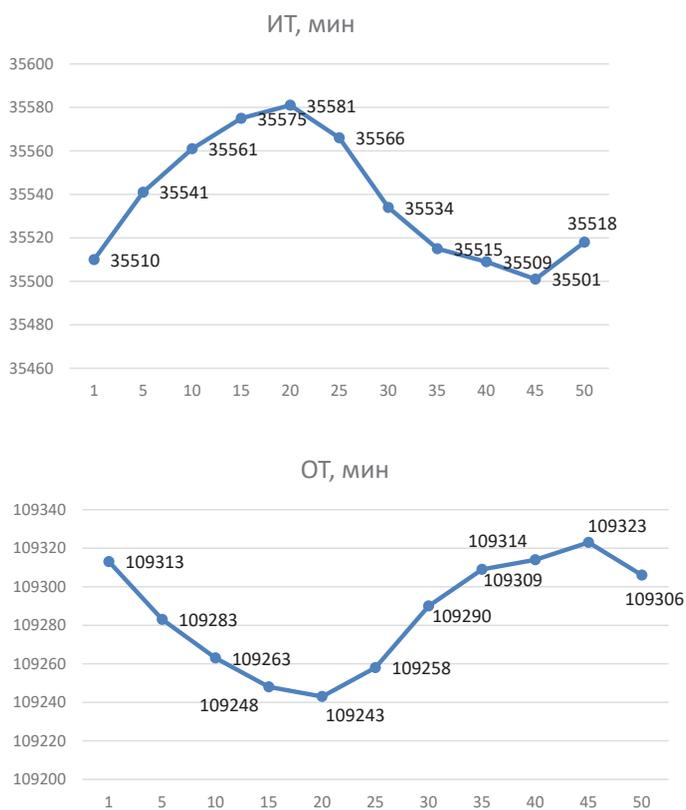


Рис. 5. Повременные затраты для ИТ и ОТ в зависимости от числа CS-автомобилей.

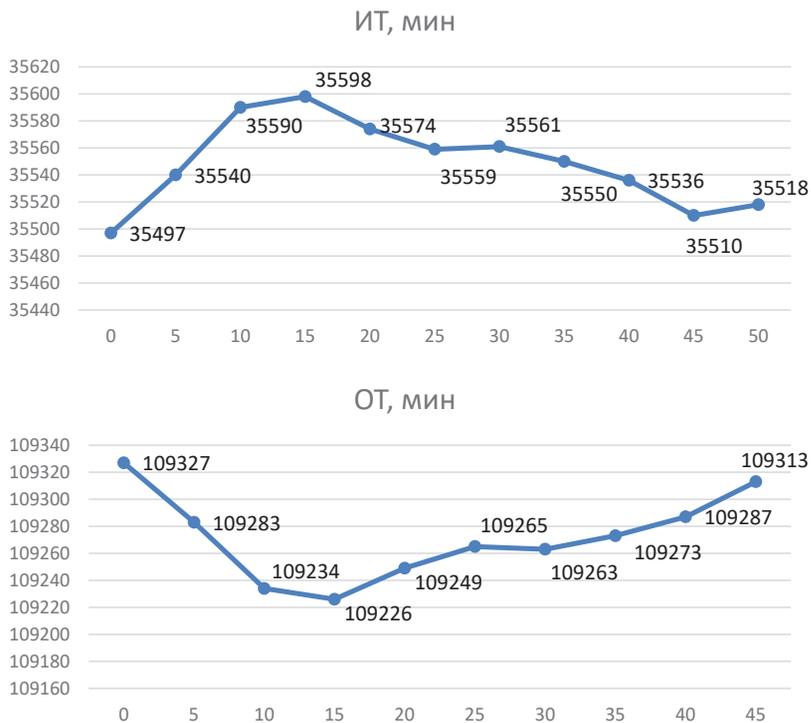


Рис. 6. Повременные затраты в зависимости от интенсивности аренды для ИТ и ОТ.



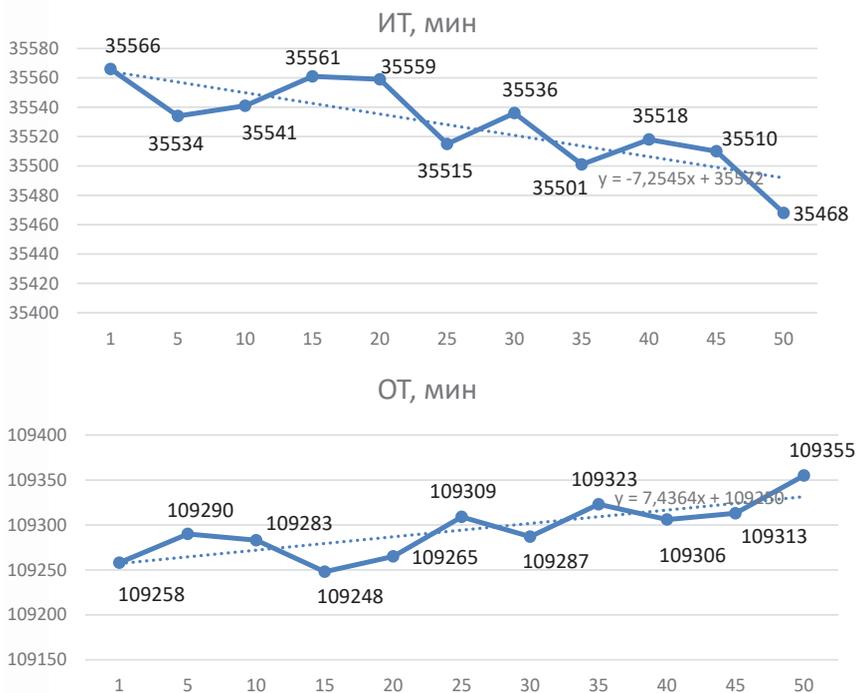


Рис. 7. Тенденции зависимостей повременных затрат для ИТ и ОТ в зависимости от числа CS-автомобилей.

при фиксированном их количестве 20 шт. приведена на рис. 6.

Наблюдаются тенденции к снижению затрат на ИТ с ростом интенсивности (пик приходится на 15 CS-автомобилей в сети, затратная нагрузка на ИТ наибольшая) и, соответственно, к повышению затрат на пользование ОТ. Можно предположить, что при интенсивности аренды в 15 автомобилей в час конкуренция с ИТ наибольшая.

Наконец, рассмотрим гипотетический случай заведомо низкого тарифа – 180 руб./час. Результаты моделирования приведены на рис. 7.

С ростом числа CS-автомобилей наблюдается тенденция к снижению повременных затрат на пользование ИТ и увеличению затрат на поездки в ОТ (поскольку каршеринг входит в систему ОТ). Кроме того, растёт процент граждан, ранее пользовавшихся другими видами ОТ, которые также теперь могут воспользоваться каршерингом. Опять же, чтобы добраться до стоянки CS-автомобилей, может потребоваться традиционный ОТ. В результате расчётов программа формирует матрицы корреспонденций и суммарный спрос на

ИТ и ОТ. Если взять в расчёт затраты ИТ при критическом числе CS-автомобилей 20 шт. (рис. 5), то возможный выигрыш в затратах на ИТ относительно системы без каршеринга определим как $(41226 - 35580)/41226 \cdot 100\% = 14\%$.

АКТИВНОСТЬ СЕРВИСА КАРШЕРИНГА ПО Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В таблице 1 приведён список районов с данными по численности населения, а также числу CS-автомобилей. Ввиду отсутствия информации о занятых автомобилях, статистику в отношении которых, возможно, отслеживают службы компаний, в данном примере приходится ориентироваться на карту свободных CS-автомобилей всех операторов города [14].

Фактическое число свободных CS-автомобилей в городе по данным на два часа ночи в будни составляет примерно 1173 автомобиля. По-видимому, остальные из 3515, входящих в автопарк, или не на ходу, или арендуются круглосуточно. Утром в будний день в десять утра зафиксировано 979 свободных автомобилей. Следует ого-

Таблица 1

Количество арендованных автомобилей по районам города

№	Район	Число жителей	Свободных CS-автомобилей на 2:00 часа	Свободных CS-автомобилей на 10:00 час	- уехали, + приехали	Всего арендовано CS-автомобилей (утро)	Соотношение числа CS-автомобилей и приведённой численности жителей ¹	Соотношение числа арендованных CS-автомобилей и приведённой численности жителей ²
1	Курортный	78131	12	8	-4	4	51	8
2	Выборгский	518709	27	61	34	34	339	55
3	Приморский	568516	121	103	-18	18	371	60
4	Кронштадтский	44321	12	2	-10	10	29	5
5	Василеостровский	208713	38	48	10	10	136	22
6	Петроградский	131356	8	26	18	18	86	14
7	Калининский	533597	256	142	-114	114	348	57
8	Красногвардейский	357498	30	50	20	20	233	38
9	Адмиралтейский	161911	18	25	7	7	106	17
10	Центральный	216939	3	18	15	15	142	23
11	Кировский	336248	76	109	33	33	220	36
12	Московский	354525	127	124	-3	3	231	38
13	Фрунзенский	394972	27	79	52	52	258	42
14	Невский	527861	234	121	-113	113	345	56
15	Петродворцовый	143154	18	2	-16	16	93	15
16	Красносельский	397609	115	50	-65	65	260	42
17	Пушкинский	217983	34	4	-30	30	142	23
18	Колпинский	191847	17	7	-10	10	125	20
ИТОГО:		5383890	1173	979		572	3515	571

¹ Предпоследний столбец таблицы – отношение числа жителей района к общему числу жителей города, умноженное на общее число CS-автомобилей по данным операторов – показывает, сколько автомобилей могло бы приходиться на этот район города. Например, для Курортного района $78131/5383890 \cdot 3515 = 51$.

² Последний столбец – то же отношение, но применительно к количеству реально арендованных автомобилей. Например, для Курортного района $78131/5383890 \cdot 572 = 8$.

вориться, что это данные, касающиеся только утренних поездок на работу, которые, конечно, не охватывают всех возможных за день.

В Петродворцовом районе по состоянию на два часа ночи было найдено 18 свободных CS-автомобилей, в десять часов утра, после того, как часть машин уехала, а другая часть приехала, осталось две свободные машины, то есть 16 машин было арендовано, что совпадает с соотношением, рассчитанным в последнем столбце табл. 1. Это близко к результатам моделирования при текущих тарифах оператора (20 CS-автомобилей в районе, которые

арендуются с интенсивностью 15 авто/час). Также из таблицы видно, в какие районы и сколько приезжает CS-автомобилей с рабочими целями и сколько и из каких районов уезжает. Из таблицы также видно, что на весь Петродворцовый район должно приходиться $143154/1530 = 93$ CS-автомобилей. Доля реальной аренды в отношении данной расчётной величины составляет $16/93 = 0,17$. Для сравнения в Невском районе доля примерно такая же: $56/345 = 0,16$. В Петергофе с учётом числа жителей должно находиться в среднем $82940/1530 = 54$ CS-автомобилей, по факту – не более 20 автомашин. Таким образом, можно оце-



нить активность каршеринга в Петергофе относительно среднего значения по городу с коэффициентом $16/54 = 0,3$. Приведённые выше оценки и коэффициенты, конечно, не претендуют на полноценное статистическое исследование, но тенденции показывают.

Самыми перспективными районами для появления новых сервисов являются районы на границах города, где имеется потенциальный спрос на поездки в направлении крупных транспортно-пересадочных узлов, например, из Петродворцового в Красносельский или Кировский, где пользователь сможет пересечь на ОТ, в особенности на метро, и продолжить путь до места назначения.

Фактическое количество CS-автомобилей в Санкт-Петербурге находится в пределах расчётных величин, указанных в табл. 1, что в целом говорит о достаточной обеспеченности города услугами каршеринга. Однако это не значит, что количество сдаваемых в аренду на условиях каршеринга автомобилей не будет увеличиваться, поскольку каждая компания стремится занять ключевое место в городе, повышая уровень сервиса. Одним из средств для этого является обновление транспортных средств и моделей автомобилей и постепенное изъятие старых моделей. Также новые и малые компании начинают деятельность сразу в нескольких районах города и стремятся к увеличению зоны обслуживания.

Выводы

Определены условия, а также представлены прогнозы развития каршеринга в Санкт-Петербурге. Выполнено гравитационное моделирование для района Петродворцовый, в результате которого отмечен положительный эффект существующей системы каршеринга на развитие транспортной системы, даны количественные оценки числа CS-автомобилей и интенсивности их аренды, в том числе с точки зрения конкуренции с ИТ. Найденные оценки согласуются с реальными данными по аренде автомобилей.

Эффект от внедрения интеллектуальных транспортных систем в части сокращения времени в пути по оценкам Росавтодора может составить 35–40 % [15]. Рассчи-

танный в результате моделирования выигрыш от работы каршеринга, приводящий к уменьшению времени поездок на 14 %, свидетельствует о том, что данный и подобные ему сервисы являются существенным дополнением к создаваемым системам в плане повышения транспортной доступности для населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сколько денег стоят пробки на дорогах? [Электронный ресурс]: <http://www.ljpoisk.ru/archive/4473433.html>. Доступ 27.11.2019.
2. Стоимость владения автомобилем в РФ оказалась выше, чем в Англии. [Электронный ресурс]: <https://quto.ru/journal/news/stoimost-vladeniya-avtomobilem-v-rf-okazalas-vyshe-chem-v-anglii-25-12-2019.htm>. Доступ 27.11.2019.
3. Каршеринг в Санкт-Петербурге: перспективы, планы и советы конкурентам. [Электронный ресурс]: <https://carshering.club/karshering-v-sankt-peterburge-perspek/>. Доступ 27.11.2019.
4. Новости каршеринга 2019. [Электронный ресурс]: <https://carshering-blog.ru/karshering-v-sankt-peterburge/>. Доступ 27.11.2019.
5. Рост зарегистрированных в Петербурге в 2017 году машин побил семилетний рекорд. [Электронный ресурс]: https://78.ru/news/2017-12-28/gost-zaregistrirovannih_v_peterburge_v_2017_godu_mashin_pobil_semiletanii_rekord. Доступ 27.11.2019.
6. Похоже, московский каршеринг стал мировым лидером по автопарку. Почти 24 тысячи машин. [Электронный ресурс]: <https://truesharing.ru/tp/19274/>. Доступ 27.11.2019.
7. РБК. Как рынок каршеринга в Москве оказался самым быстрорастущим. [Электронный ресурс]: https://www.rbc.ru/technology_and_media/27/09/2018/5bab94a69a79474169e307c1. Доступ 27.11.2019.
8. Официальный сайт компании А + С «Транс-проект». [Электронный ресурс]: http://apluss.ru/activities/programmnye_produkty. Доступ 27.11.2019.
9. Федеральная служба государственной статистики. Паспорт муниципального образования. [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/table.aspx?opt=403950002018. Доступ 27.11.2019.
10. Якимов М. Р. Транспортное планирование: Создание транспортных моделей городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
11. Без льгот. Почему каршеринг в Петербурге развивается медленнее, чем в Москве. [Электронный ресурс]: https://www.dp.ru/a/2018/11/16/Bez_lgot_Pochemu_karsheri. Доступ 27.11.2019.
12. Сравниваем каршеринг и такси: что выгоднее, комфортнее. [Электронный ресурс]: <https://passazhiram.ru/avtomobili/karshering/ili-taksi.html>. Доступ 27.11.2019.
13. Официальный сайт оператора «Делимобиль». [Электронный ресурс]: <https://delimobil.ru/spb/index>. Доступ 27.11.2019.
14. Где лучше каршеринг. Карта свободных автомобилей. [Электронный ресурс]: <https://carsharing.gde-luchshe.ru/map>. Доступ 27.11.2019.
15. Ожидаемые результаты внедрения интеллектуальных транспортных систем. [Электронный ресурс]: https://studwood.ru/916212/ekonomika/ozhidaemye_rezultaty_vnedreniya_intellektualnyh_transportnyh_sistem. Доступ 27.11.2019.



Gravity Modelling of Car Sharing Based on PTV Visum



Andronov, Sergey A., St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), St. Petersburg, Russia.*

Sergey A. ANDRONOV

ABSTRACT

Car sharing plays an important role in the transition to unmanned vehicles. This article discusses the positive and negative aspects of the existing car sharing system in Russia, as well as forecast trends using the examples of Moscow and St. Petersburg. Since car sharing in St. Petersburg is not yet sufficiently developed, and the forecasts of operators on the market capacity diverge, it is of interest to determine the conditions facilitating successful development of the service, and to evaluate the city's need for the number of cars used by car sharing services.

The objective of the research described in the article is to study the trends in development of car sharing services, to determine the estimates of the required number of cars for car sharing services, and intensity of their rental in a particular city district. To solve the problem, the gravity modelling method is used based on the PTV Visum 18 software. Whilst special tools of the developed line of PTV MaaS programs (Controller, Operator, Simulator, Modeller) are not applied, it allows to

build transport models of the macro level and perform transport modelling taking into account new forms of mobility (car sharing, bike sharing, etc.) while planning and management of urban transport systems

The solution to the problem involved development of two models of transport demand for the selected district of the city: considering and without considering car sharing effect. In the process of modelling, we studied the structure of transport time expenditures following changes in the number of vehicles in the fleet and intensity of its rental regarding several operator tariffs. The critical number of cars used by car sharing services for the city district was determined under the conditions of the greatest competition of these cars with individual vehicles. It is shown that under current conditions, the effect of reducing time-related transport costs in the district is about 14 % when using one-year simulation horizon. The simulation results are consistent with the real data on trips and can be extrapolated to other city districts.

Keywords: transport, urban transport, car sharing, transport modelling and simulation, PTV Visum.

*Information about the author:

Andronov, Sergey A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of System Analysis and Logistics of St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), St. Petersburg, Russia, andronov_00@mail.ru.

Article received 15.08.2019, accepted 27.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 222.

Background. Organizational measures of traffic offloading, among others, can provide a significant assistance to the created expensive intelligent transport systems. Those measures capable to make a significant contribution to solving urban transit problems comprise car rental (or car sharing) for short-term trips over short distances around the city and in its immediate vicinity.

In Russia, similar services, such as ride sharing (sharing payment between fellow travelers); carpooling (sharing a car with other people); bicycle, scooters, electric cars rental, etc. are currently only gaining momentum. City dwellers start to realize that it is better to share rather than to own. Introduction of modern technologies that allow to use these services using a smartphone is also an important factor of promoting those services. MaaS services (mobility as a service) implies that the user receives a ready-made solution on his smartphone how to get from one point of the city to another, considering traffic jams.

The related issue of traffic jams and pollution is very painful. Besides, the loss of time in traffic jams has a specific financial expression not only for residents, but also for the city budget. The estimate of the cost of traffic jams per day according to the formula [1] is impressive:

$$M = T \cdot N \cdot (P \cdot S + F) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot (2 \cdot 324 + 90) \approx 369 \text{ mln rub.},$$

where M are total costs caused by traffic jams per day;

T is time spent in a traffic jam by one person, hours;

N is number of cars caught in traffic jams, $0,5 \cdot 10^6$ cars (in Moscow, according to Yandex estimates this figure is more than 10^6);

P is average number of passengers;

S is average salary per hour in St. Petersburg with 40-hour workweek, 2019, rub.;

F is cost of average fuel consumption per hour in a traffic jam, 21, 90 rub.

According to statistics, one short-term rental car is capable to meet the needs of a dozen users a day. Thus, only a single car instead of ten vehicles participates in the road traffic. According to experts, as a result, 3–4 of 5 cars will be excluded from the transport flow, which will positively affect the state of traffic. In the above formula, this is obviously a decrease in the parameter N by more than 60 %, resulting in significant savings.

Besides offloading traffic, the transition to rental with a per-minute payment can be motivated by the following:

1. High cost of owning a personal car.

According to the study of Avto.ru portal, on average, owning a personal car in Russia costs 32,2 thous. rub. per month [2], and the cost increases if there is an inflation.

In case of a rental, one should not bear the costs associated with maintenance and repair of personal car, spend money on parking, gas, insurance (rented cars are insured, and the price of insurance is included in the tariff). The issue of vehicle security is also within the responsibility of a car sharing company.

The simplest calculation shows that only the direct costs of owning a personal car (having average price of 1,5 million rubles in 2019 and annual mileage of 15 thousand km) make 137,5 thousand rubles per year. Direct costs provide for the cost of gasoline (consumption of 10 liters per 100 km, which amounts to 69 thousand rubles), the cost of compulsory motor liability insurance (5,5 thousand rubles), maintenance (25 thousand rubles), the cost of tires (4 thousand rubles), the cost of washing and of a windscreen washer (24 thousand rubles), transport tax (10 thousand rubles). For a car sharing car (hereinafter CS-car), these costs, even at a rate of 10 rubles/km, correspond to 35 thousand kilometers mileage. If we consider free parking, the benefit will be even higher. And it is known, there are still indirect losses, as a car depreciates by 30 % after 3 years of operation.

2. Reducing CO₂ emissions (the main cause of global warming) should have a positive impact on the environment. Preliminary estimate can be suggested that car sharing development will result in reduction of CO₂ emission by vehicles by 10 %.

The popularity of the service in Moscow is growing at a gigantic pace. In recent years, it has tripled, and the number of CS-cars is approaching 30 thousand units.

What are the prospects for service in St. Petersburg? According to operators' estimates (2018), the capacity of the car sharing market in the Northern capital is as follows: 7000 (Youdrive), 3000 (Delimobil), 3500 (COLESA.COM) [3].

However, the fleet should not be idle, hence there it is not possible to go to extremes when CS-cars occupy a third part of the paid parking zone in Moscow. The question arises: what is the real need of the city for this service under the current conditions? To answer that question a tentative simulation based on transport modelling can be used.

Problem statement

The article is devoted to development of car sharing in St. Petersburg. A district of the city (Petrodvortsovy district¹) was selected as an object of the study. Given that estimates of the required number of CS-cars and intensity of their rent provided by different operators differ, it is proposed to use *transport modelling*. Thus, to obtain quantitative estimates, it is required to develop a transport demand model for the selected district using a software and considering car sharing system. Using modelling and simulation, it is possible to evaluate the dynamics and make a forecast of changes in the structure of transport costs considering car sharing, namely, a decrease in transport demand for individually owned transport² (IT). The simulation results must then be compared with real CS-cars' renting data in the selected district.

Car sharing conditions

Today in Russia, the car sharing system is far from perfect. In particular, there have been more frequent cases of traffic accidents with CS-cars (more than 200 traffic accidents since the beginning of 2019), the users of which are often those who do not have constant driving practice or, worse, drunk, disenfranchised drivers and etc. Then the car turns into a source of danger. To deal with this disaster, the traffic police are considering measures to identify drivers and their condition while driving a CS-car. Besides, the issue of banning the use of the service for traffic offenders is discussed.

The lack of documents regulating the activities of car sharing companies also poses a significant problem. Now, only Moscow possesses the city documents regulating the car services' activity and relevant public supervision over them.

Another problem is the lack of uniform registries that would store the data on the service companies and their subscribers. This centralization will simplify registration of drivers, because, in this case, it will be sufficient for a driver to register only once, and not to proceed with individual registrations in each company, and consequently there will be an opportunity to choose a car for rent that is located closer.

St. Petersburg takes second place after Moscow per the available fleet of CS-cars. As of March 2019, seven car sharing companies were operating in the

city with the total fleet of 3515 cars [4]. This figure has little effect on the general situation in the city, which totaled more than 2,4 million cars in 2017 [5]. An important indicator is the number of inhabitants per a CS-car. For St. Petersburg now it is equal to $5,38 \text{ million} / 3515 = 1530$ inhabitants per CS-car.

The authorities of St. Petersburg have embarked on demotorizing the city, unloading highways, and improving the environmental situation in the megalopolis. Despite the promising aspect of car sharing and all the advantages of the service, now there are several problems with short-term car rental.

The issue of paid parking is paramount for development of car sharing in St. Petersburg. Currently, the paid parking zone is small and inefficiently functioning. As soon as this zone begins to expand, the interest in car sharing will increase significantly, since the service involves introduction of free parking for CS-cars, as it is done in Moscow. Besides, the city has local legislation that immediately affects the transport environment of the city and indirectly applies to car sharing. From July 1, 2020, commercial fixed-route taxis will stop working, which should in the future redirect some passengers to car sharing services and the others to public transport (PT). In the meantime, there is no reason for operators in St. Petersburg to develop this service without intensive support of the authorities.

Pic. 1 shows the trends based on the statistics of changes in the vehicle fleet in Moscow and St. Petersburg from 2015 to 2018 [6; 7]. It should be noted that forecasts in this area due to a possible change in economic conditions cannot be considered completely reliable. One can only assume that if conditions implemented in St. Petersburg are similar to those existing in Moscow, given the ratio of the population of the cities, the trend in service development will strive to attain at least half-values of Moscow's indicators. According to the plans of Moscow city authorities, Moscow will have a CS-car per about 500 inhabitants and will catch up with the world leaders according to this indicator: Toronto (498), Madrid (500), Stuttgart (515) and New York (525) [7].

Prediction of the structure of transportation costs based on modelling

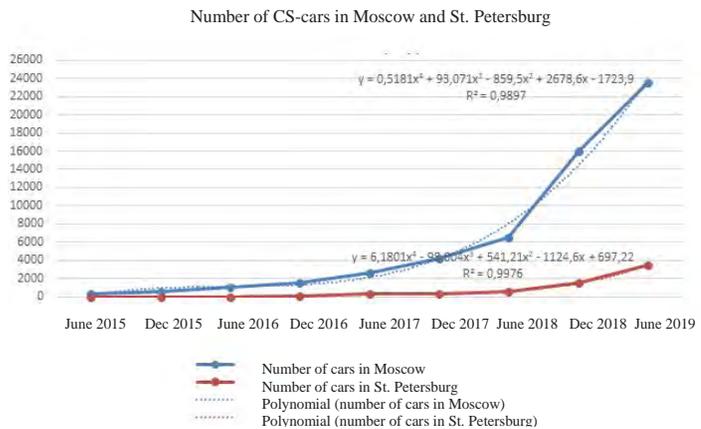
As noted earlier, there is a task of estimating transport demand considering car sharing based on modelling. The corresponding tools are available in PTV Visum 18 software [8]. Estimates obtained

¹ Petrodvortsovy district is located 30 km from St. Petersburg city centre, and has several sights, e.g., Peterhof State Museum. – *ed. note*.

² Private vehicles.



Fig. 1. Number of CS-cars (author's forecast for 2019 based in processing 2015–2019 data).



during the modelling process can be performed not only for car sharing, but also for the bike rental system (bike sharing).

The number of cars in a city district is a dynamic indicator that varies depending on time and day of the week. Some vehicles may be under repair or maintenance. Trips are carried out both within the districts and beyond. Their number is determined by such factors as urgency of the trip, date and time, traffic situation on the road, existing alternative ways and routes, well-being, accessibility of the destination, etc. Therefore, it is possible to operate only with weighted values.

The model, considering the restrictions made, does not cover the entire Petrodvortsovy district of St. Petersburg, but only the municipality of Peterhof. Another simplification is accounting of trips only inside Peterhof, that is, without trips to St. Petersburg and vice versa, though, obviously, jobs in the central areas of St. Petersburg are a natural center of gravity for remote districts, and Peterhof itself is also a center of attraction for excursion trips. Those factors can be further considered while building a more complete model.

At the same time the simplification assumed at that stage of research can be also justified by the fact that most of the jobs and attractions are concentrated in remote areas of St. Petersburg. For example, if the average time for a regular trip along St. Petersburg is 40 minutes, then in Petrodvortsovy district it is about 15 minutes according to the polls of residents. In addition, traffic jams form from the exit from the Ring Road from the side of St. Petersburg to the entrance to Peterhof, which makes the service not profitable enough for trips to the central districts.

The municipality of the city of Peterhof is part of St. Petersburg and includes microdistricts (communities) Old Peterhof, New Peterhof,

Krasnie Zori and University. This district is special, given its museum attractiveness. The population of Peterhof as of 2018 was 82940 people [9].

To build the model, the following data were used: kindergarten capacity (6100), school capacity (9600), number of children of preschool age (5600), jobs at enterprises (56300), jobs in service sector (13250), the number of employed persons (68800), the number of school pupils (8800) [9].

When creating the model, the car sharing coverage area was considered as described in the interface of the corresponding application of Delimobil operator, which is the only operator working in this district so far. The initial data for creating a transport demand model were compiled from the data on the total number of the population of Peterhof, the population by groups, correspondences, bus routes and the associated transport infrastructure.

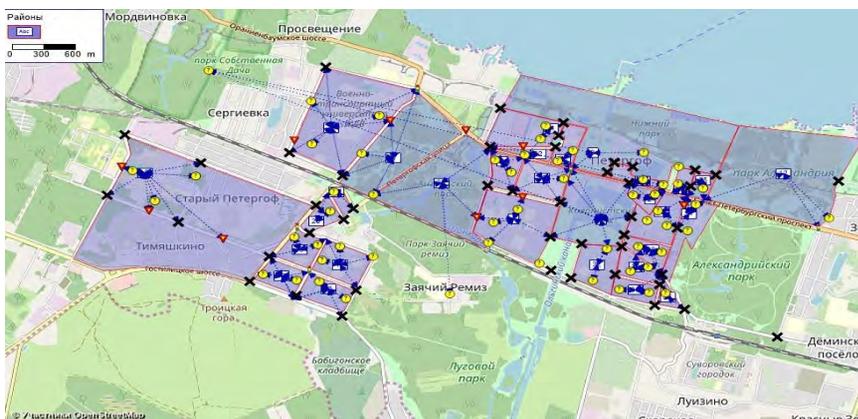
The calculation of transport demand is based on the standard four-step model (for example, [10, p. 26]). In the model embedded in the Visum program, these steps are as follow: demand generation (Trip Generation), demand distribution (Trip Distribution), mode selection (Mode Choice), redistribution (Traffic Assignment). The first two stages are preparations for creation of the model.

The construction of the model begins with introduction of elements of the road network, such as nodes, segments, areas, junctions, stops (stopping point, stopping area), bus routes. Pic. 2 shows a fragment of the demand matrix of population groups.

Junctions and exit roads connect the areas with the city's road network and are virtual segments. Some exit roads concern road transport, defining the time for a car to leave the district and to enter the streets of the city; pedestrians can also move

Количество: 30	Name	дошкольники	места_ВУЗ	места_сад	места_школа	население	рабочие_места	студенты	сфера_услуг	трудящиеся	школьники
1	Больница	0	0	0	0	0	2000	0	300	0	0
2	Парк колониисткой	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Жилой район (529)	100	0	1000	0	2890	300	350	200	1900	560
4	Парк (Форнтаны)	0	0	0	0	1250	0	0	900	0	0
5	Ракета	90	0	0	0	450	600	50	200	300	0
6	Институт морской	0	2300	0	2300	0	10	0	150	0	0
7	Парк	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Семира	1000	0	0	0	16500	900	350	400	7800	280
9	Стигиродок, СПбГУ	0	5500	0	5500	0	540	0	230	150	0
10	Школы (411,419)	200	0	1000	0	1540	780	20	250	1200	0
11	Школа (567)	100	0	0	0	1500	220	220	100	950	560
12	Сад 33	50	0	0	0	830	115	70	70	500	280
13	Сад 16	40	0	0	0	1590	120	250	90	590	280
14	Госпиталь	20	0	0	0	450	450	48	240	100	0
15	Рынок	5	0	0	0	120	355	2	320	100	0
16	Школа 671	0	0	500	0	50	50	0	160	0	0
17	Детский сад 1	10	0	0	0	830	650	150	30	600	280
18	Сфера услуг (жара,лекин,брында)	0	0	0	0	1000	0	1400	270	0	0
19	школа 415	300	0	500	0	850	120	200	90	300	0
20	аврора	400	0	0	0	1210	230	40	280	500	0
21	школа 416	160	0	500	0	2100	370	340	50	1500	0
22	каскад	170	0	0	0	2770	980	300	635	2000	280
23	Жилой район (сад 29)	100	0	0	0	2800	760	400	440	2000	280
24	Жилой район (полушка)	125	0	0	0	4200	710	550	700	800	0
25	Жилой район (школа 412)	70	0	500	0	3510	570	850	230	500	0
26	Жилой район	50	0	0	0	1500	490	150	290	500	0
27	школа 542	10	0	500	0	1310	400	150	700	900	0
28	Санаторий	0	0	0	0	0	390	0	245	0	0
29	парк АНТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	парк АНТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pic. 2. Fragment of table of demand of population groups (screenshot in Russian: left column «name» shows facilities (hospital, park, schools, etc.); other columns show distribution of above described data (on school capacity, jobs, etc.) with regard to those facilities).



Pic. 3. Areas with nodes of street and road network.

along them. Other exit paths belong exclusively to pedestrians and are connected to nodes to which stops are attached. After all considered elements are constructed and all PT routes are created, it is necessary to calculate transport demand. Fragments of the view of the districts with nodes and stop areas, PT stops and a route are shown in Pics. 3, 4.

Next, the procedures for generating traffic, the distribution of traffic by the districts, the choice of transportation mode, redistribution of traffic are performed (for Peterhof, the values of distribution of transportation mode were selected as 40 % of trips with IT and 60 % with PT). During the last stage, the intensity of traffic flows is calculated. The above distribution is based on data from the research center of the supejob portal, obtained from surveys in St. Petersburg, that showed that 10 % of commuters get to work on foot, 35 % use IT, and 55 % use PT.

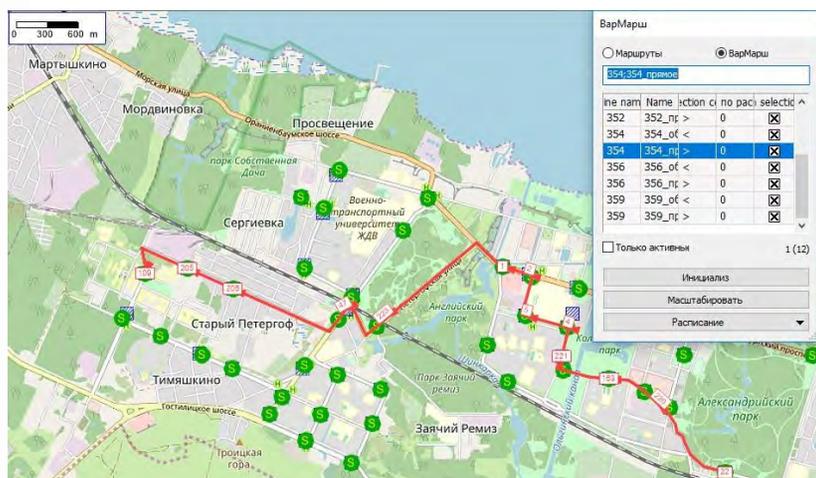
When creating the procedure for choosing the transportation mode (the third step of the four-step

model), the logistic regression model is used (logit function, while the combined exponential distribution is used at the second stage). The selected values of the curve parameters are standard for the transport distribution and mode selection models in PTV Visum for cities and districts with less dense population for the study of transport demand.

The results of the calculation of transport demand are matrices of inter-district correspondence with the obtained time values, as well as final matrices for IT and PT. The total demand for IT is 41226, and for PT 103598 min/year.

This model is only a preparatory one and is to serve a sample for comparison with the model, to which the car-sharing service will be further added. We will not dwell on the technology of introducing the car sharing service into the model, since this technology is described in the corresponding example from the distribution package of Visum program.





Pic. 4. Fragment of a map with stops and a PT route.

Simulation results in Visum

According to [11], as of March 2019, the average CS-car lease duration in St. Petersburg was about 40 minutes, and the average check is about 300 rubles. (The taxi fare (economy tariff), if the trip lasts from 1 hour to 2,5 hours is 15 rubles/min [12]).

The tariff of Delimobil operator is 7 rubles/min, and if you have traveled more than 120 km, then the tariff 8 rubles/km is applied [13]. Thus, when travelling 10 km in half an hour at an average speed of 30 km/h, considering traffic jams in the city, you can spend 210 rubles, and 420 rubles per hour, respectively.

At the same time, a trip with IT (considering the insurance) corresponds to a tariff of 11 rub. per km. As shown above travelling around the city for 10 km at a speed of 30 km/h, considering traffic jams, takes about half an hour. Thus, the cost of travelling half an hour is 110 rub. (or 220 rub. per hour). However, given all payments associated with the net cost of car ownership, the cost of one minute of a trip can be estimated at 19 rub. if it takes an hour [12]. Given other costs of owning a personal car, the cost of a minute is much higher.

For trips inside Peterhof for modelling, we consider two cases. Tariff of Delimobil is 7 rub./min. To compete with IT, the tariff must obviously be lower than IT costs, i.e. lower than 220 rub., for example, 180 rub./hour (3 rub./min is taken as reference being the tariff used during the period of promotion campaigns of operators). The cost of a trip with PT is set based on zone tariff at 40 rubles.

The real option that exists in Peterhof is the case of «free floating cars» that are not tied to a rental station. Since the distribution procedure is performed during the simulation, the results are

random in nature. However, as follows from the graphs below, nonrandom trends are also observed. In the modelling process, a uniform distribution was used for IT, scheduled distribution with a training procedure was used for PT.

We study the time-related costs for IT and PT depending on the change in the number of CS-cars. The simulation results for the case of 7 rub./min tariff are shown in Pic. 5.

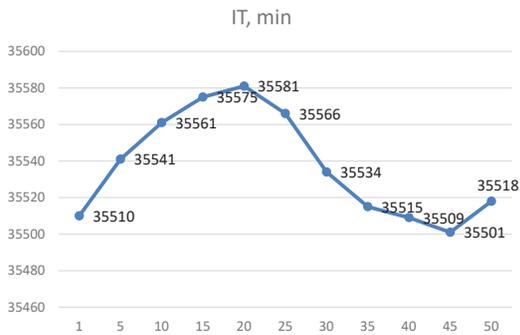
The minimum value of the number of cars in this mode is strictly greater than 0. When the number of CS-cars in the network changes, the maximum IT costs are observed with 20 CS-cars and, accordingly, the minimum costs are observed for PT (to which, according to the developers, car sharing is related). We can conclude that 20 cars mean a critical number for this area under the current conditions, and this number corresponds to the greatest competition between CS-cars and IT.

2. Dependence at a tariff of 7 rub./min on changes in rental intensity, that is, the number of rented cars per hour, when their fixed number is equal to 20 pcs, is shown in Pic. 6.

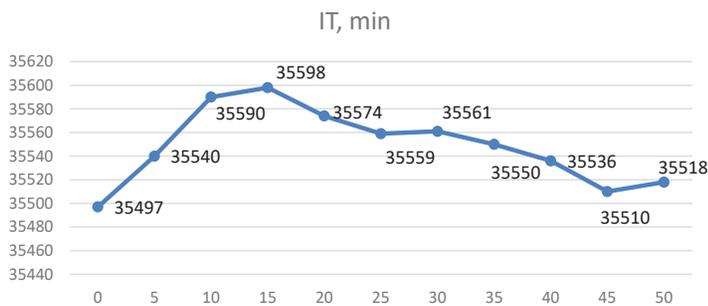
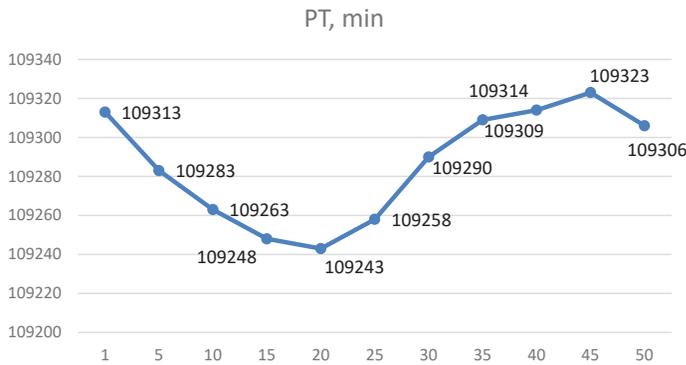
There is a tendency towards a decrease in IT costs with increasing intensity of CS-renting (the peak falls on 15 cars in the network, when the load on IT is the greatest) and, accordingly, to an increase in PT costs. It can be assumed that at an intensity of 15 cars rented per hour, competition with IT is the greatest.

3. Finally, we consider a hypothetical case of a deliberately low tariff of 180 rub. per hour. The simulation results are shown in Pic. 7.

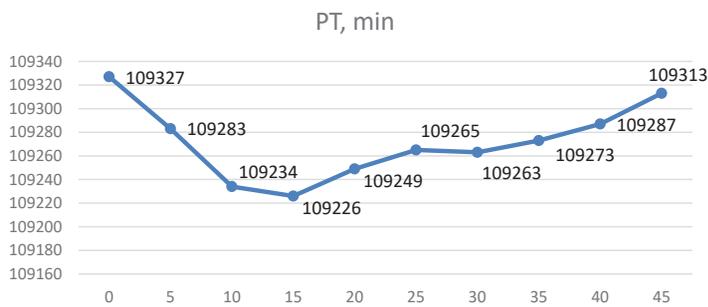
With the increase in the number of CS-cars, there is a tendency to decrease in IT time-related



Pic. 5. Time-related costs for IT and PT depending on the number of CS-cars.



Pic. 6. Time-related costs depending on intensity of CS-renting for IT and PT.



costs and to increase in PT costs (since car sharing is included in the PT system). In addition, the percentage of citizens who previously used other types of PT but can now also use car sharing grows. Again, a traditional PT may be required to get to the CS-car parking lot. As a result of the calculations, the program generates correspondence matrices and the total demand for IT and PT. If we consider costs of IT with a critical number

of CS-auto (20 pcs., Pic. 5), then the possible gain in IT costs relative to a system without car sharing is defined as $(41226 - 35580) / 41226 \cdot 100\% = 14\%$.

Activity of car sharing service in St. Petersburg

Table 1 shows a list of areas with population data, as well as the number of CS-cars. As the information about rented cars is missing (statistics that may be tracked by company services), in this



Pic. 7. Trends of dependence of time-related costs for IT and PT depending on the number of CS-cars.



Table 1

Number of rented cars per city districts

No.	District	Number of residents	Free at 02:00 a.m.	Free at 10:00 a.m.	- departed, + arrived	Total rented (morning)	Ratio of CS-cars and adjusted number of residents ¹	Ratio of rented CS-cars and adjusted number of residents ²
1	Kurortny	78131	12	8	-4	4	51	8
2	Vyborgsky	518709	27	61	34	34	339	55
3	Primorsky	568516	121	103	-18	18	371	60
4	Kronshadttsky	44321	12	2	-10	10	29	5
5	Vasileostrovsky	208713	38	48	10	10	136	22
6	Petrogradsky	131356	8	26	18	18	86	14
7	Kalininsky	533597	256	142	-114	114	348	57
8	Krasnogvardeisky	357498	30	50	20	20	233	38
9	Admiralteisky	161911	18	25	7	7	106	17
10	Central	216939	3	18	15	15	142	23
11	Kirovsky	336248	76	109	33	33	220	36
12	Moskovsky	354525	127	124	-3	3	231	38
13	Frunzensky	394972	27	79	52	52	258	42
14	Nevsky	527861	234	121	-113	113	345	56
15	Petrodvortsovy	143154	18	2	-16	16	93	15
16	Krasnoselsky	397609	115	50	-65	65	260	42
17	Pushkinsky	217983	34	4	-30	30	142	23
18	Kolpinsky	191847	17	7	-10	10	125	20
TOTAL:		5383890	1173	979		572	3515	571

¹ The next to last column which is the ratio of the number of the residents of a district to the total city population multiplied by total number of CS-cars (according to operators' data) shows how many cars could be in the considered district. For example, for Kurortny district it is equal to $78131/5383890 \cdot 3515 = 51$.

² The last column is calculated in the same way but regarding the number of CS-cars really rented. For example, for Kurortny district it is calculated as $78131/5383890 \cdot 572 = 8$.

example, we have to focus on a map of free CS-cars of all city operators [14].

The actual number of free CS-cars in the city according to the data at 2 a.m. on weekdays is approximately 1173 cars. Apparently, the rest of 3515 cars making CS-fleet are either not on the move or rented around the clock. In the morning on a weekday at 10 a.m., 979 free cars were tracked. It should be stipulated that these are data concerning only morning trips to job locations,

which, of course, do not cover all possible trips during the day.

For Petrodvortsovy district there were 18 free CS-cars at 2 a.m. At 10 a.m. after some cars left, and some other cars arrived, there were two free cars, that is, 16 cars were rented, which coincides with the ratio calculated in the last column of the Table 1. This value is close to the simulation results considering current operator's tariffs (20 CS-cars in the area, which are rented with an intensity of 15 cars/hour).

The table also shows where and how many CS-cars arrive for job purposes and which areas they leave. The table also shows that the entire Petrodvortsovy district should account for $143154/1530 = 93$ CS-cars. The percentage of really rented cars is $16/93 = 0,17$. For comparison, Nevsky district has almost the same rate $56/345 = 0,16$. At Peterhof, taking into account the number of inhabitants there should be on average $82940/1530 = 54$ CS-cars, and in fact there are no more than 20 cars. Thus, it is possible to evaluate the activity of car sharing in Peterhof relative to the average value in the city with a coefficient of $16/54 = 0,3$. The above estimates and coefficients, of course, do not pretend to be a full-fledged statistical study, but show trends.

The most promising areas for introducing new services are districts on the borders of the city, as there is a potential demand on the trips towards large interchange nodes, for instance from Petrodvortsovy district to Krasnoselsky or Kirovsky district, where the user can transfer to the PT, especially to take metro, and continue on to the destination.

The actual number of CS-cars in St. Petersburg is within the range of calculated values indicated in Table 1, and that confirms the sufficient provision of the city with car sharing service. However, this does not mean that the quantity of the CS-cars will not increase, since each company seeks to occupy a key place in the city, increasing the level of service, particularly by renewal of vehicles, updating of car models, and by gradually removing old models. Also, new and small companies start operations in several city districts and seek to increase areas covered.

Conclusions. The article has determined car sharing development conditions and forecasts for the city of St. Petersburg. Simulation based on gravity modelling was performed for Petrodvortsovy district, that allowed to note positive effect of the existing car sharing system on the development of transport system, to suggest quantitative estimates of the number of CS-cars and their rental intensity, particularly regarding their influence on competition with IT. The estimates found are consistent with the actual data on car rental.

The effect of introduction of intelligent transport systems to reduce travel time, according to Rosavtodor [Federal Road Agency], can be of 35–40 % [15]. The simulation of car sharing effect showed reduction of travel time by 14 % indicates that car sharing and similar services can significantly complement developed intelligent transport systems with regard to grown transport accessibility for population.

REFERENCES

1. How much do traffic jams cost? [*Skolko deneg stoyat probki na dorogakh?*]. [Electronic resource]: <http://www.ljpoisk.ru/archive/4473433.html>. Last accessed 27.11.2019.
2. The cost of owning a car in the Russian Federation turned to be higher than in England [*Stoimost' vladeniya avtomobilem v RF okazalas' vyshhe chem v Anglii*]. [Electronic resource]: <https://quto.ru/journal/news/stoimost-vladeniya-avtomobilem-v-rf-okazalas-vyshe-chem-v-anglii-25-12-2019.htm>. Last accessed 27.11.2019.
3. Car sharing in St. Petersburg: prospects, plans and advice to competitors [*Karshering v Sankt-Peterburge: perspektivy, plany i sovetny konkurentam*]. [Electronic resource]: <https://carshering.club/karshering-v-sankt-peterburge-perspek/>. Last accessed 27.11.2019.
4. News of car sharing 2019 [*Novosti karsheringa 2019*]. [Electronic resource]: <https://carsharing-blog.ru/karshering-v-sankt-peterburge/>. Last accessed 27.11.2019.
5. The growth of cars registered in St. Petersburg in 2017 broke a seven-year record [*Rost zaregistririvannykh v Peterburge v 2017 godu mashin pobil semiletniy rekord*]. [Electronic resource]: <https://78.ru/news/2017-12-28/rost-zaregistririvannykh-v-peterburge-v-2017-godu-mashin-pobil-semiletniy-rekord>. Last accessed 27.11.2019.
6. It seems that Moscow car sharing has become the world leader in fleet. Almost 24 thousand cars [*Pokhozhe, moskovskiy karshering stal mirovym liderom po avtoparku. Pochti 24 tysyachi mashin*]. [Electronic resource]: <https://truesharing.ru/tp/19274/>. Last accessed 27.11.2019.
7. How the car-sharing market in Moscow turned out to be the fastest growing [*RBC. Kak rynek karsheringa v Moskvu okazalsya samym bystrorastushchim*]. [Electronic resource]: https://www.rbc.ru/technology_and_media/27/09/2018/5bab94a69a79474169e307c1. Last accessed 27.11.2019.
8. The official website of the company A + C «Transproject» [*Ofitsialniy sait kompanii A + C «Transproekt»*]. [Electronic resource]: http://apluss.ru/activities/programmnye_produkty. Last accessed 27.11.2019.
9. Federal State Statistics Service. Passport of the municipality. [Electronic resource]: http://www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/table.aspx?opt=403950002018. Last accessed 27.11.2019.
10. Yakimov, M. R. Transport planning: Creating transport models of cities: Monograph [*Transportnoe planirovanie: Sozdanie transportnykh modeli gorodov: Monografiya*]. Moscow, Logos publ., 2013, 188 p.
11. No exemptions. Why car sharing in St. Petersburg is developing more slowly than in Moscow [*Bez l'got. Pochemu karshering v Peterburge razvivaetsya medlennee, chem v Moskvu*]. [Electronic resource]: https://www.dp.ru/a/2018/11/16/Bez_lgot__Pochemu_karsheri. Last accessed 27.11.2019.
12. Comparing car sharing and taxi: which is more profitable, more comfortable [*Sravnivaem karshering i taksi: chto vygodnee, komfortnee*]. [Electronic resource]: <https://passazhiram.ru/avtomobili/karshering/ili-taksi.html>. Last accessed 27.11.2019.
13. The official website of the Delimobil operator [*Ofitsialniy sait operatora «Delimobil»*]. [Electronic resource]: <https://delimobil.ru/spb/index>. Dostup 27.11.2019.
14. Where is better car sharing. Map of free cars [*Gde luchshe karshering. Karta svobodnykh avtomobilei*]. [Electronic resource]: <https://carsharing.gde-luchshe.ru/map>. Last accessed 27.11.2019.
15. Expected results of implementation of intelligent transport systems [*Ozhidaemye rezultaty vnedreniya intellektualnykh transportnykh sistem*]. [Electronic resource]: <https://studwood.ru/916212/ekonomika/ozhidaemye-rezultaty-vnedreniya-intellektualnyh-transportnyh-sistem>. Last accessed 27.11.2019.





Факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп»



Нина КОВАЛЕНКО



Александр БОРОДИН



Кирилл ТАРАСОВ

*Коваленко Нина Александровна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Бородин Александр Андреевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Тарасов Кирилл Александрович – Центральная дирекция управления движением – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия*.*

В настоящее время на сортировочных путях железнодорожных станций ОАО «РЖД» в качестве средств, предотвращающих выход подвижного состава за пределы их полезной длины в противоположную от сортировочной горки сторону, используются «барьерные группы» вагонов. Необходимость использования «барьерных групп» была вызвана рядом факторов, присущих большинству российских железнодорожных сортировочных станций, в частности: наличием на путях подгорочных парков элементов продольного профиля с ускоряющими уклонами, значительными величинами распускаемых отцепов, неблагоприятными климатическими и погодными условиями. В связи с применением на практике эмпирического метода определения величины «барьерных групп» вагонов в совокупности с анализом допущенных случаев нарушения безопасности движения потребовалась разработка научно-обоснованного метода определения необходимости формирования «барьерных групп».

Целью исследования является выявление закономерностей и факторов, влияющих на принятие решения о необходимости формирования «барьерной группы» вагонов на конкретном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути, а также на величину и норму закрепления «барьерной группы». Использовались методы статистического анализа и математического моделирования.

Результаты исследований, приведенные в настоящей статье, нашли отражение в нормативных документах ОАО «РЖД», в частности, в Методике определения величины «барьерных групп»

вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп» [1].

В статье приводится анализ действующей технологии по формированию «барьерных групп» на путях сортировочных и сортировочно-отправочных парков, вводится определение понятия «барьерная группа». Предлагается поэтапная модель определения необходимости формирования «барьерных групп» на свободных сортировочных путях до начала роспуска, расчета величины и норм закрепления «барьерных групп». Установлены критерии расчета с учётом удерживающей способности «барьерных групп» и массы скатывающихся отцепов. Приводятся примеры расчета для конкретных сортировочных станций (на примере ОАО «РЖД»). Определены основные влияющие факторы на величину и нормы закрепления «барьерных групп». Определены зависимости максимально допустимой скорости выхода отцепов с парковой тормозной позиции от средней осевой нагрузки вагонов в отцепе при отсутствии ветра и при попутном ветре, а также нормы закрепления вагонов «барьерной группы» от массы максимального отцепов и величины уклона.

Научно-обоснованный расчёт потребной величины «барьерной группы» и нормы её закрепления тормозными башмаками позволит повысить безопасность движения за счёт предотвращения случаев выхода подвижного состава за пределы полезной длины путей.

Ключевые слова: железная дорога, безопасность движения, сортировочная станция, управление движением, сортировочный процесс, заграждающие средства, барьерная группа, сортировочный путь, нормы закрепления, профиль пути, уклон, роспуск вагонов.

*Информация об авторах:

Коваленко Нина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, nina-alex-kov@mail.ru.

Бородин Александр Андреевич – студент Российского университета транспорта, Москва, Россия, borodinups@gmail.com.

Тарасов Кирилл Александрович – начальник технологической службы Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, tarasovka@center.rzd.ru.

Статья поступила в редакцию 24.04.2019, принята к публикации 17.11.2019.

For the English text of the article please see p. 250.

На железнодорожных поездообразующих станциях расформирование-формирование составов поездов осуществляется на сортировочных устройствах, использующих различные принципы торможения вагонов с использованием вагонных замедлителей и (или) тормозных башмаков. Технические возможности железнодорожных станций по расформированию-формированию поездов во многом зависят от полезной длины путей подгорочных парков, их профиля и плана, а также от характеристик и аэродинамических свойств скатывающихся отцепов.

Согласно требованиям действующих в России нормативно-технических документов пути подгорочного парка горок большой, средней и малой мощности должны оборудоваться заграждающими средствами [2–4]. Однако анализ текущей ситуации показывает, что на ряде сортировочных станций профиль путей подгорочных парков не соответствует нормативным требованиям, а заграждающие средства на них отсутствуют. В результате в процессе роспуска вагонов с горки, особенно при неблагоприятных погодных условиях, сохраняется риск возникновения таких опасных событий, как выход вагонов за пределы полезной длины путей, взрез стрелок, столкновение, образование ползунов. Следствием этого стало постоянное наращивание избыточных ограничений в работе горок, что в свою очередь приводит к снижению их перерабатывающей способности и уменьшению производительности.

В настоящее время в качестве средств, предотвращающих несанкционированный выход подвижного состава за пределы полезной длины путей сортировочного (сортировочно-отправочного) парка в противоположную от горки сторону, в России используются «барьерные группы». Роспуск вагонов с горки и производство маневровой работы толчками на свободные сортировочные (сортировочно-отправочные) пути запрещён до формирования и закрепления на них «барьерных групп» вагонов.

Следует отметить, что зарубежный опыт применения «барьерных групп» на сортировочных станциях отсутствует. Обусловлено это, прежде всего условиями содер-

жания путей подгорочных парков, а также применением высокотехнологичных автоматизированных систем [5], в связи с чем необходимость в использовании «барьерных групп» отпадает.

На практике величина и масса «барьерной группы» вагонов, а также количество тормозных башмаков, укладываемых для её закрепления, определяется, как правило, эмпирическим путём на основе наблюдений и личного опыта руководителей конкретной станции, а также анализа допущенных случаев выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных (сортировочно-отправочных) путей на других железнодорожных станциях (в рассматриваемых случаях ОАО «РЖД»). Однако эмпирический подход не позволяет учесть все возможные сочетания неблагоприятных факторов, что может привести к возникновению событий, связанных с нарушением безопасности движения.

С другой стороны, использование «барьерных групп» необоснованно завышенной величины приводит к дополнительным простоям сортировочных горок, а также к непроизводительным потерям и снижению их перерабатывающей способности.

Целью исследования является выявление закономерностей и факторов, влияющих на процесс расформирования-формирования поездов, в частности, принятие решения о необходимости формирования «барьерной группы» вагонов на конкретном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути до начала роспуска, а также на величину и норму закрепления «барьерной группы». С этой целью авторами с использованием методов статистического анализа и математического моделирования была разработана модель определения величины «барьерных групп» вагонов и расчёта норм их закрепления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На кафедре «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта разработана математическая модель определения величины «барьерных групп» вагонов и расчёта норм их закрепления.

Анализ действующих нормативных документов показал, что термин «барьер-



ная группа» ранее не был однозначно определён, поэтому авторами было введено следующее определение понятия «барьерная группа»: «Барьерная группа» — группа вагонов, устанавливаемая и закрепляемая тормозными башмаками перед началом расформирования состава на путях сортировочного (сортировочно-отправочного) парка, предназначенная для предотвращения самопроизвольного выхода подвижного состава за пределы полезной длины пути в сторону, противоположную сортировочной горке, или места разъединения отцепов в условиях производства манёвров одиночными толчками.

Математические методы, используемые в разработанной модели, позволяют решить следующие основные задачи:

- определить условия, при соблюдении которых отсутствует необходимость использования «барьерных групп» и их размещения на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях перед роспуском;
- определить минимально необходимую величину «барьерной группы» для обеспечения её удерживающей способности, позволяющей при соединении с максимальным отцепом со скоростью не более 5 км/ч обеспечить смещение («юз») объединённой группы вагонов не более чем на заданную величину [3];
- определить потребное количество тормозных башмаков для закрепления вагонов «барьерных групп» при различном сочетании основных влияющих факторов (масса и состав «барьерной группы», место её расположения, погодные и другие условия);
- при выполнении расчётов учитывать климатические особенности района расположения железнодорожной станции и следующие режимы её работы: обычный и экстремальный (при неблагоприятных погодных условиях), а также особые условия (замазученность, штормовой ветер).

Расчёт выполняется в два этапа.

Первый этап — определение необходимости формирования «барьерной группы» на конкретном сортировочном пути.

Для выполнения математического моделирования используются следующие исходные данные:

- поэлементный профиль сортировочного (сортировочно-отправочного) пути;
- максимально допустимое количество вагонов в скатывающемся отцепе, определяемое согласно станционной документации (Инструкции по работе сортировочной горки) [6; 7];
- максимальная масса скатывающегося отцепа;
- средняя осевая нагрузка вагонов в скатывающемся отцепе;
- основное удельное сопротивление движению и ветровая нагрузка на подвижной состав с учётом его аэродинамических свойств.

Согласно принятым критериям расчёта, в использовании «барьерных групп» на пути накопления нет необходимости при выполнении следующих условий:

- отцеп максимальной массы, выходя с парковой тормозной позиции со скоростью не выше расчётной¹, остановится до контрольной точки, расположенной в месте укладки первого со стороны горки ограждающего тормозного башмака или на расстоянии не менее $l_{об2} \geq 95$ м от границы полезной длины пути в выходной горловине парка в сторону сортировочной горки;
- полученное расчётное значение скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не менее величины, установленной с учётом мощности тормозных средств (указанных в паспортах устройств, применяемых на горке, и учитываемых при расчёте максимальной длины отцепа) [8].

Если не обеспечивается выполнение указанных требований, запрещается осуществлять роспуск вагонов на рассматриваемый путь до формирования и закрепления на нём «барьерной группы» вагонов.

Второй этап — определение величины «барьерной группы» вагонов и нормы её закрепления тормозными башмаками на конкретном пути сортировочного (сортировочно-отправочного) парка.

В качестве исходных данных используются параметры, оказывающие наибольшее влияние на рассчитываемые величины:

¹ Расчётная — максимально допустимая скорость выхода отцепа максимальной массы с парковой тормозной позиции, при которой его кинетическая энергия может быть полностью погашена за счёт сил сопротивления движению [9; 10], в результате чего отцеп остановится до контрольной точки.

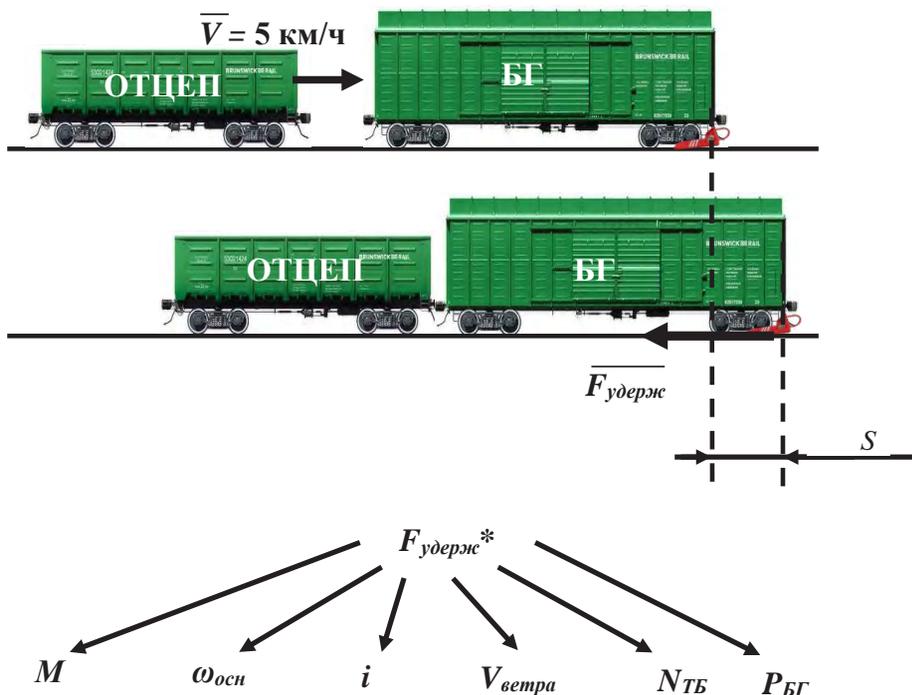


Рис. 1. Схема взаимодействия распускаемого отцепа и «барьерной группы».

- 1) специализация парка (сортировочный или сортировочно-отправочный);
- 2) полезная длина сортировочного (сортировочно-отправочного) пути;
- 3) максимальное количество вагонов в скатывающемся отцепе;
- 4) соотношение гружёных/порожних вагонов в назначении, накапливаемом на рассматриваемом сортировочном пути (гружёные и порожние; только порожние);
- 5) максимальная норма закрепления смешанного подвижного состава на рассматриваемом пути согласно п. 3.9.1 техническо-распорядительного акта (ТРА) [6];
- 6) длина составов, накапливаемых на данном пути.

С учётом того, что «барьерная группа» должна удерживать отцеп максимального веса в пределах полезной длины сортировочного (сортировочно-отправочного) пути, её величина определяется из условия: отцеп при подходе к стоящим на пути и закреплённым тормозными башмаками вагонам «барьерной группы» со скоростью 5 км/ч не вызывает её смещения более чем на заданное расстояние [2; 4; 11].

Разработанный математический аппарат позволяет определить величину «барьерной группы» вагонов и норму её закрепления тормозными башмаками (с уточнением на погодные условия) с учётом максимальной массы распускаемого отцепа, основного удельного сопротивления движению вагонов «барьерной группы», уклона места расположения «барьерной группы», скорости и направления ветра, количества тормозных башмаков, которыми закреплена «барьерная группа», а также средней осевой нагрузки закрепляемых вагонов [12] (рис. 1).

Приведём примеры использования разработанной математической модели как для решения практических задач, так и для выполнения научных исследований.

Пример 1. Обоснование условий, при соблюдении которых нет необходимости использования «барьерных групп» (сортировочный путь № 53 станции Агрыз).

Исходные данные:

- 1) поэлементный профиль сортировочного пути от парковой тормозной позиции до предельного столбика, расположенного



Результаты расчёта предельно допустимой скорости выхода максимального отцепа с парковой тормозной позиции при обычном режиме работы станции Агрыз

№ участка	Путь № 53				
	Уклон, ‰	Длина, м	Расстояние за парковой ТП, м	$V_{н}$, км/ч	$V_{к}$, км/ч
1	2,2	50	50	6,50	2,84
2	-1,8	50	100	2,84	4,85
3	-0,4	50	150	4,85	4,61
4	0,4	50	200	4,61	3,06
5	-0,4	50	250	3,06	2,67
6	-0,4	50	300	2,67	2,20
7	-0,8	50	350	2,20	2,73
8	-1,4	50	400	2,73	4,19
9	-0,6	50	450	4,19	4,23
10	-0,4	50	500	4,23	3,99
11	-0,8	50	550	3,99	4,35
12	-1,2	50	600	4,35	5,18
13	-1	50	650	5,18	5,70
14	-0,4	50	700	5,70	5,53
15	-0,2	50	750	5,53	5,11
16	0,2	50	800	5,11	4,09
17	0,8	50	850	4,09	0,00
18	0,2	50	900	—	—
19	-3,4	50	950	—	—



Рис. 2. Зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции от средней осевой нагрузки вагонов в отцепе при скорости ветра $VB = 0$ м/с.

в выходной горловине сортировочного парка (приведён в таблице 1);

2) максимальная длина отцепа, установленная в Инструкции по работе горки, составляет для станции Агрыз (механизованная горка) — 28 вагонов;

3) масса максимального отцепа 2800 т;

4) контрольная точка расположена на расстоянии 95 м до предельного столбика в выходной горловине парка в сторону

сортировочной горки, то есть в конце участка № 17.

В результате расчётов установлено, что при обычном режиме работы станции Агрыз нет необходимости в создании «барьерной группы» на сортировочном пути № 53 при условии, что скорость выхода с парковой тормозной позиции первого отцепа, направляемого на указанный путь, не превышает 6,5 км/ч.

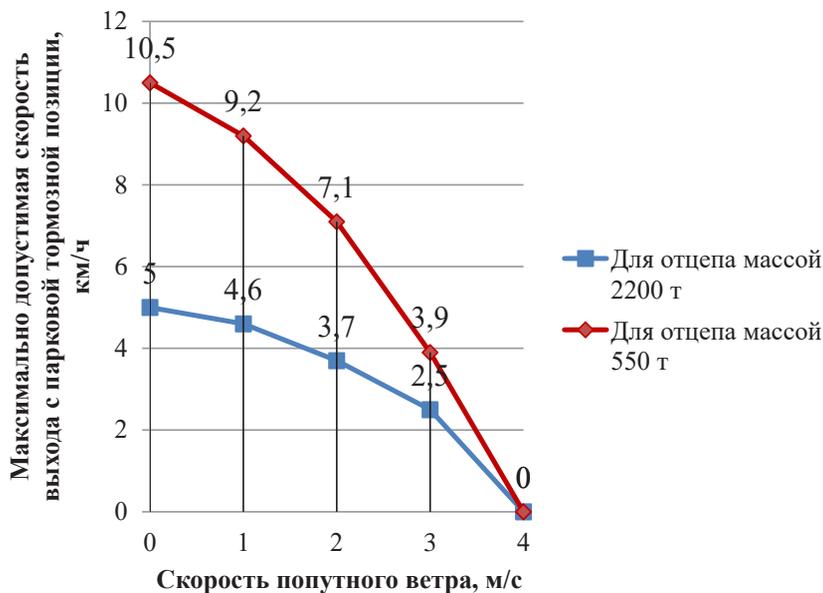


Рис. 3. Зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции от скорости попутного ветра. Примечание: 550 т – расчётная масса отцепа из 22 порожних вагонов; 2200 т – расчётная масса из 22 гружёных вагонов.

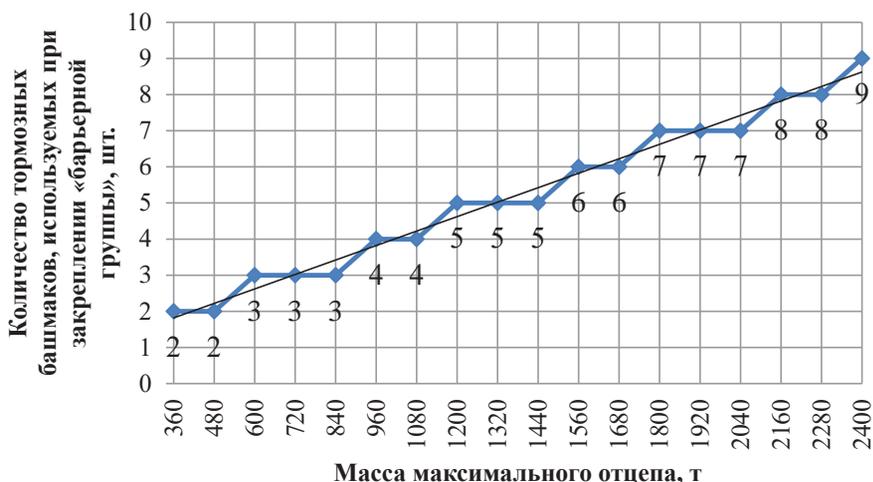


Рис. 4. Зависимость нормы закрепления вагонов «барьерной группы» от массы максимального отцепа.

Пример 2. Оценка необходимости применения «барьерной группы» вагонов с расчётом её величины и нормы закрепления (сортировочный путь № 23 станции Екатеринбург-Сортировочный).

При выполнении расчётов использован поэлементный профиль пути и следующие исходные данные:

1) максимальная величина отцепа, выпускаемого на свободный путь – 22 усл. вагона;

2) максимальная масса скатывающегося отцепа – 2200 т;

3) средний уклон сортировочных путей от парковой тормозной позиции до места расположения «барьерной группы» – 0,7‰;

4) полезная длина сортировочного пути № 23 – 948 м или 67 усл. ваг.;

5) максимальное допустимое смещение «барьерной группы» – 10 м.

По результатам моделирования установлены зависимости, приведённые на рис. 2–6.

На рис. 2 приведена зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа из 22 вагонов с парковой тормозной



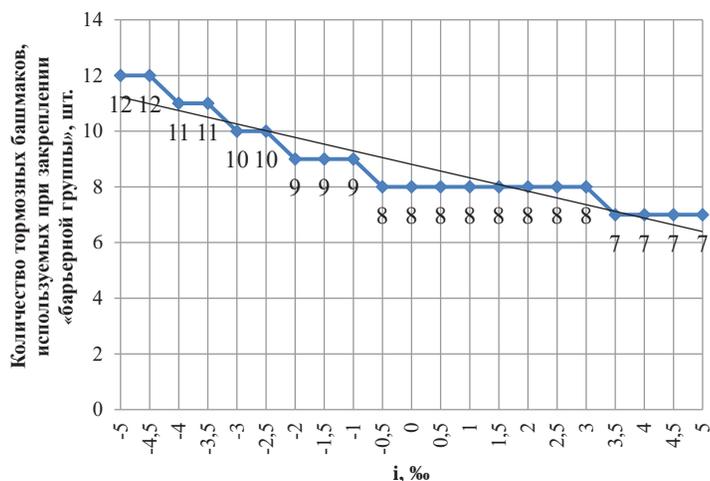


Рис. 5. Зависимость нормы закрепления «барьерной группы» от величины уклона (i), на котором она располагается (пример для отцепа из 22 гружёных вагонов с осевой нагрузкой 25 т/ось).

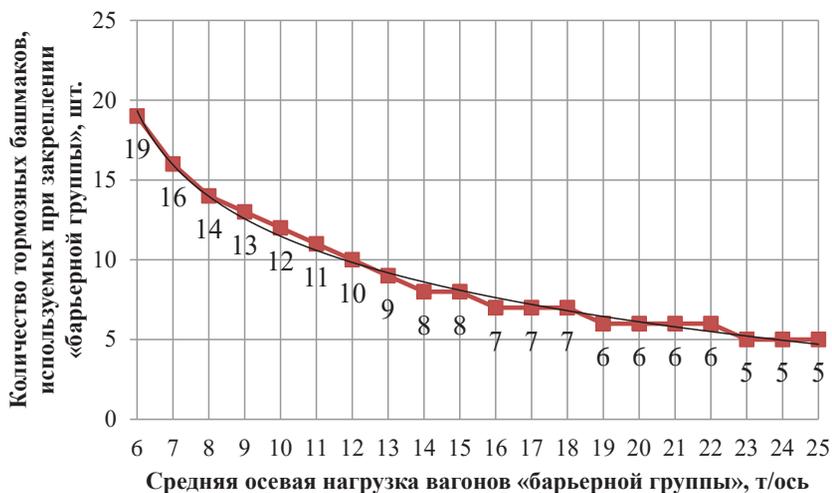


Рис. 6. Зависимость нормы закрепления «барьерной группы» от величины средней осевой нагрузки вагонов «барьерной группы» (для отцепа массой 2200 т).

позиции, при которой отпадает необходимость использования «барьерной группы», от средней осевой нагрузки вагонов в отцепа.

На рис. 3 показана зависимость максимальной допустимой скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции от скорости попутного ветра.

Анализ зависимостей, приведённых на рис. 3, позволяет сделать вывод о том, что на сортировочном пути № 23 станции Екатеринбург-Сортировочный как гружёный, так и порожний отцеп из 22 вагонов при скорости попутного ветра более 3 м/с не смогут самостоятельно остано-

виться у контрольной точки. В этом случае на пути требуется установка и закрепление «барьерной группы» вагонов.

По результатам многофакторного математического моделирования установлено, что основное влияние на величину и норму закрепления «барьерной группы» оказывают следующие факторы:

- максимальная масса отцепа, величина которого установлена в Инструкции по работе горки [6; 7] (рис. 4);
- уклон места расположения «барьерной группы» (рис. 5);
- средняя осевая нагрузка вагонов в «барьерной группе» (рис. 6).

В результате выполненных расчётов для сортировочного пути № 23 станции Екатеринбург-Сортировочный установлено:

- перед роспуском вагонов на пути должна быть сформирована «барьерная группа» величиной не менее пяти гружёных вагонов (при её формировании из гружёных вагонов с осевой нагрузкой не менее 15 т/ось);
- «барьерная группа» располагается на уклоне $i = 0,2\%$ на расстоянии 100 м от предельного столбика в выходной горловине сортировочного парка;
- для закрепления «барьерной группы» при благоприятных погодных условиях используется восемь тормозных башмаков, при неблагоприятных погодных условиях (скорость попутного ветра более 15 м/с) «барьерная группа» закрепляется девятью тормозными башмаками;
- при полезной длине пути № 23 равной 948 м (67 усл. ваг.) и величине «барьерной группы» до пяти вагонов на пути целесообразно накапливать и формировать составы до 58 условных вагонов. В этом случае «барьерная группа» может формироваться в процессе накопления состава и после его выставки оставаться на сортировочном пути, что не приведёт к существенному снижению перерабатывающей способности горки.

ВЫВОД

Научное обоснование необходимости использования «барьерных групп» для установки их перед роспуском на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях железнодорожных станций, с расчётом потребной величины «барьерной группы» и нормы её закрепления тормозными башмаками в зависимости от длины и профиля конкретных путей, метеоусловий, веса и длины отцепов, позволит повысить безопасность движения при поездной и маневровой работе за счёт предотвращения случаев выхода вагонов за пределы полезной длины путей.

Формирование «барьерных групп» вагонов на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях перед роспуском для гарантированного обеспечения безопасности движения неизбежно влечёт за

собой снижение перерабатывающей способности сортировочных горок. Добиться уменьшения издержек перерабатывающей способности сортировочных станций в условиях необходимости формирования «барьерных групп» возможно путем оптимизации некоторых расчетных критериев [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп», утверждённая Распоряжением ОАО «РЖД» от 2 февраля 2018 г. № 102р.
2. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств колеи 1520 мм, утверждённые заместителем Министра путей сообщения Российской Федерации 10.10.2003 г.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286 (в редакции от 09.02.2018 г.).
4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.09.2017 г. № 1871р «Об утверждении Порядка определения возможности производства роспуска и перестановки вагонов через горб сортировочной горки при отсутствии проектной документации».
5. Шабельников А. Н., Иванченко В. Н. Зарубежные системы автоматизации сортировочных горок // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 3. – С. 45–48.
6. Распоряжение ОАО «РЖД» от 13.04.2017 г. № 711р «О разработке, согласовании и утверждении технически-распорядительных актов станций и приложений к ним в ОАО «РЖД».
7. Распоряжение ОАО «РЖД» от 01.04.2013 г. № ЦД-49/р «Об утверждении Инструкции по расчёту максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках».
8. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.01.2018 г. № 55р «Об утверждении технических требований на системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики сортировочных горок».
9. Бутиков Е. И., Кондратьев А. С. Физика: Учеб. пособие. Кн. 1. Механика. – М.: Физматлит, 2004. – 352 с.
10. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона: Учебник для вузов / Под ред. С. В. Вершинского. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
11. Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта», утверждён постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.2010 г. № 525.
12. Коваленко Н. А., Бородин А. А., Ефимов Р. А. Разработка методов расчёта величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и норм их закрепления // Труды XVIII Всероссийской научно-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – 2017. – VIII-9.
13. Коваленко Н. А., Бородин А. А. Применение новых критериев расчёта при определении необходимости формирования барьерных групп // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 15–17.





Factors Determining the Size and Norms for Securing Barrier Wagon Groups



Nina A. KOVALENKO



Alexander A. BORODIN



Kirill A. TARASOV

*Kovalenko, Nina A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Borodin, Alexander A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
Tarasov, Kirill A., JSC Russian Railways, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

Currently, barrier wagon groups are used on the sorting tracks of railway stations as means to prevent rolling stock from moving beyond their useful length to the opposite side from the hump yard. The reasons to use barrier wagon groups are explained by some factors that are present at most Russian railway marshalling stations and comprise elements of longitudinal profile with accelerating grade on the tracks of hump yards, significant length of sets of uncoupled wagons, unfavorable weather and climatic conditions.

Following use of the empirical method for determining the size of barrier wagon groups and cases of traffic safety violation it was necessary to develop a scientifically sound method for determining the need for formation of barrier wagon groups.

The objective of the study is to identify patterns and factors affecting the decision-making on formation of a barrier wagon group on a particular classification track (classification-departure track), as well as on the size and securing of the barrier wagon groups. The research used methods of statistical analysis and mathematical modelling.

The results of the research were reflected in regulatory instruments of the JSC Russian Railways, particularly in the Procedure to determine the size of barrier wagon groups to be placed on the free tracks of

classification yards before train disassembling and to calculate the norms for securing barrier wagon groups [1].

The article provides an analysis of the current technology for formation of barrier wagon groups on the tracks of classification and classification & departure yards, as well as the definition of the term of barrier wagon group. A phased model is proposed for determining the need for formation of barrier wagon groups on free classification tracks before train disassembling, as well as of calculation of the size and norms for securing barrier wagon groups. Calculation criteria are established considering the holding capacity of a barrier wagon group and the mass of rolling wagons. Examples of calculations for specific marshalling stations are given (using examples of JSC Russian Railway). The main factors influencing the size and norms for securing barrier wagon groups were determined. The dependences of the maximum allowable speed of leaving yard brake position on the average axial load of the wagons in the absence of wind and with a fair wind, as well as of the norms for securing barrier wagon group on the maximum mass of the classified set of wagons and grade rate.

A scientifically based calculation of the required size of the barrier wagon group and the norms of its securing with stop-blocks (brake shoes) will allow to increase traffic safety by preventing the exit of rolling stock outside the track useful length.

Keywords: railway, traffic safety, marshalling station, traffic control, classification process, blocking means, barrier wagon group, classification track, norms of securing, track profile, grade.

*Information about the authors:

Kovalenko, Nina A. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Operational Work and Transport Safety Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, nina-alex-kov@mail.com.

Borodin, Alexander A. – student of Russian University of Transport, Moscow, Russia, borodinups@gmail.com.

Tarasov, Kirill A. – Head of the Technological Service of Central Directorate of Traffic Management, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, tarasovka@center.rzd.ru.

Article received 24.04.2019, accepted 17.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 242.

At railway stations where the trains are formed, train formation and disassembling is carried out with the help of different sorting facilities using various principles of wagon braking with the use of wagon retarders and (or) brake shoes. The technical capacity of railway stations to form or disassemble trains largely depends on the track useful length of hump yards, their profile and plan, as well as on the characteristics and aerodynamic properties of rolling sets of wagons.

According to the requirements of the current regulatory and technical documents in Russia, tracks of the hump yard of gravity humps of large, medium, and low capacity should be equipped with blocking means [2–4]. However, the analysis of the current situation shows that at several marshalling stations, the profile of tracks of hump yard yards does not comply with regulatory requirements, and there are no blocking means on them. As a result, during disassembling of trains using the hump, especially under adverse weather conditions, there remains a risk of such dangerous events as wagons moving outside the track useful length, a shot of a switch, a collision, formation of one-side sliders. This resulted in constant buildup of excessive restrictions on operation of humps, which in turn leads to a decrease in their processing capacity and to a decrease in productivity.

Currently, barrier wagon groups¹ are used to prevent unauthorized exit of rolling stock beyond the track useful length of the classification (classification & departure track) track in the direction opposite to the hump. The disassembling of trains using the hump and shunting by pushing to free classification (classification and departure) tracks is prohibited until formation of barrier wagon groups on them.

The foreign experience of using barrier wagon groups at marshalling stations is missing. It is explained first by the conditions of maintenance of hump yards, and second by application of high-tech automated systems

¹ The term is specific and should not be confused with barrier wagon which means a wagon used mainly in dangerous goods trains to separate the wagons carrying dangerous goods from other parts of the train. The original Russian term literally reads as «barrier group» sometimes «barrier group of wagons» – *ed. note.*

[5], minimizing the need to use barrier wagon groups.

In practice, the size and weight of the barrier wagon group, as well as the number of stop-blocks (brake shoes²) placed to secure it, are determined, as a rule, empirically based on observations and personal experience of the managers of a particular station, as well as on the analysis of cases of exit of wagons beyond the useful length of classification (classification and departure) tracks at other railway stations of JSC Russian Railways. However, the empirical path does not allow to consider all possible combinations of unfavorable factors, which can lead to the occurrence of events associated with a violation of traffic safety.

On the other hand, the use of barrier wagon groups of unreasonably overestimated size leads to additional downtime for hump yards, as well as to unproductive losses and to a decrease in their processing capacity.

The objective of the study is to identify patterns and factors affecting the decision-making on formation of a barrier wagon group on a particular classification track (classification-departure track), as well as on the size and securing of the barrier wagon groups. The research used methods of statistical analysis and mathematical modelling.

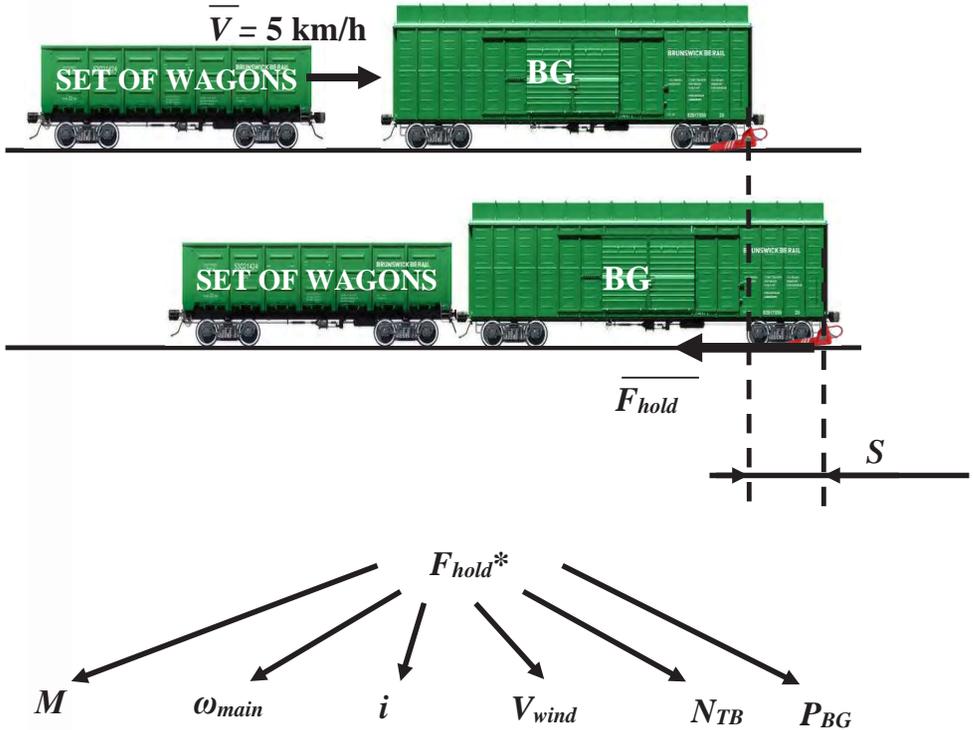
Results.

The department of Operational work and transport safety management of Russian University of Transport has developed a mathematical model to determine the size of the barrier wagon group and to calculate the norms for their securing.

The analysis of the current regulatory documents showed that the term barrier wagon group was not previously unambiguously defined, therefore the authors introduced the following definition of the concept of barrier wagon group: barrier wagon group is a group of wagons installed and secured by brake shoes before starting to disassemble the train on tracks of the classification (classification and departure) yard, designed to prevent spontaneous exit of rolling stock beyond the track useful length to the side opposite to the

² Stop-blocks mean in the context of the article brake shoes placed directly on the rail (not to be confused with brake shoe of the wheel) – *ed. note.*





Pic. 1. Scheme of interaction between the set of wagons being disassembled and barrier wagon group.

hump yard, or to the site of disassembling of wagons if shunting is made by single pushes.

The mathematical methods used in the developed model allow to solve the following main problems:

- to determine the conditions under which there is no need to use barrier wagon groups and place them on free classification (classification & departure) tracks before disassembling.
- to determine the minimum necessary size of the barrier wagon group to ensure its holding (blocking) capacity, which, when fused with the maximum set of wagons at a speed of not more than 5 km/h, ensures displacement («skidding») of the combined group of wagons by no more than a predetermined value [2].
- to determine the required number of brake shoes for securing the wagons of barrier wagon groups with a different combination of the main influencing factors (mass and composition of the barrier wagon group, its location, weather, and other conditions).

- when performing the calculations, to consider the climatic features of the railway station area and the following modes of its operation: normal and extreme (under adverse weather conditions), as well as special conditions (oil contamination, gale).

The calculation is carried out in two stages.

The first stage is determination of the need to form a barrier wagon group on a specific sorting track.

To perform mathematical modelling, the following initial data are used:

- elementwise profile of the classification (classification & departure) track.
- the maximum allowable number of wagons in a rolling set of wagons, determined according to the station documentation (Instructions for operation of the hump yard) [6; 7].
- maximum mass of the rolling set of wagons.
- average axial load of wagons in a rolling set of wagons.

Table 1

Calculation results of the maximum permissible exit speed of the maximum set of wagons from the yard brake position during normal operation of Agryz station

No. sectiona	Track No. 53				
	Slope, ‰	Length, m	Distance behind the yard BP, m	V _n , km/h	V _k , km/h
1	2,2	50	50	6,50	2,84
2	-1,8	50	100	2,84	4,85
3	-0,4	50	150	4,85	4,61
4	0,4	50	200	4,61	3,06
5	-0,4	50	250	3,06	2,67
6	-0,4	50	300	2,67	2,20
7	-0,8	50	350	2,20	2,73
8	-1,4	50	400	2,73	4,19
9	-0,6	50	450	4,19	4,23
10	-0,4	50	500	4,23	3,99
11	-0,8	50	550	3,99	4,35
12	-1,2	50	600	4,35	5,18
13	-1	50	650	5,18	5,70
14	-0,4	50	700	5,70	5,53
15	-0,2	50	750	5,53	5,11
16	0,2	50	800	5,11	4,09
17	0,8	50	850	4,09	0,00
18	0,2	50	900	—	—
19	-3,4	50	950	—	—

- the main specific resistance to movement and wind load on rolling stock, considering its aerodynamic properties.

According to the accepted calculation criteria, the use of barrier wagon groups on the accumulation track is not necessary if the following conditions are met:

- the set of wagons of a maximum mass, leaving the yard brake position at a speed not higher than the calculated one³, will stop at the control point located at the place of laying the first restricting brake shoe or at a distance of at least $l_{OB2} \geq 95$ m from the border of the track useful length in the yard exit neck located towards the hump.

- the calculated value of the set of wagons exit speed from the yard brake position is not

less than the value established taking into account the power of the brake devices (indicated in the passports of devices used on the hump yard and taken into account when calculating the maximum length of the set of wagons) [8].

If the specified requirements are not ensured, it is forbidden to carry out disassembling of wagons on the considered track until formation of the barrier wagon group on it.

The second stage is determination of the size of the barrier wagon group of wagons and the norms for securing it with brake shoes on a particular track of the classification (classification & departure) yard.

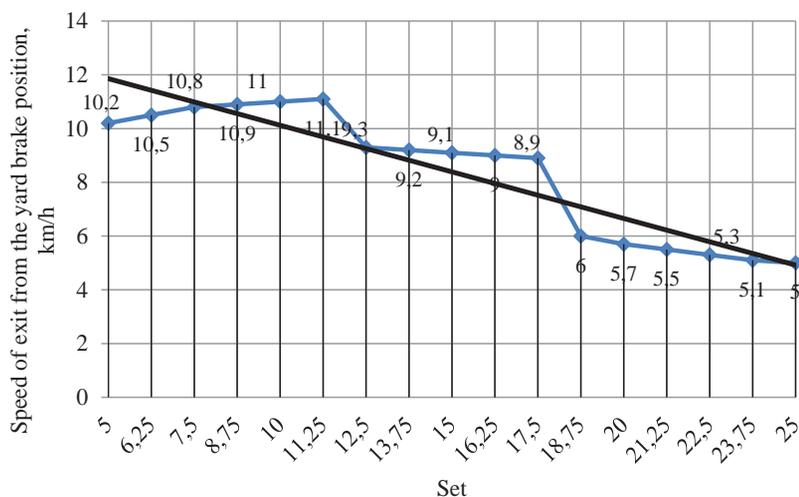
The initial data use the parameters that have the greatest impact on the calculated values:

- 1) specialization of the yard (classification or classification & departure yard);

- 2) useful length of the classification (classification & departure) track;

³ Calculated speed is the maximum allowable exit speed of the set of wagons of the maximum mass from yard brake position, in which its kinetic energy can be fully absorbed due to motion resistance forces [9; 10], as a result of which set of wagons will stop before the control point.





Pic. 2. Dependence of the maximum allowable speed of exit of the set of wagons from the yard brake position on the average axial load of the wagons in the set of wagons at a wind speed of $V_w = 0$ m/s.

3) maximum number of wagons in a rolling set of wagons;

4) ratio of loaded/empty wagons in the target formation accumulated on the considered sorting track (loaded and empty; only empty wagons);

5) maximum rate of securing of mixed rolling stock on the track in accordance with clause 3.9.1 TRA [6];

6) length of train formations accumulated on a given track.

Taking into account the fact that the barrier wagon group must keep the set of wagons of maximum weight within the useful length of the classification (classification & departure) track, its size is determined from the condition that the set of wagons when it is approaching the barrier wagon group located on the track and secured by brake shoes at a speed 5 km/h does not cause its displacement by more than a predetermined distance [2; 4; 11].

The developed mathematical apparatus allows us to determine the size of the barrier wagon group and the norm of its securing by brake shoes (with specification for weather conditions), taking into account the maximum mass of the set of wagons subject to disassembling, the main specific resistance to movement of wagons of the barrier wagon group, the grade in the location of the barrier wagon group, speed and direction of wind, the number of brake shoes that secure the barrier wagon group, as well as the average axial load of the secured wagons [12] (Pic. 1).

Let us suggest some examples of the use of the developed mathematical model both for solving practical problems and for carrying out scientific research.

Example 1. Justification of the conditions under which there is no need to use barrier wagon groups (sorting track No. 53 of Agryz station).

Initial data:

1) an element-by-element profile of the sorting track from the yard brake position to the limit column located in the outbound neck of the classification yard (see Table 1);

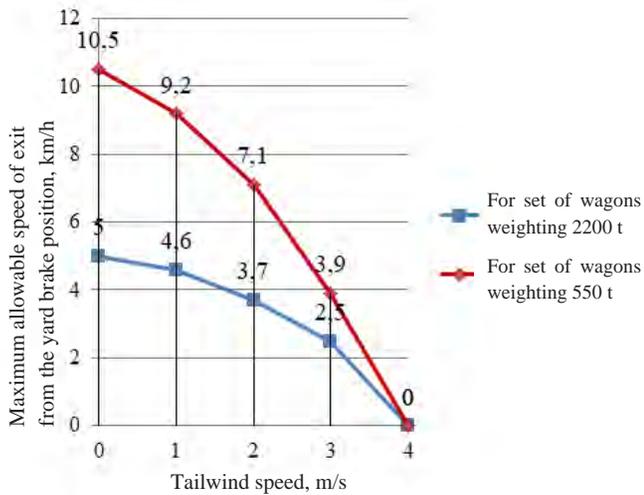
2) maximum length of set of wagons established in the Operating Instructions for the hump yard is 28 wagons for Agryz station (mechanized hump yard);

3) weight of maximum set of wagons is 2800 t;

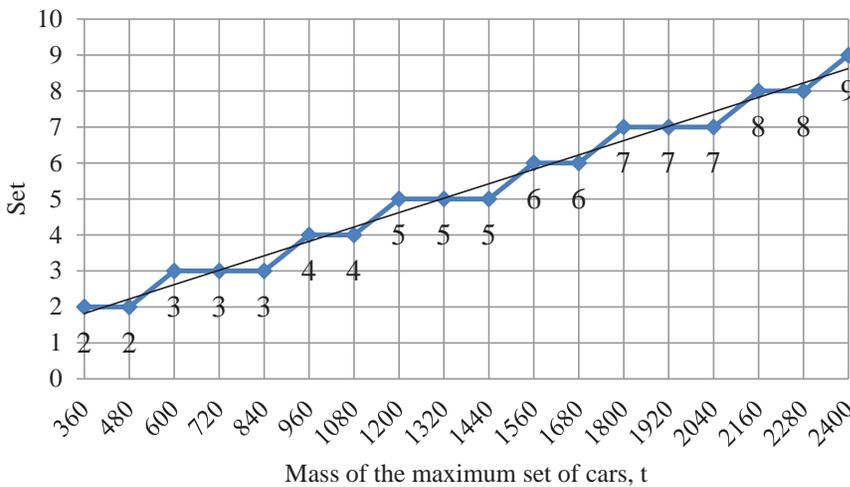
4) the control point is located at 95 m from the limit column in the outbound neck of the yard towards the hump, that is, at the end of section No. 17.

As a result of the calculations, it was found that during normal operation of Agryz station, there is no need to create a barrier wagon group on sorting track No. 53, provided that the speed of exit from the yard braking position of the first set of wagons directed to the specified track does not exceed 6,5 km/h

Example 2. Evaluation of the need to use the barrier wagon group with the calculation of its size and securing norm (sorting track No. 23 of the station Yekaterinburg-Sortirovochny).



Pic. 3. Dependence of the maximum allowable speed of exit of a set of wagons from the yard brake position on tailwind speed. Note: 550 t is estimated weight of the set of 22 empty wagons; 2200 t is estimated weight of 22 loaded wagons.



Pic. 4. Dependence of the norm of securing wagons of the barrier wagon group on mass of the maximum set of wagons.

When performing the calculations, the element-wise track profile and the following initial data were used:

- 1) the maximum size of the set of wagons, disassembled onto a free track: 22 cond. wagons;
- 2) the maximum mass of the rolling set of wagons: 2200 t;
- 3) the average grade of the sorting tracks from the yard brake position to the location of the barrier wagon group: 0,7‰;
- 4) useful length of the sorting track No. 23: 948 m or 67 cond. wagons;
- 5) maximum permissible displacement of the barrier wagon group: 10 m.

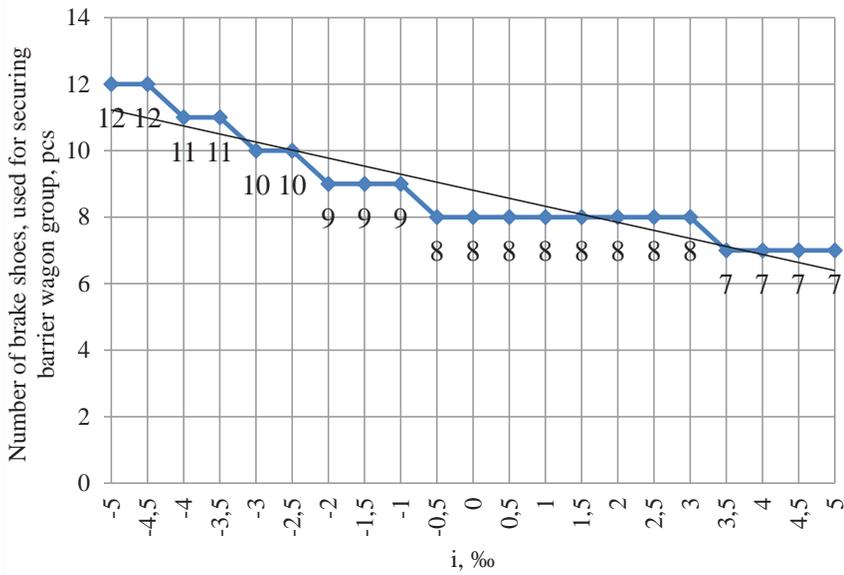
Simulation results resulted in the dependencies shown in Pics. 2–6.

Pic. 2 shows the dependence of the maximum allowable exit speed of a set of 22 wagons from a yard brake position, at which there is no need to use a barrier wagon group, on the average axial load of wagons in a set of wagons.

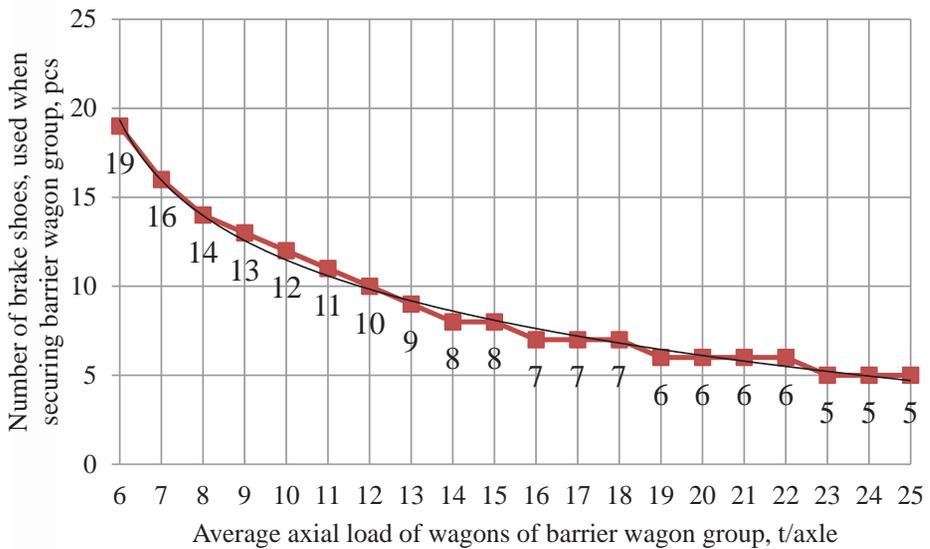
Pic. 3 shows the dependence of the maximum allowable exit speed of the set of wagons from the yard brake position on the tail wind speed.

The analysis of the dependencies shown in Pic. 3, allows us to conclude that on the sorting track No. 23 of Yekaterinburg-Sortirovochny





Pic. 5. Dependence of the norm of securing barrier wagon group on the grade value (i), at the location of barrier wagon group (example for the set of 22 loaded wagons with axial load 25 t/axle).



Pic. 6. Dependence of the norm of securing barrier wagon group on the value of average axial load of wagons of barrier wagon group (for set of wagons weighting 2200 t).

station, both loaded and empty set of 22 wagons with a tail wind speed of more than 3 m/s will not be able to stop at the control point on their own. In this case, installation and securing of the barrier wagon group is required on the track.

According to the results of multivariate mathematical modelling, it was established that the following factors have the main influence on the size and norm if securing of the barrier wagon group:

- the maximum mass of the set of wagons, the value of which is established in the Instructions for operation of the hump yard [6; 7] (Pic. 4);
- the grade at the location of the barrier wagon group (Pic. 5);
- average axial load of wagons in the barrier wagon group (Pic. 6).

As a result of the calculations for the sorting track No. 23 of the station Yekaterinburg-Sortirovochny the following was established:

- before disassembling the train, a barrier wagon group of at least five loaded wagons must be formed on the track (when it is formed from loaded wagons with an axial load of at least 15 t/axle);
- barrier wagon group is located on the grade $i = 0,2\%$ at a distance of 100 m from the limit column in the outbound neck of the classification yard;
- to secure the barrier wagon group under favorable weather conditions, eight brake shoes are used, under adverse weather conditions (tail wind speed of more than 15 m/s), the barrier wagon group is secured by nine brake shoes;
- with a useful length of track No. 23 equal to 948 m (67 conv. wagons) and the size of the barrier group of up to five wagons on the track it is advisable to accumulate and form trains up to 58 conv. wagons. In this case, the barrier wagon group can be formed in the process of accumulation of the train and after it will be shunted barrier wagon group can remain on the sorting track, and that will not lead to a significant reduction in the processing capacity of the hump yard.

Conclusion

The scientific justification of the need to use barrier wagon groups before train disassembling on free classification (classification & departure) tracks of railway stations, followed by calculation of the required size of the barrier wagon group and the norm of its securing by brake shoes depending on the length and profile of specific tracks, weather conditions, weight and length of the set of wagons, will improve traffic safety during train and shunting operations by preventing cases of wagons go beyond the track useful length.

Formation of barrier wagon groups on the classification (classification and departure) tracks before train disassembling to ensure traffic safety will inevitably lead to decrease in processing capacity of classification yards. Optimization of some calculated criteria can help to reduce losses in processing capacity of marshalling yards when barrier wagon groups are formed [13].

REFERENCES

1. Procedure to determine the size of barrier wagon groups to be placed on the free tracks of classification yards before train disassembling and to calculate the norms for securing barrier wagon groups, approved by regulation of JSC Russian Railways of February 2, 2018 No. 102r.
2. Rules and design guidelines for 1520 mm gauge sorting devices approved by the Deputy Minister of Railways of the Russian Federation 10.10.2003 [*Pravila*

i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv kolei 1520 mm, utverzhdennye zamestitelem Ministra putei soobshcheniya Rossiiskoi Federatsii 10.10.2003].

3. The rules for technical operation of the railways of the Russian Federation, approved by the order of the Ministry of Transport of Russia dated December 21, 2010 No. 286 (as amended on February 9, 2018) [*Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiiskoi Federatsii, utverzhdeny prikazom Mintransa Rossii ot 21.12.2010 No. 286 (v redaktsii ot 09.02.2018)*].

4. The order of JSC Russian Railways dated 14.09.2017 No. 1871r «On approval of the Procedure for determining the possibility of performance of disassembling and rearrangement of wagons through the hump of a hump yard in the absence of design documentation» [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 14.09.2017 No. 1871r «Ob utverzhdenii Poryadka opredeleniya vozmozhnosti proizvodstva rospuska i perestankovki vagonov cherez gorb sortirovochnoi gorki pri otsutstvii proektnoi dokumentatsii»*].

5. Shabelnikov, A. N., Ivanchenko, V. N. Foreign systems of automation of hump yards [*Zarubezhnye sistemy avtomatizatsii sortirovochnykh gorok*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2014, Iss. 3, pp. 45–48.

6. Resolution of JSC Russian Railways dated 13.04.2017 No. 711r «On development and approval of technical and administrative acts of stations and their annexes at JSC Russian Railways» [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 13.04.2017 No. 711r «O razrabotke, soglasovanii i utverzhdenii tekhnicheskoi-raporyaditelnykh aktov stantsii i prilozhenii k nim v OAO «RZD»*].

7. Resolution of JSC Russian Railways dated 01.04.2013 No. CD-49/r «On approval of the instructions for calculation of the maximum allowable length of set of wagons for disassembling on hump yards» [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 01.04.2013 No. CD-49/r «Ob utverzhdenii Instruksii po raschetu maksimalno dopustimoi dliny otepa pri rospuske na sortirovochnykh gorkakh»*].

8. Resolution of JSC Russian Railways dated 16.01.2018 No. 55r «On approval of technical requirements for systems and devices for railway automation and telematics of hump yards» [*Rasporyazhenie OAO «RZD» ot 16.01.2018 No. 55r «Ob utverzhdenii tekhnicheskikh trebovanii na sistemy i ustroystva zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemehaniki sortirovochnykh gorok»*].

9. Butikov, E. I., Kondratiev, A. S. Physics: Study guide [*Fizika: Ucheb. Posobie*]. Book 1. The mechanics. Moscow, Fizmatlit, 2004, 352 p.

10. Verzhinsky, S. V., Danilov, V. N., Khusidov, V. D. Wagon dynamics: Textbook for universities [*Dinamika vagona: Uchebnyk dlya vuzov*]. Ed. by S. V. Verzhinsky. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1991, 360 p.

11. The technical regulation «On safety of railway infrastructure», approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of 15.07.2010 No. 525 [*Tekhnicheskiiy reglament «O bezopasnosti infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta», utverzhden postanovleniem Pravitelstva Rossiiskoi Federatsii ot 15.07.2010 No. 525*].

12. Kovalenko, N. A., Borodin, A. A., Efimov, R. A. Development of methods for calculating the size of barrier wagon groups of wagons for installation before disassembling on free tracks of sorting yards and norms for securing them [*Razrabotka metodov racheta velichiny «bariornykh grupp» vagonov dlya ustanovki pered rospuskom na svobodnykh putyakh sortirovochnykh yardov i norm ikh zakrepleniya*]. *Proceedings of 18th All-Russian Scientific and Practical Conference «Train traffic safety»*, 2017, VIII-9.

13. Kovalenko, N. A., Borodin, A. A. Application of new calculation criteria when defining need to form barrier wagon groups [*Primenenie novykh kriteriev raschyota pri opredelenii neobkhodimosti formirovaniya bariornykh grup*]. *Zheleznodorozhny transport*, 2019, Iss. 9, pp. 15–17. ●





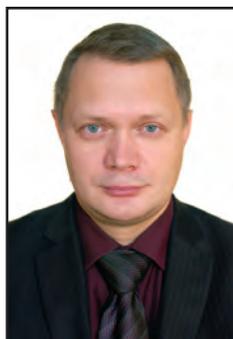
Дистанционная оценка процесса перевозок автомобильным транспортом



Надежда ФИЛИППОВА



Роман ЗАИКИН



Дмитрий ЕФИМЕНКО

Филиппова Надежда Анатольевна – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

Заикин Роман Николаевич – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

Ефименко Дмитрий Борисович – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия*.

Статья посвящена разработке алгоритма принятия решений при осуществлении перевозки грузов автомобильным транспортом на основе метода оперативной дистанционной оценки состояния груза и транспортного процесса без участия человека. Разработка алгоритма базируется на применении средств транспортной телематики и экспериментальном исследовании, целью которого являлось описание возможностей навигационных блоков для фиксирования ускорений, возникающих во время движения транспортного средства.

Разработанная методика позволяет в автоматическом режиме принимать решения, направленные на экономию ресурсов. В статье описаны этапы оперативной дистанционной оценки состояния груза, а также алгоритм принятия решений на основе полученной информации.

Описана схема информационного взаимодействия участников процесса перевозки грузов, в которой обозначен аналитический центр, задачей которого является расчёт силы, действующей на груз, и сопоставление рассчитанной силы с прочностными характеристиками материала, из которого изготовлен груз.

Описана задача доставки грузов в несколько пунктов. Для визуализации ситуационной задачи был построен маршрут доставки грузов, на примере которого проводилось сравнение плановых показателей с фактическими, скорректированными при помощи аналитического центра.

Данная статья описывает перспективы применения средств транспортной телематики, заключающиеся в повышении эффективности контроля безопасности груза во время перевозки.

Ключевые слова: транспорт, автомобильный транспорт, транспортная телематика, оценка, состояние, груз, транспортировка, экономия, ресурсы.

*Информация об авторах:

Филиппова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, shmen@bk.ru.

Заикин Роман Николаевич – старший преподаватель кафедры правового и таможенного регулирования Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, td@madi.ru.

Ефименко Дмитрий Борисович – доктор технических наук, профессор, доцент кафедры правового и таможенного регулирования Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, ed2002@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.01.2019, актуализирована 13.07.2019, принята к публикации 18.11.2019.

For the English text of the article please see p. 265.

Использование современных технологий и средств транспортной телематики позволяет получать информацию, которую можно применять для разных целей, в том числе для повышения качества грузовых автомобильных перевозок. Перевозка готовой продукции является завершающим звеном цепи поставок, поэтому данный этап можно назвать самым важным и ответственным [1, с. 152]. При совершении доставки готовой продукции нередко случаются повреждения грузов по причине непредвиденных дорожных ситуаций, провоцирующих водителей совершать резкие манёвры.

На сегодняшний день не существует единой методологии принятия решений на основе оперативного дистанционного контроля процесса перевозки и состояния груза [2]. Следствием такого положения дел является перерасход ресурсов. Испорченный груз направляется до пункта назначения, и только там можно выявить повреждения, полученные за время транспортировки. Более рациональным представляется вариант, при котором происходит быстрое выявление повреждений и автоматическое принятие решения о перенаправлении транспортного средства в следующий пункт, груз для которого находится в надлежащем состоянии. Для решения данной проблемы необходим механизм предварительной оценки состояния груза, который позволит в режиме реального времени принимать решения, направленные на экономию ресурсов. Разработка такого механизма возможна на базе технологий и средств транспортной телематики,

обладающей необходимым функционалом в виде сбора и передачи информации о параметрах транспортного процесса.

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для совершенствования процесса грузовых автомобильных перевозок была выдвинута гипотеза о возможности оперативного анализа динамических параметров движения автомобиля с целью оценки влияния возникающих ускорений на сохранность грузов. Данная статья базируется на экспериментальном исследовании, целью которого являлось описание возможностей навигационных блоков для выявления скрытого потенциала, заключающегося в возможности фиксации ускорений, возникающих во время движения транспортного средства.

В качестве эксперимента было проведено моделирование дорожно-транспортного происшествия на специализированном динамическом стенде. На платформу был закреплён навигационно-связной блок, платформа ускорялась, далее ударялась о препятствие, после чего акселерометр фиксировал возникающие при ударе ускорения по трём осям координат. Завершая процесс, навигационно-связной блок передавал информацию о динамических параметрах происшествия в базу данных. В результате эксперимента в базу данных поступала информация, итоговое отображение которой представлено на рис. 1. Данная отчётность может быть доступна для широкого круга пользователей, поскольку эксперимент подтвердил возможность передачи информации в режиме

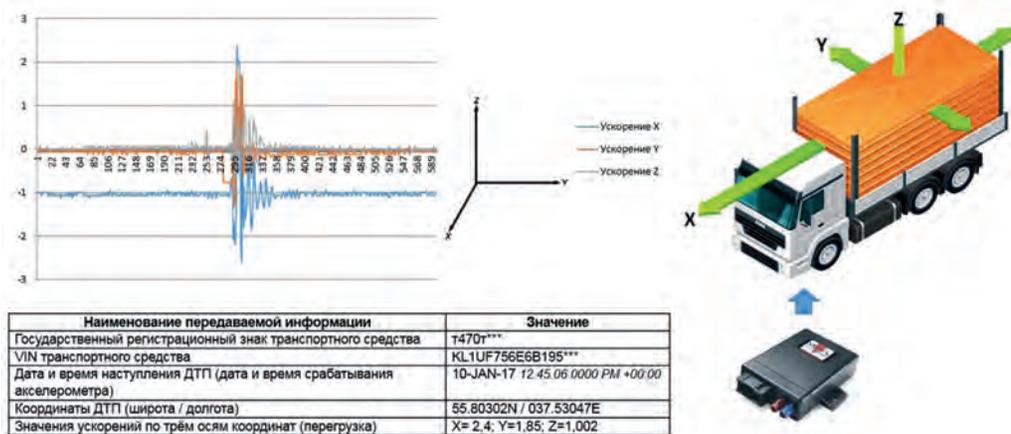
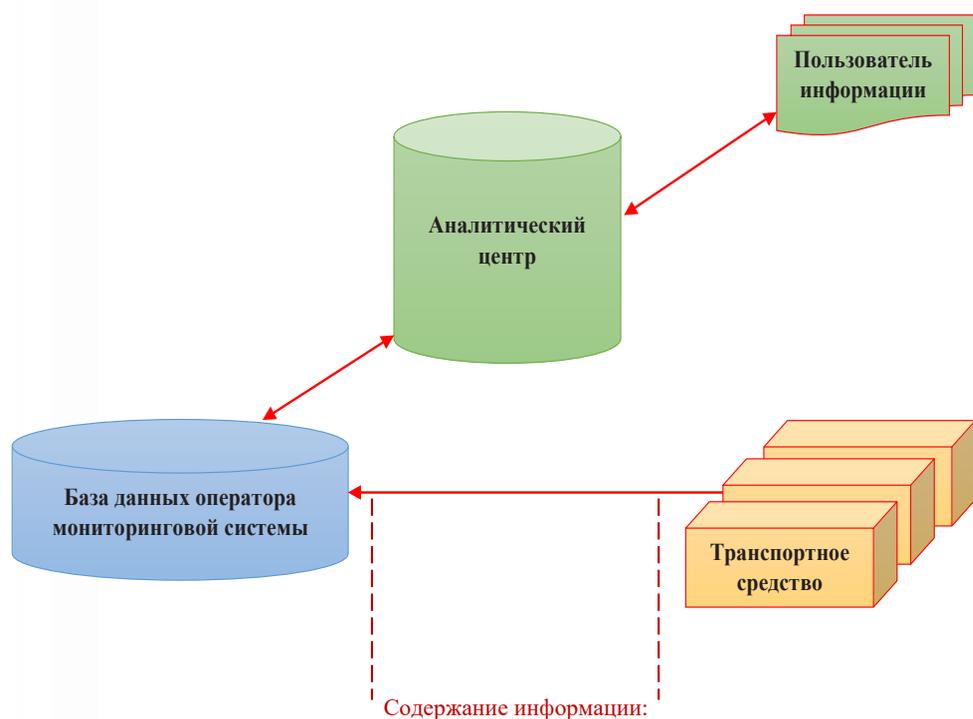


Рис. 1. Фиксирование ускорений, действующих на груз во время перевозки.



- Государственный регистрационный знак транспортного средства.
- VIN транспортного средства.
- Дата и время наступления ДТП (дата и время срабатывания акселерометра).
- Координаты ДТП (широта / долгота).
- Значения ускорений в трёх плоскостях системы координат (x; y; z).

Рис. 2. Схема информационного обмена.

реального времени в указанную базу данных.

ОПИСАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГРУЗА И ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА

Помимо стандартных функций, связанных с мониторингом местоположения транспортного средства и его скорости, в навигационно-связной блок встроены акселерометр, способный фиксировать ускорения, информирующие о динамических параметрах транспортировки [3] (рис. 1).

Зачастую информация об ускорениях, возникающих в трёх плоскостях системы координат, не находит применения, но имеет огромный потенциал, связанный с контролем динамических параметров

передвижения транспортного средства. Обособленное существование этих данных не представляет значимого интереса, поскольку в логистике не встречается точного, понятного и обоснованного числового определения словосочетаний – «состояние груза» или «повреждение груза». Если учесть тот факт, что приёмка груза часто осуществляется на основе визуального осмотра транспортной тары, то имеющиеся данные могут быть достаточно для тестового применения методики, о которой пойдёт речь далее [2].

ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГРУЗА И ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА

Предлагаемый метод оценки состояния груза и транспортного процесса при по-

Сопоставление рассчитанного значения действующей силы инерции с нормативной, справочной силой упругости материала (пример)

№	Материал, из которого выполнен груз	Наименование показателя физико-механического свойства материала	Рассчитанное значение действующей силы инерции $F_{и*}$	Нормативное значение силы упругости материала $F_{упр**}$
1	Стекло	Предел прочности (МПа)	21 МПа	15 МПа

* Текущие параметры (рассчитанное значение действующей в момент перевозки силы инерции) $F_{и}$ ($F_{и} = m \cdot a$, где $F_{и}$ – сила инерции; m – масса груза; a – ускорение).

** Нормативные параметры (справочное значение) $F_{упр}$, силы упругости (силы, возникающей в теле в результате его деформации и стремящейся вернуть его в исходное (начальное) состояние).

мощи телематики имеет форму анализа информации, полученной от навигационно-связного блока, и сопоставления полученной информации со справочными значениями прочностных характеристик материалов, из которых выполнен груз. Метод оперативной оценки состояния груза базируется на двух элементах:

1. Фиксирование ускорений (сил инерции), действующих на груз во время перевозки (осуществляет навигационно-связной блок, установленный в автомобиль) (рис. 1), и передача информации (рис. 2).

2. Анализ соответствия текущих параметров движения нормативным, основанным на физико-механических свойствах перевозимых грузов (осуществляет аналитический центр).

Зафиксированная действующая сила инерции сравнивается со справочным значением физико-механического свойства материала (табл. 1).

Оценка состояния груза осуществляется на основе сравнения силы инерции, возникающей во время движения транспортного средства с силой упругости материала. В этой связи при условии превышения силы инерции над силой, стремящейся вернуть телу исходное состояние, будет наблюдаться деформация материала, т.е. условием разрушения материала является: $F_{и} > F_{упр}$.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПЕРЕВОЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ В ЦЕПИ ПОСТАВКИ

Необходимо доставить груз со склада на n объектов, последовательно (в порядке

возрастания их номеров) расположенных на заранее установленном маршруте. В процессе движения груз массой $m(j)$, $j = 2, \dots, n$, предназначенный для j -го объекта, может повредиться. И водителю транспорта желательно об этом узнать своевременно, чтобы вовремя скорректировать маршрут и не заезжать на указанный объект, экономя при этом как расходы на топливо, так и время доставки груза на остальные объекты. Если повреждение связано с перегрузками, вызванными резким торможением, то помочь водителю выявить испорченные грузы может навигационно-связной блок, установленный на автомобиле.

Предварительно, перед выездом для каждого i -ого участка маршрута, $i = 1, 2, \dots, n-1$, связывающего соседние объекты $j = i + 1, \dots, n$, составляется i -карта предельных ускорений $A_{\lim(i,j)}$. В основу расчётов положены следующие соображения:

- грузы в полуприцепе машины располагают последовательно, так, что ближе к кабине водителя должны находиться изделия с большими номерами (номера грузов соответствуют номерам объектов), а ближе к заднему борту – грузы с меньшими номерами;

- на i -ом прогоне, $i = 1, \dots, n-1$, при резком торможении с ускорением $a(i)$ на j -й груз $m(j)$, $j = i + 1, \dots, n$, действует результирующая сила инерции всех предшествующих грузов, определяемая по формуле:

$$F_{in(i,j)} = a(i) \cdot \sum_k m(k), \quad k = i, \dots, j-1; \quad (1)$$

- повреждение груза происходит, если эта сила инерции $F_{in(i,j)}$, действующая на j -й груз, оказывается больше силы упругости $F_{elas(j)}$ этого груза:

$$F_{in(i,j)} > F_{elas(j)}. \quad (2)$$



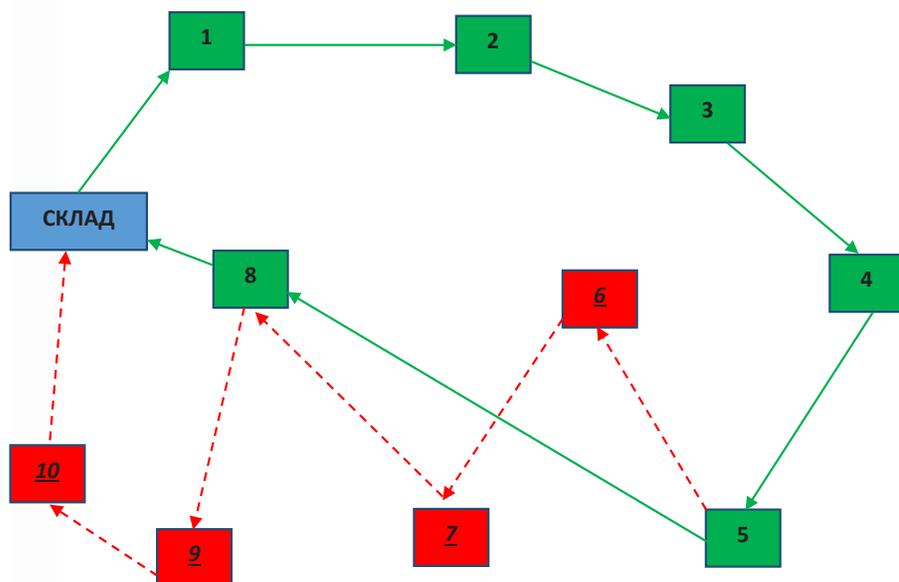


Рис. 3. Схема поставки готовой продукции.

Сопоставляя соотношения (1) и (2), нетрудно определить предельные ускорения $A_{\lim(i,j)}$, превышение которых на i -ом этапе маршрута приведёт к повреждению j -го груза:

$$A_{\lim(i,j)} = \frac{E_{\text{elas}}(j)}{\sum_k m(k)}, k = i, \dots, j - 1; i = 1, \dots, n, j = i + 1, \dots, n. \quad (3)$$

Примечание. Формула (3), определяющая предельно допустимые ускорения торможения $A_{\lim(i,j)}$, получена при довольно-таки «жёстком» расположении грузов в контейнере автотранспорта. А потому на практике эти предельно допустимые ускорения могут оказаться и больше. И, следовательно, величины, определяемые формулой (3), можно увеличить приблизительно на 10–15 процентов.

На $(n-1)$ картах участка маршрута цепи поставки, выдаваемых водителю, $i = 1, \dots, n-1$, определённые по формуле (3) предельные ускорения $A_{\lim(i,j)}$ располагают в возрастающем порядке с указанием номеров грузов, выходящих из строя при превышении соответствующего ускорения:

$$A_{\lim(i, j \cdot (1))} \leq A_{\lim(i, j \cdot (2))} \leq \dots \leq A_{\lim(i, j \cdot (n-i))}, i = 1, \dots, n-1, j \cdot (1), j \cdot (2), \dots, j \cdot (n-i).$$

В действительности желательно доставить все грузы по объектам без каких-либо повреждений, не превышая на каждом из этапов минимальное ускорение торможе-

ния, определённое заранее и указанное в соответствующей этапу карте ускорений. Если же какой-то груз всё-таки оказывается повреждённым, то по прибытии транспорта на объект после выгрузки требуемого сохранившегося груза машину освобождают и от повреждённого груза, правда лишь, при условии, что к нему имеется доступ. В противном случае транспорт направляется к следующему объекту с повреждённым грузом. Более подробно действия водителя и грузчиков в той или иной ситуации рассматриваются на конкретном примере.

Алгоритм позволяет построить карты предельных ускорений для любого количества маршрутов к объектам n , произвольных допустимых масс грузов $m(j)$ и соответствующих сил упругости $F_{\text{elas}(j)}$ этих грузов.

ОПИСАНИЕ СИТУАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Ситуационная задача представляет собой описание процесса доставки грузов со склада на 10 объектов, последовательно расположенных на заранее установленном маршруте (рис. 3). Для анализа соответствия текущих параметров движения нормативным была запланирована карта предельно допустимых ускорений для участков маршрута (рис. 4).

*Cards=[1. *****

g max	0.0446	0.0599	0.0800	0.0800	0.0820	0.1056	0.1731	0.2000	1.4000
№ гр.	<u>9</u>	<u>10</u>	5	6	7	8	4	3	2

2. *****

0	0	0.0476	0.0637	0.0889	0.0893	0.0923	0.1136	0.2143	0.3000
0	0	9	10	<u>6</u>	<u>7</u>	5	8	4	3

3. *****

0	0	0	0.0551	0.0730	0.1087	0.1143	0.1333	0.1339	0.4091
0	0	0	9	10	7	6	5	8	4

4. *****

0	0	0	0	0.0667	0.0870	0.1429	0.1667	0.1667	0.2609
0	0	0	0	9	10	7	6	8	5

5. *****

0	0	0	0	0	0.0854	0.1087	0.2128	0.2239	0.3200
0	0	0	0	0	9	10	7	8	6

6. *****

0	0	0	0	0	0	0.1228	0.1493	0.3571	0.4545
0	0	0	0	0	0	9	10	8	7

7. *****

0	0	0	0	0	0	0	0.2000	0.2222	0.7500
0	0	0	0	0	0	0	9	10	8

8. *****

0	0	0	0	0	0	0	0	0.4000	0.4667
0	0	0	0	0	0	0	0	10	9

9. *****

0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10];

Рис. 4. Карта предельных ускорений для участков цепи поставки готовой продукции.

РАСЧЁТНЫЕ ДАННЫЕ СИТУАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ:

- $n = 10$ – количество этапов процесса (общее количество пунктов доставки);
- $m = [10; 20; 22; 23; 25; 22; 20; 15; 10; 5]$ – строка поэтапных масс поставляемых грузов;
- $F_{elas} = [5; 14; 6; 9; 6; 8; 10; 15; 7; 10]$ – строка сил упругости перевозимых грузов;
- A_{br} = зафиксированное прибором ускорение.

Предположим, что на первом этапе ускорение торможения в какой-то момент времени оказалось равным $A_{br} = 0,06$ g. Как следует из запланированной карты ускорений 1 (*Cards = [1; рис. 3]), соответствующей первому участку маршрута, подобное ускорение приводит к повреждению грузов с номерами 9 и 10. Поскольку они оказываются загороженными предшествующими грузами 2–8, то водитель со всеми оставшимися грузами направляется ко второму

объекту. Однако, при этом на карте ускорений 2, соответствующей второму этапу маршрута, на ускорения, приводящие к повреждению уже списанных грузов, внимания не обращает. Предположим теперь, что и на втором этапе пришлось резко тормозить, доведя ускорение торможения до величины $A_{br} = 0,09$ g. Это привело к повреждению грузов с номерами 6 и 7. Они также оказываются в глубине контейнера, а по тому, как и в предыдущем случае, после разгрузки на втором объекте водитель направляется к третьему со всеми повреждёнными грузами, не обращая внимания при этом на ускорения карты 3, приводящие к повреждению этих грузов. Далее полагаем, что последовательный переезд к пятому объекту проходит без осложнений. И уже на этом объекте можно, наконец-то, освободиться от повреждённых грузов 6 и 7. От пятого объекта водитель направляется к восьмому объекту, ориентируясь на карту ускорений 8 (есте-



ственно, что при этом на ускорения, приводящие к повреждению грузов 9 и 10, он не обращает никакого внимания). И как следует из этой карты, на восьмом этапе нет уже никаких ограничений, нарушения которых приводили бы к повреждению груза 8. Завершив разгрузку, водитель отправляется на базу.

На карте предельных ускорений отображены пункты доставки, грузы для которых были повреждены во время перевозки (рис. 4).

На схеме поставки готовой продукции (рис. 3) пунктиром отмечены те маршруты, которые утратили актуальность в связи с предварительно выявленными повреждениями грузов, предназначенных для 6, 7, 9 и 10 пунктов разгрузки.

При сравнении плановых показателей с фактическими наблюдается сокращение издержек:

- *плановое* количество точек доставки готовой продукции: 10;
- *фактическое* количество точек доставки готовой продукции: 6;
- *плановое* количество маршрутов доставки готовой продукции: 11;
- *фактическое* количество маршрутов доставки готовой продукции: 7;
- *сокращение издержек* (сокращение протяженности маршрута): 36 %.

Таким образом, совершенствование оценки состояния груза при осуществлении автомобильных перевозок на указанном ситуационном примере является целесообразным, поскольку позволяет сократить издержки при осуществлении доставки готовой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод может иметь спрос, поскольку в анализе состояния груза заинтересован широкий круг пользователей, среди которых таможенные органы, которым данная информация необходима для совершенствования оперативных действий [4]. Для транспортных компаний польза будет заключаться в возможности мониторинга безопасности перевозочного процесса для поддержания конкурентоспособности, заключающейся в снижении риска порчи груза [5]. Страховым компаниям метод позволит быстро получать необходимую для экспертизы

информацию о параметрах движения автомобиля с целью подтверждения факта наступления ДТП, а также информацию о повреждении груза, что позволит минимизировать риск финансовых потерь, связанных с мошенническими действиями [6]. Кроме того, метод может являться фундаментом для совершенствования процедуры оформления страховых случаев и создания эффективных механизмов по разрешению разногласий между участниками договора страхования [7]. Потребители транспортных услуг смогут иметь представление о том, насколько качественно транспортные компании оказывают сервис, чтобы в дальнейшем выбрать наиболее подходящую и безопасную компанию [8; 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппова Н. А., Ефименко Д. Б., Ледовский А. А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. – 2018. – № 4. – С. 150–159.
2. Заикин Р. Н. Повышение эффективности контроля сохранности груза во время международных автомобильных перевозок // Вестник транспорта. – 2017. – № 8. – С. 38–40.
3. Ефименко Д. Б., Филатов С. А., Сергеев С. В., Васильев Р. В. Совершенствование информационного обеспечения процессов управления грузовыми перевозками автомобильным транспортом // В мире научных открытий. – 2015. – № 6. – С. 261–269.
4. Заикин Р. Н., Савченко-Бельский К. А., Родительская Е. В., Филатов С. А. Применение средств транспортной телематики для повышения эффективности контроля безопасности груза во время международных автомобильных перевозок // Вестник транспорта. – 2017. – № 2. – С. 109–114.
5. Мельников С. Е., Аноприева Г. С., Мельникова Т. Е., Паршина Д. И. Использование технических средств как эффективный способ повышения объективности при рассмотрении дел о нарушении ПДД РФ // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 1. – С. 14–16.
6. Терентьев А. В., Ефименко Д. Б., Карелина М. Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6. – С. 291–294.
7. Ефименко Д. Б., Заикин Р. Н., Филатов С. А. Развитие систем логистического мониторинга международного товародвижения и цифровой инфраструктуры продвижения грузопотоков. Прогресс транспортных средств и систем-2018. Материалы международной научно-практ. конференции / Под ред. И. А. Каляева, Ф. Л. Черноусько, В. М. Приходько. – 2018. – С. 231–232.
8. Мельникова Т. Е., Мельников С. Е., Зуев С. А. Проблемы контроля экспортно-импортных операций при международных автоперевозках грузов // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 11. – С. 6–8.
9. Мельникова Т. Е., Мельников С. Е. Проблемы применения тахографов как средства технического контроля за грузовыми автоперевозками // Вестник транспорта. – 2017. – № 8. – С. 30–31. ●



Remote Evaluation of Road Transportation Process



Nadezhda A. FILIPPOVA



Roman N. ZAIKIN



Dmitry B. EFIMENKO

Filippova, Nadezhda A., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Zaikin, Roman N., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Efimenko, Dmitry B., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article is devoted to development of a decision-making algorithm for transportation of goods by road based on the method of online remote assessment of the state of the cargo and the transportation process without human intervention. The development of the algorithm is based on the use of transport telematics and experimental study, the objective of which was to reveal capacity of navigation devices to fix accelerations that occur during vehicle movement.

The developed methodology allows to automatically make decisions aimed at saving resources. The article describes the steps of operational remote assessment of the state of the cargo, as well as the

decision-making algorithm based on the information received.

A scheme of information interaction of the cargo transportation process participants is described, in which an analytical center is designated, the task of which is to calculate the force acting on the cargo and compare the calculated force with the strength characteristics of the material from which the cargo is made.

The situational task of delivering goods to several points is described. To visualize the situational task, a cargo delivery route was constructed to compare planned indicators with actual ones, adjusted using the analytical center.

This article describes the prospects for the use of tools of transport telematics, consisting in increasing the effectiveness of cargo safety control during transportation.

Keywords: transport, road transportation, transport telematics, assessment, condition, cargo, transportation, saving, resources.

*Information about the authors:

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.

Zaikin, Roman N. – Senior Lecturer at the Department of Legal and Customs Regulations of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, td@madi.ru.

Efimenko, Dmitry B. – D.Sc. (Eng), Professor, Associate Professor at the Department of Legal and Customs Regulations of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, ed2002@mail.ru.

Article received 10.01.2019, revised 13.07.2019, accepted 18.11.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 258.

Background. Application of modern technology and tools of transport telematics allows to obtain information that can be used for various purposes, particularly to improve quality of road cargo transportation. Transportation of finished products is the final link in the supply chain, so this stage can be called the most important and responsible [1, p. 152]. When delivering finished products, cargo damage often occurs due to unforeseen traffic situations that provoke drivers to make sharp maneuvers.

To date, there is no single decision-making methodology based on operational remote monitoring of the transportation process and the state of the cargo [2]. This is the cause of consequent overspending of resources occurs. Damaged cargo is sent to the destination point and only there damage received during transportation can be detected. More rational is the option providing for quick detection of damage and an automatic decision to redirect the vehicle to the next point, if the cargo intended for that point is in good condition. To solve this problem, preliminary assessment of the state of the cargo is necessary, which will allow real-time decisions to be made aimed at saving resources. The development of such a mechanism is possible based on technology and tools of transport telematics, having necessary functionality to collect and transmit information about the parameters of the transportation process.

Objectives and research methods

To improve the process of road cargo transportation, a hypothesis was put forward

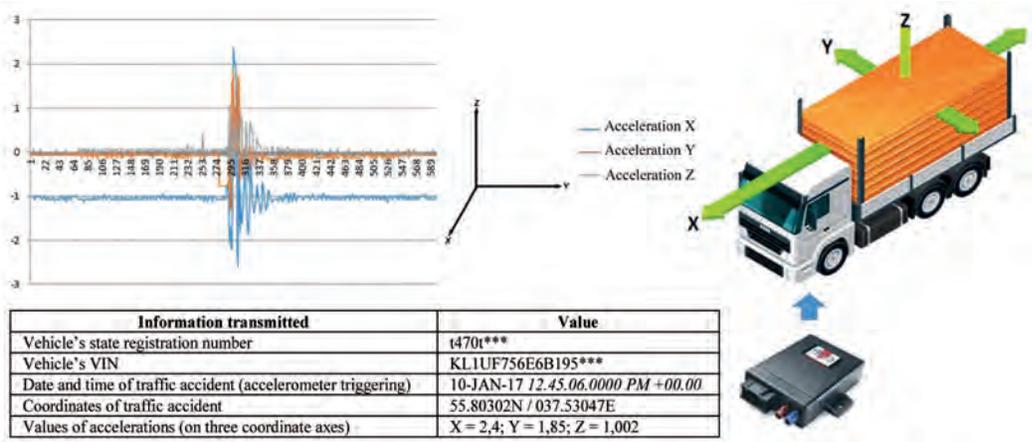
about the possibility of an operational analysis of the dynamic parameters of the car's movement, in order to assess the effect of the resulting accelerations on safety of goods. This article is based on an experimental study, the purpose of which was to describe the capacity of the navigation units and devices to fix and record accelerations that occur while the vehicle is moving.

As an experiment, a traffic accident was simulated on a specialized dynamic test bench. A navigation and communication unit was fixed to the platform, the platform accelerated, then hit an obstacle, after which the accelerometer recorded the accelerations arising from the impact along three coordinate axes. Finishing the process, the navigation and communication unit transmitted information about the dynamic parameters of the incident to the database. As a result of the experiment, the database received information, the final display of which is shown in Pic. 1. This report may be available to a wide range of users, since the experiment confirmed the possibility of transmitting information in real time to the specified database.

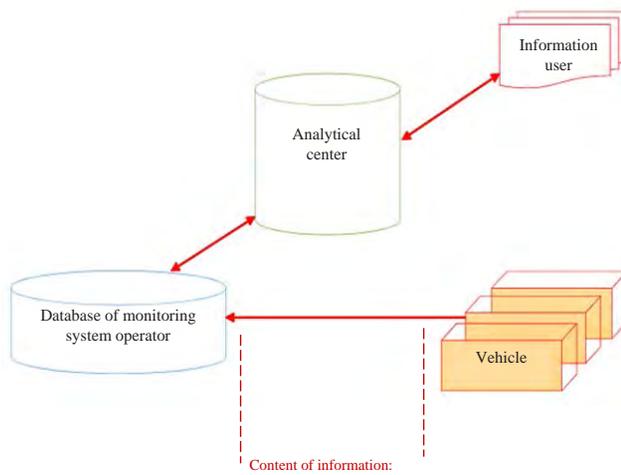
Description of the proposed method for assessing the condition of cargo and the transportation process

In addition to standard functions related to monitoring the vehicle's location and speed, an accelerometer is integrated in the navigation and communication unit, which can record accelerations that inform about the dynamic parameters of transportation [3] (Pic. 1).

Often, information about accelerations that occur in three planes of the coordinate



Pic. 1. Recording accelerations, acting on the cargo during transportation.



- Vehicle's state registration number.
- Vehicle's VIN.
- Date and time of traffic accident occurrence (date and time of accelerometer triggering).
- Coordinates of traffic accident (latitude/longitude).
- Values of accelerations in three planes of the coordinate system (x; y; z).

Pic. 2. Chart of data exchange.

system does not find application, but it has huge potential associated with controlling the dynamic parameters of vehicle movement. The separate existence of these data is not of significant interest, since in logistics there is no exact, understandable, and reasonable numerical definition of phrases «state of cargo» or «damage to cargo». If we take into account the fact that acceptance of cargo is often carried out on the basis of visual inspection of the transport packaging, then the available data may be sufficient for test application of the technique, which will be discussed below [2].

Description of the elements of the method of rapid assessment of the state of cargo and the transportation process

The proposed method for assessing the state of the cargo and the transportation process using telematics consists in the analysis of information received from the navigation and communication unit and the comparison of the received information with reference values of the strength characteristics of the materials from which the cargo is made. The method of operational assessment of the state of the cargo is based on two elements:

1. *Fixing accelerations* (inertia forces) acting on the cargo during transportation (carried out by a navigation and communication unit

installed in the car) (Pic. 1) and transmission of information (Pic. 2).

2. *Analysis of compliance of the current traffic parameters* with standard parameters, based on the physical and mechanical properties of the transported goods (carried out by the analytical center).

The recorded effective inertia is compared with the reference value of the physical and mechanical properties of the material (Table 1).

Assessment of the state of the cargo is carried out on the basis of comparison of the inertia force arising during movement of the vehicle with the elasticity force of the material. In this regard, provided that the inertia force exceeds the force tending to return the body to its original state, deformation of the material will be observed, i.e. the condition for destruction of the material is $F_i > F_{elas}$.

Development of a decision-making algorithm for transportation of finished products in the supply chain

It is necessary to deliver the goods from the warehouse to n objects sequentially (in the ascending order of their numbers) located on a pre-established route. During movement, a cargo of mass $m_{(j)}$, $j = 2, \dots, n$, intended for the j -th object, may be damaged. And it is advisable for the vehicle driver to find out about this in a timely manner, so that he can adjust the route on time and not call at the specified object,



Comparison of the calculated value of the effective inertia force with the normative reference force of elasticity of the material (example)

No.	Material from which the cargo is made	The name of the indicator of the physical and mechanical properties of the material	The calculated value of the effective inertia force F_i^*	The standard value of the elastic force of the material F_{elas}^{**}
1	Glass	Ultimate strength (MPa)	21 MPa	15 MPa

* Current parameters (calculated value of the inertia force acting at the time of transportation) of F_i ($F_i = m \cdot a$, where F_i is inertia force; m is the cargo mass; a – acceleration).

**Standard parameters (reference value) of F_{elas} , elasticity force (the force that arises in the body as a result of its deformation and tends to return it to its original (initial) state).

while saving both fuel costs and time to deliver the goods to other objects. If the damage is associated with overloads caused by sudden braking, a navigation and communication unit mounted on the car can help the driver in identifying damaged goods.

Preliminary, before leaving for each i -th section of the route, $i = 1, 2, \dots, n-1$, connecting neighboring objects, $j = i + 1, \dots, n$, an i -map of acceleration limits $A_{lim(i,j)}$ is developed. The calculations are based on the following considerations:

- the cargoes in the semitrailer of the car are placed sequentially so that products marked with larger numbers (cargo numbers correspond to object numbers) are located closer to the driver's cabin, and cargoes with lower numbers are closer to the rear side;

- on the i -th run, $i = 1, \dots, n-1$, during sudden braking with acceleration $a_{(i)}$ the j -th cargo $m_{(j)}$, $j = i + 1, \dots, n$ is affected by the resulting inertia force of all previous cargoes, determined by the formula:

$$F_{in(i,j)} = a_{(i)} \cdot \sum_k m_{(k)}, \quad k = i, \dots, j-1; \quad (1)$$

- damage to the cargo occurs if this inertia force $F_{in(i,j)}$, acting on the j -th cargo is greater than elasticity force $F_{elas(j)}$ of this cargo:

$$F_{in(i,j)} > F_{elas(j)}. \quad (2)$$

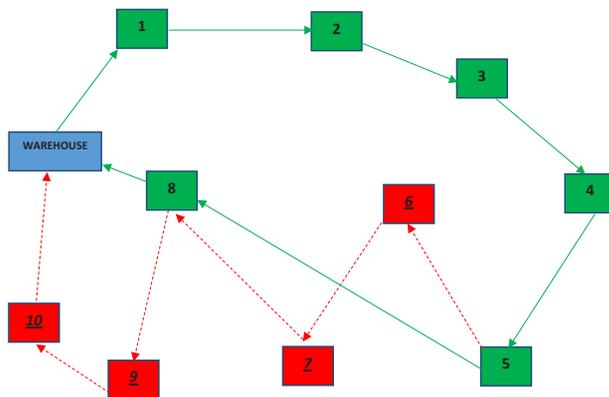
Comparing relations (1) and (2), it is easy to determine the acceleration limits $A_{lim(i,j)}$, exceeding which at the i -th stage of the route will lead to damage to the j -th cargo:

$$A_{lim(i,j)} = \frac{F_{elas(j)}}{\sum_k m_{(k)}}, \quad k = i, \dots, j-1; \quad i = 1, \dots, n, \quad j = i + 1, \dots, n. \quad (3)$$

Note. Formulas (3), which determine the maximum allowable acceleration of braking $A_{lim(i,j)}$, were obtained for a rather «rigid» arrangement of goods in a road container. And therefore, in practice, these maximum allowable accelerations may turn out to be even greater. And, therefore, the values determined by formulas (3) might be increased by about 10–15 percent.

On $(n-1)$ maps of the route section of the supply chain issued to the driver, $i = 1, \dots, n-1$, the acceleration limits $A_{lim(i,j)}$ determined by formula (3) are arranged in ascending order with the indication of cargo numbers, damageable when exceeding the corresponding acceleration:

$$A_{lim(i,j \cdot (1))} \leq A_{lim(i,j \cdot (2))} \leq \dots \leq A_{lim(i,j \cdot (n-i))}, \quad i = 1, \dots, n-1, j \cdot (1), j \cdot (2), \dots, j \cdot (n-i).$$



Pic. 3. Scheme of delivery of finished products.

*Cards=[1. *****										
g _{max}	0.0446	0.0599	0.0800	0.0800	0.0820	0.1056	0.1731	0.2000	1.4000	
№	9	10	5	6	7	8	4	3	2	
cargo *****										
2.	0	0	0.11472	0.0837	0.0889	0.0893	0.0923	0.1136	0.2143	0.3000
	0	0	9	10	6	7	5	8	4	3
3.	0	0	0	0.0551	0.0730	0.1087	0.1143	0.1333	0.1339	0.4091
	0	0	0	9	10	7	6	5	8	4
4.	0	0	0	0	0.0667	0.0870	0.1429	0.1667	0.1667	0.2609
	0	0	0	0	9	10	7	6	8	5
5.	0	0	0	0	0	0.0854	0.1087	0.2128	0.2239	0.3200
	0	0	0	0	0	9	10	7	8	6
6.	0	0	0	0	0	0	0.1228	0.1493	0.3571	0.4545
	0	0	0	0	0	0	9	10	8	7
7.	0	0	0	0	0	0	0	0.2000	0.2222	0.7500
	0	0	0	0	0	0	0	9	10	8
8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4000	0.4667
	0	0	0	0	0	0	0	0	10	9
9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10;

Pic. 4. Map of acceleration limits for the sections of the supply chain of finished products.

In fact, it is desirable to deliver all the loads to the objects without any damage, without exceeding at any stage the minimum braking acceleration determined in advance and indicated in the corresponding acceleration map. If some cargo nevertheless turns out to be damaged, then upon arrival of the transport to the object after unloading the required remaining cargo, the damaged cargo will also be unloaded, but only if it is accessed. Otherwise, the vehicle is sent to the next object with damaged cargo. In more detail, the actions of the driver and movers in different situation are considered using a specific example.

The algorithm allows one to construct maps of accelerations limits for any number of routes to objects n , arbitrary allowable masses of goods $m_{(j)}$, and the corresponding elasticity forces $F_{elas(j)}$ of these goods.

Description of the situational transport problem

The situational problem is a description of the process of delivery of goods from a warehouse to 10 objects sequentially located on a predetermined route (Pic. 3). To analyze the compliance of the current traffic parameters with the normative, a map of maximum allowable accelerations for route sections was planned (Pic. 4).

The input data of the situational transport problem:

- $n = 10$ is the number of process steps (total number of delivery points);
- $m = [10; 20; 22; 23; 25; 22; 20; 15; 10; 5]$ is a line of phased masses of delivered goods;
- $F_{elas} = [5; 14; 6; 9; 6; 8; 10; 15; 7; 10]$ is a line of elasticity forces of transported goods;
- $Abr = \text{fixed acceleration}$.

Let us suppose that at the first stage, acceleration of braking at some point in time turned out to be $Abr = 0,06$ g. As follows from the planned map of accelerations 1 (* Cards = [1; Pic. 3]), corresponding to the first section of the route, such acceleration leads to damage to goods with numbers 9 and 10. Since they turn out to be blocked by previous loads 2–8, the driver with all remaining goods moves to the second facility. However, consulting acceleration map 2, corresponding to the second stage of the route, he does not pay attention to accelerations leading [12; 13] to damage to already written off cargoes. Let now us suppose that during the second stage he had to brake sharply, bringing the braking acceleration to $Abr = 0,09$ g. This led to damage to goods with numbers 6 and 7. They also are stored in the depth of the container, and, as in the previous case, after unloading at the second facility, the driver goes to the third with all the damaged goods, not paying attention to accelerations of the map 3 leading to damage to already damaged goods. Further, we believe that the sequential move to the fifth object takes place without complications. And already at this



object, it is possible to finally unload damaged cargoes 6 and 7. From the fifth object, the driver goes to the eighth object, focusing on the acceleration map 8 (naturally, in doing so, he pays no attention to the accelerations leading to damage to the cargoes 9 and 10). And as follows from this map, at the eighth stage there are already no constraints, violations of which would lead to damage to the cargo 8. After completing unloading, the driver returns to his base.

The map of maximum accelerations displays delivery points for which goods were damaged during transportation (Pic. 4).

On the supply chain of finished products (Pic. 3), dotted lines mark those routes that have lost relevance due to previously identified damage to goods destined for 6, 7, 9, and 10 unloading points.

When comparing planned indicators with actual, there is a reduction in costs regarding:

- *planned* number of finished products delivery points: 10;
- *actual* number of finished products delivery points: 6;
- *planned* number of finished products delivery routes: 11;
- *actual* number of finished products delivery routes: 7;
- *cost reduction* (reduction of the length of the route): 36 %.

Thus, improving assessment of the state of the cargo during road transportation using the specified situational example is appropriate, since it allows to reduce costs of delivery of finished products.

Conclusions.

The proposed method may be in demand, since a wide range of users are interested in analyzing the state of the cargo, including customs authorities which need this information to improve operational actions [4]. For transport companies will have the benefit to be able to monitor safety of the transportation process to maintain competitiveness by reducing the risk of cargo damage [5]. The method will allow insurance companies to quickly obtain the necessary information for examination of a vehicle's motion parameters to confirm occurrence of an accident, as well as to obtain information about cargo damage, which will minimize the risk of financial losses associated with fraudulent activities [6]. Besides, the method may be the foundation for improving the procedure for processing

insurance cases and creating effective mechanisms for resolving disagreements between parties to the insurance contract [7]. Consumers of transport services will be able to have a clearer idea of the quality of service provided by transportation companies to choose the most suitable and safe company in the future [8; 9].

REFERENCES

1. Filippova, N. A., Efimenko, D. B., Ledovsky, A. A. Efficiency of Transport Processes in the Far North. *World of Transport and Transportation*, Vol. 16, 2018, Iss. 4, pp. 150–159.
2. Zaikin, R. N. Improving the effectiveness of cargo safety control during transportation [*Povyshenie effektivnosti kontrolya sokhrannosti gruzov vo vremya mezhdunarodnykh avtomobilnykh perevozk*]. *Vestnik transporta*, 2017, Iss. 8, pp. 38–40.
3. Efimenko, D. B., Filatov, S. A., Sergeev, S. V., Vasilienkov, R. V. Improving the information support of the process of managing cargo transportation by road [*Sovershensivovanie informatsionnogo obespecheniya protsessov upravleniya gruzovymi perevozkami avtomobilnym transportom*]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2015, Iss. pp. 261–269.
4. Zaikin, R. N., Savchenko-Belsky, K. A., Roditelskaya, E. V., Filatov, S. A. Application of tools of transport telematics to increase the effectiveness of cargo safety control during international road transportation [*Primenenie sredstv transportnoi telematiki dlya povysheniya effektivnosti kontrolya bezopasnosti gruzov vo vremya mezhdunarodnykh avtomobilnykh perevozk*]. *Vestnik transporta*, 2017, Iss. 2, pp. 109–114.
5. Melnikov, S. E., Anoprieva, G. S., Melnikova, T. E., Parshina, D. I. The use of technical means as an effective way to increase objectivity in consideration of cases of violation of traffic rules of the Russian Federation [*Ispolzovanie tekhnicheskikh sredstv kak effektivnyy sposob povysheniya ob'ektivnosti pri rassmotrenii del o narushenii PDD RF*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2016, Iss. 1, pp. 14–16.
6. Terentyev, A. V., Efimenko, D. B., Karelina, M. Yu. Zoning methods as methods for optimizing motor transport processes [*Metody raionirovaniya kak metody optimizatsii avtotransportnykh protsessov*]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2017, Iss. 6, pp. 291–294.
7. Efimenko, D. B., Zaikin, R. N., Filatov, S. A. Development of logistic monitoring systems for international goods distribution and digital infrastructure for advancement of cargo flows [*Razvitie sistem logisticheskogo monitoring mezhdunarodnogo tovarodvizheniya i tsifrovoy infrastruktury prodvizheniya gruzopotokov*]. *Progress of vehicles and systems-2018. Proceedings of international scientific and practical conference*. Ed. by I. A. Kalyaev, F. L. Chernousko, V. M. Prikhodko, 2018, pp. 231–232.
8. Melnikova, T. E., Melnikov, S. E., Zuev, S. A. Problems of control of export-import operations in international road transportation of goods [*Problemy kontrolya eksportno-importnykh operatsii pri mezhdunarodnykh avtoperevozkakh gruzov*]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2016, Iss. 11, pp. 6–8.
9. Melnikova, T. E., Melnikov, S. E. Problems of the use of tachographs as a means of technical control of trucking [*Problemy primeneniya takhografov kak sredstva tekhnicheskogo kontrolya za gruzovymi avtoperevozkami*]. *Vestnik transporta*, 2017, Iss. 8, pp. 30–31. ●



ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 272

Безопасность обслуживания пассажиров включает и санитарно-гигиенические, и экологические нормы. Апробация инструментов и методов их оценки.



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 286

Цифровизация транспортного комплекса как основа его успешного и устойчивого развития.

БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY

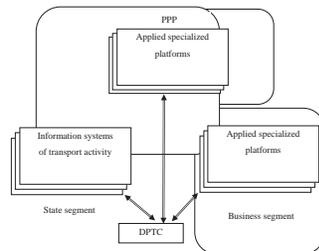


PUBLIC TRANSPORT 279

Safety provided for passengers implies meeting certain ecology, sanitary and hygienic norms. The assessment of compliance to them includes approving relevant instruments and methods.

ECONOMIC SECURITY 298

Digitalisation of a transport system as a basis of its effective and sustainable development.





Показатели качества перевозок пассажиров автобусами: организация инструментального исследования дополнительных экологических и санитарно-гигиенических факторов



Максим КУДРЯШОВ



Радион АЙРИЕВ

*Кудряшов Максим Александрович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.
Айриев Радион Саркисович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия*.*

В условиях роста автомобилизации, количества личных автомобилей и индивидуальных поездок к системе городского пассажирского транспорта общего пользования предъявляются повышенные требования в части качества и безопасности транспортного обслуживания населения.

Вместе с тем, при установлении таких требований не всегда нормативно учитываются важные для качества обслуживания пассажиров и работы водителя факторы, в том числе, относящиеся к обеспечению комфорта, соблюдению более общих санитарно-гигиенических и экологических норм.

Целями исследования являются определение дополнительных факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров городских автобусных маршрутов, составление методики проведения экспериментальных исследований и проведение инструментальных измерений параметров качества транспортного обслуживания согласно социальному стандарту, а также дополнительных параметров, оказывающих на него влияние.

Приведены результаты проводившихся в автобусах городских пассажирских маршрутов города Москвы измерений параметров и отбора проб: загрязняющих веществ (углекислого газа, формальдегид, углерода (II) оксид и азота диоксид) и искусственного освещения (общая освещённость Лк, коэффициент пульсации%), уровней шума, вибрации, микроклимата.

По результатам измерений показателей наличия вредных веществ в воздухе салона автобуса, параметров микроклимата, искусственного освещения, уровней акустического шума и общей вибрации в осенне-зимний период было установлено их нахождение в пределах допустимых норм, в том числе соответствующих установленным Евросоюзом и ВОЗ. Таким образом, качество транспортного обслуживания по предложенной группе дополнительных факторов удовлетворяет стандартным требованиям. Предлагается расширить проводимые исследования на другие периоды года, а также на другие виды транспортных средств.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, качество транспортного обслуживания, новая модель управления наземным городским пассажирским транспортом, шум, вибрация, микроклимат, загрязняющие вещества, искусственное освещение.

*Информация об авторах:

Кудряшов Максим Александрович – начальник сектора службы кадров ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, sparky5@yandex.ru.

Айриев Радион Саркисович – советник заместителя генерального директора ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, ayrievrs@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.03.2019, принята к публикации 30.08.2019.

For the English text of the article please see p. 279

ВВЕДЕНИЕ

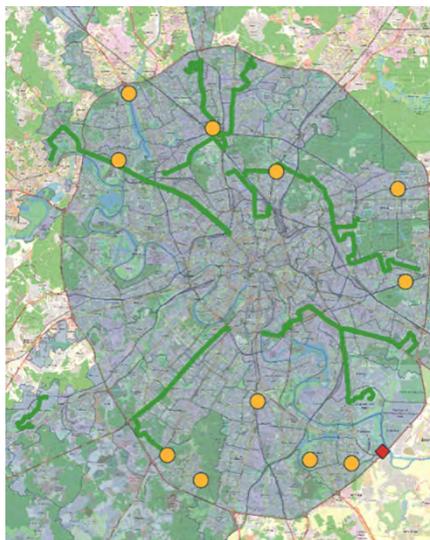
В условиях роста автомобилизации, количества личных автомобилей и индивидуальных поездок в городе Москве к системе городского пассажирского транспорта общего пользования предъявляются повышенные требования в отношении качества и безопасности транспортного обслуживания населения [1].

На основе анализа текущего состояния системы городского пассажирского транспорта [2], ранее проведённых научных исследований [3–5] и оценки передового зарубежного опыта [6] Департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы реализуется ряд проектов, направленных на существенное повышение качества и безопасности транспортных услуг. Важнейшим направлением повышения качества транспортного обслуживания населения наземным городским пассажирским транспортом общего пользования является переход в городе Москве на новую модель управления (НМУ НППТ). НМУ НППТ предусматривает интеграцию частных автотранспортных предприятий в систему транспорта общего пользования города Москвы с переходом на единые стандарты услуг.

Допуск коммерческих автотранспортных предприятий к работе на маршрутах регулярных перевозок в городском сообществе осуществляется на основе государственных контрактов по результатам проведения открытых конкурсов.

С переходом на НМУ НППТ разработана и внедрена новая маршрутная сеть с учётом устранения дублирующих маршрутов, снижения загруженности транспортной сети, сокращения интервалов движения и последующей корректировки расписания движения. Для каждого маршрута определён оптимальный класс подвижного состава.

Контроль за качеством оказания транспортных услуг осуществляется в автоматическом режиме и при контроле работы подвижного состава на линии по ряду параметров: соблюдение трассы следования маршрута, соблюдение скоростного режима, выполнение расписания, соответствие вида подвижного состава установленному в параметрах перевозок, чистота салона, исправность аппарели для маломобильных групп населения и т.д.



◆ Автовокзал
● Автостанция

Рис. 1. Трассы следования обследуемых маршрутов.

Вместе с тем, действующие нормативные правовые акты, устанавливающие показатели качества и их нормативные значения, во многом не учитывают факторы, влияющие на качество сервиса пассажиров в салоне транспортного средства [7; 8].

Целями исследования являются определение основных факторов, воздействующих на водителей и пассажиров в транспортном средстве, и проведение соответствующих инструментальных исследований.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования выбраны транспортные средства большого, среднего и малого класса, обслуживающие выбранные муниципальные маршруты регулярных перевозок.

По результатам ранее выполненного иерархического кластерного анализа, где в качестве меры близости использовано евклидово расстояние с одиночным правилом объединения кластеров с использованием метода Варда, выбрано 10 маршрутов, подлежащих оценке [9]. Схема трасс следования маршрутов, подлежащих анализу, приведена на рис. 1.

Измерения выполнялись в салоне транспортных средств, обслуживаемых



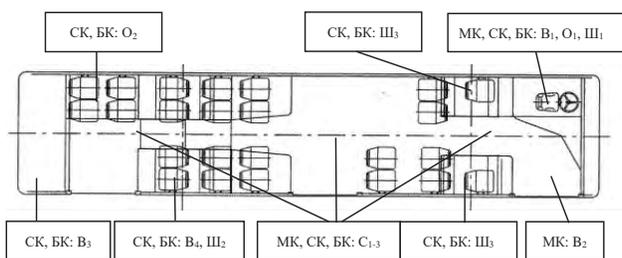


Рис. 2. Общая схема отбора проб и проведения измерений. Условные обозначения к рис. 2: МК – автобус малого класса; СК – автобус среднего класса; БК – автобус большого класса; Ш – место измерений уровней шума; В – место измерений уровней вибрации; О – место отбора проб воздуха и параметров микроклимата; С – места измерений параметров искусственного освещения.



Рис. 3. Процесс выполнения измерений в транспортном средстве большого класса.



Рис. 4. Процесс выполнения измерений в транспортных средствах малого класса.

коммерческими предприятиями в рамках государственных контрактов на оказание услуг по обеспечению транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом общего пользования на маршрутах регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом в городском сообщении.

В качестве транспортного средства большого класса был выбран ЛиАЗ-5292.65, среднего класса – ЛиАЗ-4292.60 и малого класса – Ford Transit.

Выполнены инструментальные исследования и отбор проб:

- 1) отбор проб воздуха для химического анализа на предельно допустимые концентрации углеводородов, формальдегида, углерода (II) оксида и азота диоксида;
- 2) измерение параметров микроклимата (температура воздуха, °С; относительная влажность, %; скорость движения воздуха, м/с);
- 3) измерение параметров искусственного освещения (общая освещённость, Лк; коэффициент пульсации, %);
- 4) измерение уровня шума;
- 5) измерение вибрации.

Все используемые средства измерений прошли государственную метрологическую поверку.

Схема отбора проб и проведения измерений в автобусах малой, средней и большой вместимости приведены на рис. 2.

Оценка выбранных параметров проводилась в осенне-зимний период.

Процесс выполнения измерений в салоне транспортных средств представлен на рис. 3, 4.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Уровень общей вибрации в салоне транспортного средства. Измерения производились в салоне транспортного средства. Диск с вибропреобразователем устанавливался в измерительных точках V_i (рис. 2 – точки измерения вибрации – V_i).

Целью данного вида исследований являлась инструментальная оценка уровней общей вибрации на рабочем месте водителя и пассажиров (согласно [10]) и сравнение измеренных величин с предельно допустимыми уровнями, приведёнными в нормативных документах [10–12].

Источниками общей вибрации на рабочем месте водителя и в пассажирском салоне является работа двигателя внутреннего сгорания и работа трансмиссии. Общая вибрация в V_1 нормируется уровнями компонент виброускорений в октавах от 1 Гц по 63 Гц [13, п. 1]. Превышение любого нормируемого параметра считается превышением ПДУ.

Вспомогательным средством измерений уровня вибрации был диск для крепления вибропреобразователей в соответствии с [13].

При проведении измерений основными нормативно-правовыми документами служили [10–16].

Калибровка виброметра перед началом измерений составила – пиковое значение ускорения 10 м/с^2 , после проведения измерений – 10 м/с^2 .

Измерения уровней общей вибрации проводились по методике, изложенной в [13], а их результаты оценивались в соответствии с [12]. Платформа с закреплённым на ней трёхкомпонентным вибропреобразователем устанавливалась на сиденье в салоне транспортного средства в измерительных точках V_i . В точках VT_i горизонтальная ось X вибропреобразователя была направлена параллельно-продольной оси машины, ось Y – перпендикулярно оси X , а ось Z – вертикально (правая система координат).

Измерения производились согласно методике [13]:

- на стоянке, при закрытых дверях и окнах автобуса, при выключенном двигателе (фоновые значения);
- на стоянке, при закрытых дверях и окнах автобуса, при включённом двигателе во время работы прогретого двигателя автобуса при холостых оборотах 1000 об./мин (согласно показаниям тахометра);
- при движении автобуса по улице, свободной от автотранспорта (в соседних полосах), без отражающих конструкций по обочинам, на прямой передаче, со скоростью 55 км/ч.

Измерения проводились в точках:

- на рабочем месте водителя (V_1);
- пассажирское кресло справа от водителя (V_2);
- пассажирское кресло возле двигателя (V_3);

- пассажирское кресло над задним мостом (V_4).

Стандартная неопределённость измерений уровней звукового давления составляет $+0,7 \text{ дБ(А)}$, общей вибрации $+1,5 \text{ дБ}$.

Измерения уровней компонент виброускорений по осям X, Y, Z (Дб) выполнено в разрезе по среднегеометрическим частотам октавных полос 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц.

Загрязняющие вещества. Количественный химический анализ воздуха выполнен в соответствии с [17–19]. Отбор проб и измерения проводились согласно методике [17]. В качестве определяемых компонентов определены формальдегид, углеводород, азот диоксид, углерод (II) оксид.

Отбор проб проводился на площадке стоянки, рабочем месте водителя (рис. 2, точка O_1) и в салоне транспортного средства возле двигателя (рис. 2, точка O_2) во время движения и стоянки.

Отбор проб и прямые измерения проводились в следующем порядке:

- 1) двигатель автобуса и системы трансмиссии прогревались в течение 20 минут;
- 2) во время движения со скоростью 40–50 км/ч (по показаниям приборов автобуса), при включённой системе отопления/кондиционирования/вентиляции автобуса проводился отбор проб воздуха в течение 20 минут и прямые измерения концентрации загрязнителей в транспортном средстве малого класса и в двух точках в транспортных средствах среднего и большого классов: на рабочем месте водителя и в салоне у двигателя;
- 3) автобус ставился на стоянке так, чтобы выхлопные газы сдувались ветром в сторону противоположную от автобуса, проводилось контрольное измерение концентрации угарного газа и углеводородов на площадке;
- 4) двигатель глушился, проводилось интенсивное проветривание салона автобуса;
- 5) закрывались двери и окна, включалась система вентиляции и кондиционирования в режиме рециркуляции и отбирались пробы воздуха, проводились измерения.

Условия отбора проб приведены на рис. 5.

Результаты анализа проб выполнены в сравнении со значениями предельно



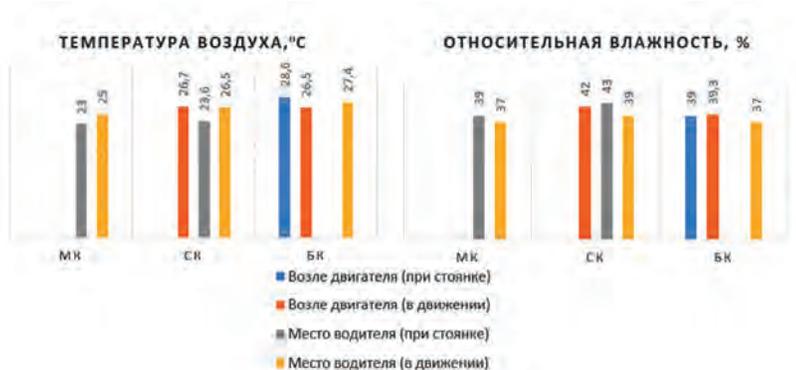


Рис. 5. Условия отбора проб.

Таблица 1

Параметры искусственного освещения

Точки измерения МК		Средняя освещённость, Лк		
		СК	БК	
C ₁	0,0 м	123±15	114±11	153±20
	1,0 м	193±35	150±22	205±28
C ₂	0,0 м	119±11	136±20	177±11
	1,0 м	177±35	251±34	270±39
C ₃	0,0 м	117±15	109±7	102±2
	1,0 м	180±40	147±21	202±35

допустимой концентрации, в том числе установленными Евросоюзом.

Максимальное значение уровня формальдегида составило 0,013 мг/м³ при проведении измерений на месте водителя при стоянке транспортного средства МК. Уровень углеводородов не превысил 50 мг/м³, а азот диоксида 0,042 мг/м³.

Максимальное значение углерод (II) оксида составило 2,9 на рабочем месте водителя в транспортном средстве МК при движении.

Освещённость. Измерения параметров искусственного освещения проводились в штатном режиме работы освещения салона, при работающем двигателе. Освещение – искусственное, верхнее, от потолочных светильников. Фоновая естественная освещённость составляет не более 5 %. Плоскость измерения – горизонтальная, на уровне пола и 1,0 м от пола. Рабочее напряжение в сети и установке в начале и в конце измерений U₁ = U₂ = 12 В.

Нормирование измерений параметров искусственного освещения выполнены в соответствии с [20–22].

Погрешность измерений Δ = не более 10 %. Коэффициент пульсации во всех точках измерений – 0 %. Результаты изме-

рения параметров искусственного освещения представлены в табл. 1.

Микроклимат. Для оценки параметров микроклимата были выполнены измерения температуры воздуха и относительной влажности в салоне транспортного средства. Начало измерений выполнено через 20 минут после приведения измерительного прибора в рабочий режим. Кратность измерений – три раза в каждой точке (рис. 2, точки C₁–C₃), с промежутком не менее пяти минут. Результаты измерений параметров микроклимата представлены на рис. 5. Расширенная неопределённость измерений U_p = ± 10 %.

При измерении параметров микроклимата в транспортном средстве малого класса температура воздуха на улице составляла 5,5°С, относительная влажность 72 %, атмосферное давление 755 мм. рт. ст.

При измерении параметров микроклимата в транспортном средстве среднего класса температура воздуха на улице составляла 13,5°С, относительная влажность 69 %, атмосферное давление 751 мм. рт. ст.

При измерении параметров микроклимата в транспортном средстве большого класса температура воздуха на улице со-

ставляла 14,7°C, относительная влажность 67 %, атмосферное давление 748 мм.рт.ст.

Шум. Измерения уровней акустического шума производились в салоне транспортных средств. Штатив с микрофоном устанавливались в следующих измерительных точках Ш₁ (рис. 2 – точки измерения шума Ш₁).

Источниками шума на рабочем месте водителя и в пассажирском салоне являются работа двигателя внутреннего сгорания и работа трансмиссии, шум системы вентиляции и кондиционирования. Спектры шума широкополосные и не содержат тональных составляющих. Шум носит постоянный характер. Шум в Ш₁ нормируется: эквивалентными уровнями звука А – $LA_{эКВ}$; и уровнем звукового давления в октавных полосах частот. Превышение любого нормируемого параметра считается превышением ПДУ.

При проведении измерений основными нормативно-правовыми документами служили [11; 16; 20–24]. Инструментальная оценка уровней шума на рабочем месте водителя и пассажиров выполнена согласно [23] с последующим сравнением измеренных величин с предельно допустимыми уровнями, приведёнными в нормативных документах [11; 23].

Измерения производились:

- на стоянке, при закрытых дверях и окнах автобуса, при выключенном двигателе (фоновые значения);
- на стоянке, при закрытых дверях и окнах автобуса, при включённом двигателе во время работы прогретого двигателя автобуса при холостых оборотах 1000 об./мин (согласно показаниям тахометра);
- при движении автобуса по улице, свободной от автотранспорта (в соседних полосах), без отражающих конструкций по обочинам, на прямой передаче, со скоростью 55 км/ч.
- при движении автобуса по улице, свободной от автотранспорта (в соседних полосах), без отражающих конструкций по обочинам, на прямой передаче, со скоростью 50 км/ч, при разгоне до разрешённых 80 км/ч.

При измерениях штатив с микрофоном устанавливался в Ш₁. Микрофон был направлен вперёд и фиксировался на уровне головы водителя (смещённый вправо, в 0,2 м от головы водителя. Микрофон

направлен вперёд, по ходу движения). Измерения проводились в точках:

- на рабочем месте водителя (Ш₁);
- на пассажирском кресле над задним мостом (Ш₂);
- на пассажирском кресле возле водителя (Ш₃).

Измерения уровня звукового давления (дБ) выполнены в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ

В результате выполненных инструментальных измерений в салоне подвижного состава, обслуживающего выбранные муниципальные маршруты регулярных перевозок, установлено:

1. Количественный химический анализ воздуха показал, что концентрация исследованных веществ в воздухе салона автобуса не превышает ПДКМР (максимально разовое содержание в воздухе) и европейские нормы (нормы ВОЗ).

2. Параметры микроклимата в салоне подвижного состава в пределах рекомендованных норм.

3. Наличие искусственного освещения в салоне в пределах рекомендованных норм.

4. Уровни акустического шума и общей вибрации не превышают ПДУ.

Направлением дальнейших исследований является оценка выбранных показателей в весенне-летний период, с определением зависимости влияния временного периода измерений на значения полученных показателей.

Перспективным направлением является оценка уровней акустического шума и общей вибрации в салоне электробуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блудян Н. О., Пистун Е. И., Мороз Д. Г., Хейфиц П. И. Агломерационные проблемы организации эффективной транспортной системы // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2. – С. 3–13.
2. Блудян Н. О., Мороз Д. Г., Хейфиц П. И. Территориально-транспортное прогнозирование и планирование в московской агломерации // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 2. – С. 18–21.
3. Блудян Н. О., Рошин А. И., Антонов М. Н. К вопросу минимальных социальных стандартов транспортного обслуживания населения // Депонированная рукопись № 754-В2009. – 30.11.2009.



4. 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.
5. Блудян Н. О. К концепции развития транспортного обслуживания населения в московском регионе // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 2. – С. 11–13.
6. Блудян Н. О., Айриев Р. С. Агломерационные подходы к решению транспортных проблем // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 8. – С. 2–7.
7. Распоряжение Минтранса России от 31.01.2017 г. № НА-19-р «Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом». [Электронный ресурс]: https://special.mintrans.ru/upload/iblock/736/rasp_mt_na_19r_31012017.pdf. Доступ 27.02.2019.
8. Распоряжение Министерства транспорта РФ от 13 апреля 2018 г. № НА-55-р «О внесении изменений в социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом, утверждённый распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 31 января 2017 г. № НА-19-р». [Электронный ресурс]: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837354/#ixzz5W5Ft8hwK> свободный. Доступ 27.02.2019.
9. Кудряшов М. А., Айриев Р. С., Овнянц Г. М. Кластерный анализ маршрутов новой модели управления НГПТ // Мир транспорта. – 2019. – № 17 (4). – С. 182–195.
10. ГОСТ Р 55855-2013. Автомобильные транспортные средства. Методы измерения и оценки общей вибрации. Национальный стандарт Российской Федерации: изд. офиц.: введён впервые 01.09.2014 / Федер. агентство по технич. регулированию и метрологии; Центр. Ордена Труд. Крас. Знамени науч.-исслед. автомоб. и автомотор. ин-т «НАМИ». – М.: Стандартинформ, 2014. – Вып. II. – 12 с.
11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 г. № 81 «Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». [Электронный ресурс]: <http://base.garant.ru/71462000/>. Доступ 05.03.2019.
12. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.01.2001 г. № 40). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/901703281>. Доступ 05.03.2019.
13. Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка её воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31319-2006 (ЕН14253:2003): введён впервые 01.07.2008 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Стандартинформ, 2008. – Вып. IV. – 18 с.
14. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования (введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2007 г. № 362-ст). [Электронный ресурс]: <http://base.garant.ru/194028/>. Доступ 05.03.2019.
15. МУ № 39311-85 «Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценке производственной вибрации». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200031678>. Доступ 05.03.2019.
16. Руководство по эксплуатации измерителя акустического многофункционального «Экофизика» ПДКУ.411000.001.01РЭ. [Электронный ресурс]: http://www.octava.info/files/doc/Эксплуатационная%20документация%20на%20средства%20измерений%20РУС/Руководства%20по%20эксплуатации/Экофизика-Руководство%20по%20эксплуатации/ПКДУ_411000_001РЭ.pdf. Доступ 05.03.2019.
17. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33554-2015. Автомобильные транспортные средства. Содержание загрязняющих веществ в воздухе кабины водителя и пассажирского помещения. Технические требования и методы испытаний (введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 июня 2016 г. № 683-ст) [Электронный ресурс]: <http://base.garant.ru/71650610/>. Доступ 05.03.2019.
18. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989 г., Главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989 г.) (ред. от 11.02.2016 г.) [Электронный ресурс]: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24758&md=2EEA95896EEDD5B445EC990B780AF9A9&from=10899-5#090030565395736>. Доступ 05.03.2019.
19. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 г. № 114 (ред. от 30.08.2016 г.) «О введении в действие ГН 2.1.6.1338-03» (вместе с «ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. Гигиенические нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21.05.2003 г.) [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42954/. Доступ 05.03.2019.
20. ГОСТ 23337-2014. Межгосударственный стандарт. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий (введён в действие Приказом Росстандарта от 18.11.2014 г. № 1643-ст) из информационного банка «Строительство». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200114242>. Доступ 05.03.2019.
21. ГОСТ ISO 9612-2016. Межгосударственный стандарт. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах (введён в действие Приказом Росстандарта от 21.10.2016 г. № 1481-ст) из информационного банка «Строительство». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200140579>. Доступ 05.03.2019.
22. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. № 36). [Электронный ресурс]: <http://base.garant.ru/4174553/>. Доступ 05.03.2019.
23. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33555-2015. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний (введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июня 2016 г. № 663-ст). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200136410>. Доступ 05.03.2019.
24. МР 4.3.00008-10. Применение акустических калибраторов шумомеров и оценка неопределённости измерений. [Электронный ресурс]: http://rospotrebнадзора.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4608. Доступ 05.03.2019.



Bus Passenger Transportation Quality Indicators: Organization of Instrumental Research of Additional Environmental and Sanitary Factors



Maxim A. KUDRYASHOV



Radion S. AIRIEV

*Kudryashov, Maxim A., Mosgortrans State Unitary Enterprise, Moscow, Russia.
Airiev, Radion S., Mosgortrans State Unitary Enterprise, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

The increase in vehicle-to-population ratio, in the number of personal cars and of individual travels defines extra requirements to the public transport service quality and safety within the public municipal passenger transport system.

However, while specifying such requirements, the relevant regulations do not always consider the factors important for passenger service quality and driver work such as comfort and more general health and environmental standards.

The purpose of the research is to identify additional factors that affect the city bus passenger service quality, to develop experimental test procedure and to conduct instrumental analysis of the transport service quality in accordance with the social standard as well as of additional parameters that influence it.

The article presents the results of the following parameter measurements and sampling taken in the Moscow city buses: pollutants (hydrocarbons, formaldehyde, carbon (II) oxide and nitrogen dioxide) and artificial lighting (total illumination, lux, percent flicker, %), noise level, vibration, micro-climate.

Based on measurements of harmful substances in the air of the bus passenger compartment, parameters of the micro-climate, artificial lighting, acoustic noise levels and general vibration, it was stated that they are within the limits of the permissible norms including those set by the European Union and WHO. Hence, the public transport service quality with reference to the proposed group of additional factors complies with standard requirements. It is proposed to extend the researches to other seasons as well as to other types of vehicles.

***Keywords:** transport, urban public transport, transport service quality, new management model for land municipal passenger transport (NMM for LMPT), noise, vibration, micro-climate, pollutants, artificial lighting, Moscow.*

*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.

Airiev, Radion S. – Adviser to Deputy Director General of Mosgortrans [Moscow City Transport] State Unitary Enterprise, Moscow, Russia, ayrievs@mail.ru.

Article received 01.03.2019, accepted 30.08.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 272.

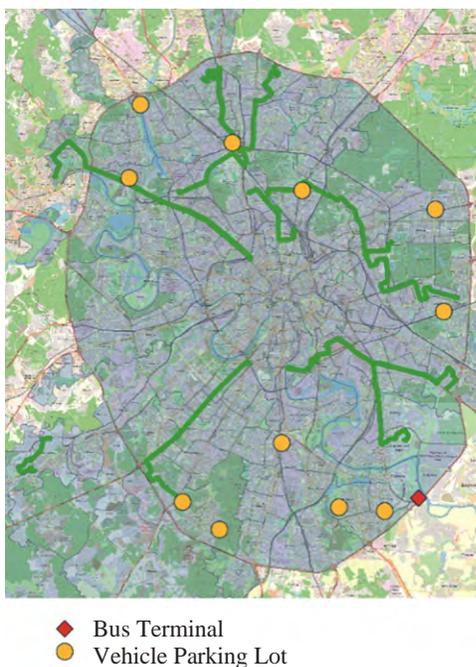
Introduction

Following the growth of the vehicle-to-population ratio, the number of private cars and individual trips in Moscow, extra requirements are applied to the public transport service quality and safety in the public municipal passenger transport system [1].

Based on an analysis of the current state of the municipal passenger transport system [2], previous scientific researches [3–5] and assessment of the best foreign experience [6], Moscow City Department of transport and road infrastructure development has been implementing a number of projects focused on significant improvement of transport service quality and safety. The most important activity for improving the public transport service quality when using the land municipal passenger transport is the transition to a new management model in Moscow (NMM for LMPT). NMM for LMPT provides integration of private motor transport enterprises into the Moscow public transport system with transition to common service standards.

The commercial motor transport enterprises are admitted to the operation of regular city passenger routes based on the public contracts following the results of the open tenders.

With the transition to the NMM for LMPT, a new route network has been developed and



Pic. 1. Trajectories of the routes to be examined.

implemented considering duplicate route elimination, traffic congestion reduction, traffic interval reductions and subsequent adjustment of the timetable. Optimal class of vehicles has been determined for each route.

Provision is made for the automatic control of transport service quality as well as for field monitoring the rolling stock operation. The set of controlled parameters was determined: compliance with the route, speed mode, respect of timetable, compliance of type of vehicles to the contracted one; cleanliness of the passenger compartment, serviceability of the ramp for people with limited mobility, etc.

However, current regulatory instruments and laws governing quality indicators and their normalized values take no account of the factors, which influence the passenger service quality inside the vehicle [7; 8].

The *objective* of the research is to identify major factors that affect the drivers and passengers inside the vehicle and to perform the relevant *instrumental analyses*.

Determining conditions of testing

Large, medium and small vehicles serving the chosen regular municipal routes were selected as target objects of research.

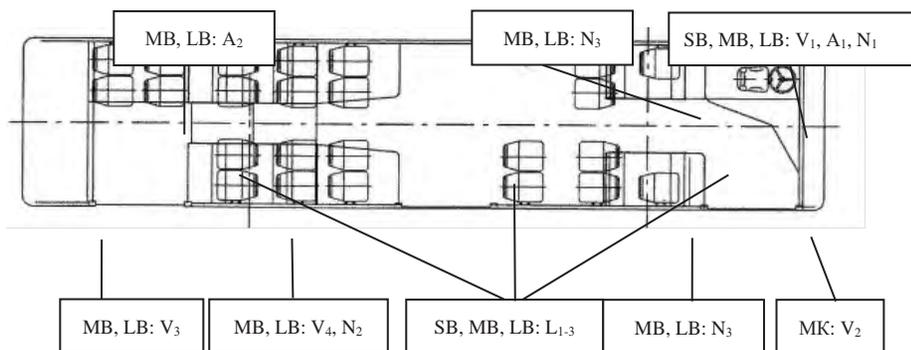
Based on the results of the previous hierarchical cluster analysis using Euclidean distances as a distance measure and single-linkage clustering according to the Ward's method, 10 routes have been selected to be assessed [9]. Diagram of the routes to be assessed is shown in Pic. 1.

Measurements were performed inside the vehicles served by commercial enterprises within the public contracts for provision of public transport services using motor vehicles on the regular city passenger and luggage routes.

LiAZ-5292.65 was chosen as a large-class vehicle, LiAZ-4292.60 was chosen as a medium-class vehicle and Ford Transit as a small-class vehicle.

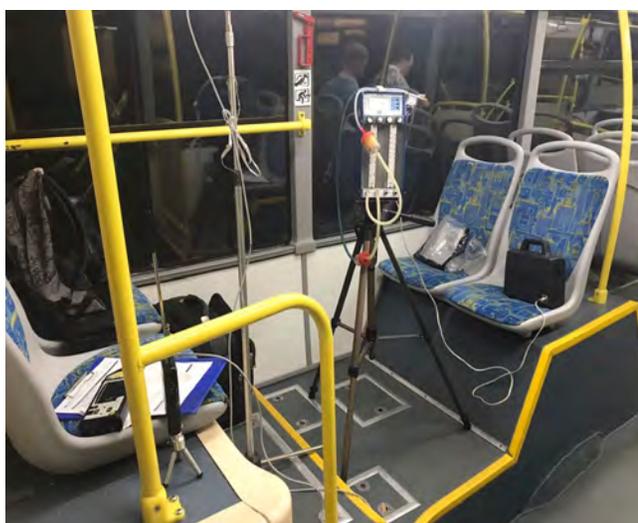
The following instrumental analysis and sampling were performed:

1. air sampling for chemical analysis in search for saturated hydrocarbons, formaldehyde, carbon (II) oxide and nitrogen dioxide;
2. micro-climate parameter measuring (air temperature, C , relative air humidity, %, air velocity, m/s);



Pic. 2. General sampling and measuring diagram.

References for Pic. 2: SB – Small Bus; MB – Medium Bus; LB – Large Bus; N – Noise level measuring point; V – Vibration measuring point; A – Air sampling point and micro-climate parameter measuring point; L – Artificial lighting parameter measuring points.

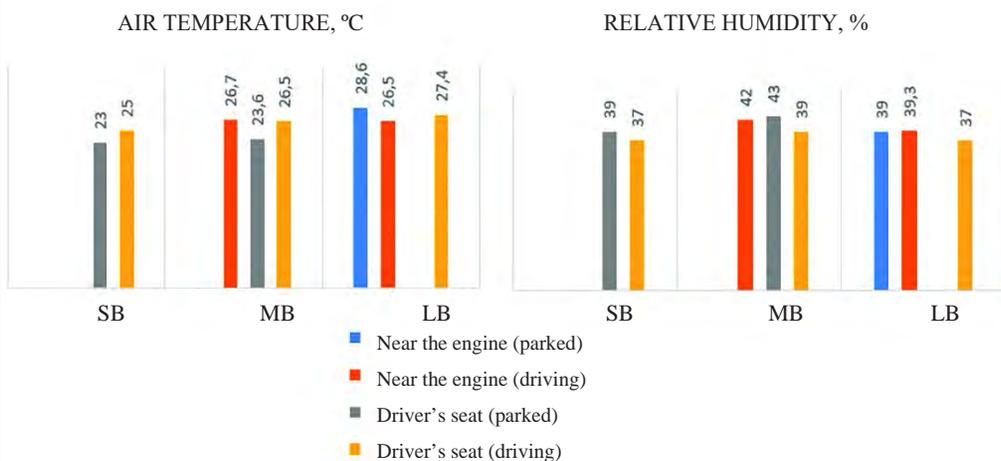


Pic. 3. Measuring process inside the large vehicle.



Pic. 4. Measuring process inside the small vehicle.





Pic. 5. Sampling Conditions.

3. artificial lighting parameter measuring (total illumination, lux, percent flicker, %);
4. noise-level measuring;
5. vibration measuring.

All used measuring instruments have passed the state metrological calibration test.

The diagram for sampling and measuring in the small, medium and large buses is shown in Pic. 2.

The selected parameters were evaluated in the autumn-winter period.

Measuring process inside the vehicles is presented in Pics. 3, 4.

Measuring process management

General vibration inside the vehicles.

Measurements are performed inside the vehicles. The vibration inverter mounting (vpm) disk is fixed at the measuring points B_i (Pic. 2 – vibration measuring points – B_i).

The purpose of this analysis was an instrumental evaluation of the general vibration levels at the driver's and passengers' seats according to [10] and a comparison of the measured values with the maximum permissible levels stated in regulatory documents [10–12].

The running engine and transmission noise acts as a source of general vibration at the driver's seat and inside the passenger compartment. General vibration at B_i is specified by the vibration acceleration component levels within octave interval from 1 Hz to 63 Hz [13, it. 1]. Exceeding any specified parameters is considered as exceeding the maximum acceptable level.

The vibration inverter mounting disk was used as an auxiliary instrument for measuring the vibration level according to [13].

During measuring, the main legal documents used were [10–16].

Prior to measuring, the vpm meter calibration was 10 m/s^2 (peak acceleration value) and after measuring, it was 10 m/s^2 .

General vibration level measurements were performed by the procedure stated in [13] and their results were evaluated according to [12]. The three-component vibration inverter mounting platform was fixed on the seat inside the vehicles at the measuring points B_i . At points BT_i the horizontal vibration inverter axis X was directed parallel to the vehicle center line, axis Y was perpendicular to axis X and axis Z was directed vertically (right-handed coordinate system).

These measurements were performed by the procedure stated in [13]:

- in the parking lot, with the bus's closed doors and windows, with power off (background values);
- in the parking lot, with the closed doors and windows of the bus, power on, during operation of the warm engine at idle at 1000 rpm (according to the tachometer);
- when driving through a vehicle-free street (no other vehicles in adjacent lanes), without reflective structures on the roadside, using direct transmission, at 55 km/h.

Measurements were performed at the following points:

- at the driver's seat (B_1);
- at the passenger seat to the right of the driver (B_2);

Table 1

Artificial Lighting Parameters

Measuring Points Small Bus		Average illumination, lux		
		Medium Bus	Large Bus	
C ₁	0,0 m	123±15	114±11	153±20
	1,0 m	193±35	150±22	205±28
C ₂	0,0 m	119±11	136±20	177±11
	1,0 m	177±35	251±34	270±39
C ₃	0,0 m	117±15	109±7	102±2
	1,0 m	180±40	147±21	202±35

- at the passenger seat near the engine (B₃);
- at the passenger seat above the rear axle (B₄).

Standard test uncertainty regarding sound pressure level is +0,7 dB(A), regarding general vibration it is +1,5 dB(A).

Measurements of the vibration acceleration component levels along axes X, Y, Z (dB) were performed in the range of the octave band center frequencies of 2, 4, 8, 16, 31,5 and 63 Hz.

Pollutants quantitative. Chemical air analysis is carried out in accordance with [17–19]. Sampling and measurements were performed by the *procedure* stated in [17]. The searched components are as follows: formaldehyde, hydrocarbon, nitrogen dioxide, carbon (II) oxide.

The samples were taken in the parking lot, at the driver's seat (Pic. 2, point O₁) and inside the vehicle near the engine (Pic. 2, point O₂) while driving and parking.

Sampling and direct measurements were performed in the following order:

1. the bus engine and transmission systems warmed up for 20 minutes;

2. when driving at 40–50 km/h (according to the bus metering devices), when the bus heating/ventilation/air conditioning system was in operation. Air samples were taken within 20 minutes, and direct measuring of concentration of pollutants inside the small vehicle as well as at 2 points inside the medium and large vehicles (at the driver's seat and near the engine in the passenger compartment) was made;

3. the bus was parked so that the exhaust fumes were blown away by the wind towards the opposite of the bus, a control measure of carbon monoxide and hydrocarbon concentrations at the site was carried out;

4. the engine was shut down, there was an intensive airing of the bus compartment;

5. doors and windows were closed, ventilation and air conditioning system was switched on in recycling mode and, under these conditions, the air samples were taken, measurements were performed;

Sampling conditions are shown in Pic. 5.

The sample analysis results have been compared with the values of the maximum permissible concentration, including the values set by the European Union.

Maximum formaldehyde content was 0,013 mg/m³ when measuring at the driver's seat whilst the small-class vehicle was parked. Hydrocarbon level did not exceed 50 mg/m³ and nitrogen dioxide level did not exceed 0,042 mg/m³.

Maximum carbon (II) oxide content was 2,9 at the driver's seat in the small vehicle while driving.

Lighting. Artificial lighting parameters were measured during normal operation of interior lighting with running engine. Provision is made for artificial, top lighting with ceiling fittings. Background natural illumination was no more than 5 %. The measurement plane is horizontal, measuring was carried out at the floor level and 1,0 m from the floor. The operating voltage of mains and installation at the beginning and end of measuring was $U_1 = U_2 = 12$ V.

Normalization of measurements of artificial lighting parameters was performed in accordance with [20–22].

Uncertainty in measures Δ was no more than 1,0 %. Percent flicker was 0 % at all measuring points. The results of measurements of artificial lighting parameters are stated in Table 1.



Micro-climate. Air temperature and relative humidity measurements were performed inside the vehicle to evaluate the micro-climate parameters. The measurements started 20 minutes after the measurement device had been put into working mode. Measuring frequency was equal to three times at each point (Pic. 2, points C_1-C_3) with no less than 5 minutes interval. The results of measurements of micro-climate parameters are stated in Pic. 5. Expanded test uncertainty $U_p = \pm 10 \%$.

When measuring the micro-climate parameters in the small vehicle, the outdoor air temperature was 5,5 C, relative humidity was 72 %, atmospheric pressure was 755 mm Hg.

When measuring the micro-climate parameters in the medium vehicle, the outdoor air temperature was 13,5 C, relative humidity was 69 %, atmospheric pressure was 751 mm Hg.

When measuring the micro-climate parameters in the large vehicle, the outdoor air temperature was 14,7 C, relative humidity was 67 %, atmospheric pressure was 748 mm Hg.

Noise. Acoustic noise levels were measured inside the vehicles' compartments. A microphone stand was mounted at the following measuring points N_i (Pic. 2 – Noise measuring points N_i).

The running engine, transmission, ventilation and air conditioning system noise acts as a noise source at the driver's seat and inside the passenger compartment. Spectrums of noise are broadband and do not contain tonal components. Noise is constant in character. Noise at N_i is specified by energy equivalent sound levels $A - LA_{eq}$; and octave band sound pressure level. Exceeding any specified parameters is considered as exceeding the maximum acceptable level.

During measuring, the main legal documents used were [11; 16; 20–24]. The instrumental evaluation of the noise levels at the driver's and passengers' seats was made according to [23] followed by comparison of the measured values with the maximum permissible levels stated in the regulatory documents [11; 23].

The measurements were performed:

- in the parking lot, with the closed bus doors and windows, with power off (background values);
- in the parking lot, with the closed doors and windows of the bus, with power on, during

operation of the warm engine at idle at 1000 rpm (according to the tachometer);

- when driving through a vehicle-free street (no vehicles in adjacent lanes) without reflective structures on the roadside, on direct transmission at 55 km/h.

- when driving through a vehicle-free street (no vehicles in adjacent lanes) without reflective structures on the roadside, on direct transmission at 50 km/h, with acceleration to the permissible 80 km/h.

When measuring the microphone stand was mounted at N_1 . The microphone was pointed forward and fixed at the driver's head height (shifted to the right, 0,2 meters from the driver's head. The microphone was directed forward in the direction of travel). Measurements were performed at the following points:

- at the driver's seat (N_1);
- at the passenger seat above the rear axle (N_2).

- At the passenger seat near the driver (N_3).

Measuring of the octave band sound pressure levels (dB) was performed within geometric mean frequencies of 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 Hz.

Results of instrumental analysis and conclusions

The results of the instrumental analysis made inside the vehicles serving the chosen regular municipal routes show the following:

1. Quantitative chemical air analysis reveals that concentration of the examined air pollutant inside the bus does not exceed one-time maximum permissible concentration of air pollutant and European Norms (WHO Standards).

2. The micro-climate parameters inside the vehicles fall within the limits of the recommended standards.

3. The artificial lighting availability inside the bus fall within the limits of the recommended standards.

4. The acoustic noise and general vibration levels do not exceed maximum acceptable level.

The further research will be aimed at evaluating the selected indicators in the spring-summer period and might reveal a seasonal dependence of the resulting values.

A promising direction is to assess the levels of acoustic noise and general vibration inside the electric omnibus.

REFERENCES

1. Bludyan, N. O., Pistun, E. I., Moroz, D. G., Hayfits, P. I. Agglomeration problems in providing the efficient transport system. *Automation and Control of Engineering Systems*, 2014, No. 2, pp. 3–13.
2. Bludyan, N. O., Moroz, D. G., Hayfits, P. I. Regional transportation forecasting and planning in Moscow metropolitan area. *Motor Transport Enterprise*, 2014, No. 2, pp. 18–21.
3. Bludyan, N. O., Roshchin, A. I., Antonov, M. N. On the question of minimum social standards of public transport services. Deposited manuscript No. 754-B2009, 30.11.2009.
4. Bludyan, N. O., Airiev, R. S., Kudryashov, M. A. Basic procedures of the management of the combined passenger service. *World of Scientific Discoveries*, 2015, No. 10-3 (70), pp. 1249–1259.
5. Bludyan, N. O. To the concept of public transport service development in the Moscow region. *Motor Transport Enterprise*, 2009, No. 2, pp. 11–13.
6. Bludyan, N. O., Airiev, R. S. Agglomeration approaches to resolve the transportation problems. *Motor Transport Enterprise*, 2014, No. 8, pp. 2–7.
7. Mintrans of Russia Regulation No. NA-19-r dated 31.01.2017 to approve the social standard of public transport services during the carriage of passengers and luggage by motor transport and city ground-based electric transport. [Electronic source]: https://special.mintrans.ru/upload/iblock/736/rasp_mt_na_19r_31012017.pdf. Last accessed 27.02.2019.
8. Mintrans of Russia Regulation No. NA-55-r dated April 13, 2018 to amend the social standard of public transport services during the carriage of passengers and luggage by motor transport and city ground-based electric transport approved by the Mintrans of Russia Regulation No. NA-19-r dated 31.01.2017. [Electronic source]: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837354/#ixzz5W5Ft8hwK> Free Last accessed 27.02.2019.
9. Kudryashov, M. A., Airiev, R. S. Cluster Analysis of the Routes of a New Management Model for LMPT. *World of Transport and Transportation*, 2019, No. 17 (4), pp. 182–195.
10. GOST R [Russian state standard] 55855-2013. Motor vehicles. Methods of measurement and evaluation of general vibrations Russian National Standard, official edition, original enactment, came into force: 2014-09-01. Federal Agency on technical regulation and metrology, central scientific research automobile and automotive engines institute of the order of the red banner of labor. Moscow, Standartinform, 2014, II, 12 p.
11. Resolution of chief state sanitary doctor of the Russian Federation No. 81 dated June 21, 2016 regarding approval of SanPiN 2.2.4.3359-16 Public health requirements to physical factors at work. [Electronic source]: <http://base.garant.ru/71462000/>. Last accessed 05.03.2019.
12. SN 2.2.4/2.1.8.566-96. The sanitary norms of industrial vibration, vibration of residential and public buildings (approved by the RF SCSES Resolution No. 40 dated 01.01.01). [Electronic source]: <http://docs.cntd.ru/document/901703281>. Last accessed 05.03.2019.
13. Vibration. Measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration. Practical guidance for measurement at the workplace: Interstate Standard GOST 31319-2006 (EH14253:2003): original enactment came into force: 2008-07-01. Interstate council for standardization, metrology and certification. Moscow, Standartinform, 2008, IV, 18 p.
14. Interstate standard GOST 12.1.012-2004. Occupational safety standards system. Vibration safety. General requirements (put into effect by the order of Federal Agency on technical regulation and metrology No. 362-st dated Dec. 12, 2007 [Electronic resource]: <http://base.garant.ru/194028/>. Last accessed 05.03.2019.
15. MU No. 39311–85. Methodology guidelines for measuring and hygienic assessment of industrial vibration. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200031678>. Last accessed 05.03.2019.
16. Operation manual of multiple acoustic meter Ekofizika, PDKU.411000.001.01RE. [Electronic resource]: http://www.octava.info/files/doc/Эксплуатационная%20документация%20на%20средства%20измерений%20РУС/Руководства%20по%20эксплуатации/Экофизика-Руководство%20по%20эксплуатации/ПКДУ_411000_001РЭ.pdf. Last accessed 05.03.2019.
17. Interstate standard GOST 33554-2015. Motor vehicles. The pollutant content of air of the driver's and passengers' compartment. Technical specification and test procedure (put into effect by the order of Federal Agency on technical regulation and metrology No. 683-st dated June 27, 2016 [Electronic resource]: <http://base.garant.ru/71650610/>. Last accessed 05.03.2019.
18. RD52.04.186-89. Air pollution supervision manual (app. by State Committee for Hydrometeorology of the USSR on 01.06.1989 by Chief State Medical Officer of the USSR on 16.05.1989) (Rev. of 11.02.2016) [Electronic resource]: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24758&rnd=2EEA95896EED5B445EC990B780AF9A9&from=10899-5#0900305653958736>. Last accessed 05.03.2019.
19. Resolution of chief state sanitary doctor of the Russian Federation No. 114 of 30.05.2003 (Rev. of 30.08.2016) On putting into force of HS2.1.6.1338-03 (along with HS2.1.6.1338-03. Maximum Permissible Concentration of Community Air Pollutants. Hygienic normative, app. by RF Chief State Medical Officer on 21.05.2003). [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42954/. Last accessed 05.03.2019.
20. GOST 23337-2014. Interstate Standard. Noise measuring method at the residential areas and in accommodation and public facilities (put in force by the Order of Rosstandart No. 1643 of 18.11.2014) from Stroitelstvo databank. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200114242>. Last accessed 05.03.2019.
21. GOST ISO 9612-2016. Interstate standard. Acoustics. Noise measurement for evaluating its human exposure. Measuring method at workplaces (put in force by the Order of Rosstandart No. 1481-st of 21.10.2016) from Stroitelstvo databank. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200140579>. Last accessed 05.03.2019.
22. Sanitary norms SN 2.2.4/2.1.8.562-96. Noise at workplaces, accommodation rooms and public facilities and residential area (approved by the RF SCSES Resolution No. 36 of Oct. 31, 1996). [Electronic resource]: <http://base.garant.ru/4174553/>. Last accessed 05.03.2019.
23. Interstate standard GOST 33555-2015. Motor vehicles. Internal noise Permissible levels and test procedure (put into effect by the Order of Federal Agency on Technical Regulation and Metrology No. 663-st dated June 22, 2016. [Electronic resource]: [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200136410>. Last accessed 05.03.2019.
24. MR4.3.00008-10. Use of audio-noise meter acoustic calibrators and evaluation of test uncertainty. [Electronic resource]: http://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4608. Last accessed 05.03.2019.





Совершенствование механизмов обеспечения экономической безопасности транспортного комплекса



Семенов Максим Алексеевич – ООО «ПромСпецКонтроль», Москва, Россия.*

Максим СЕМЕНОВ

В условиях перехода к интенсивному и инновационному типу развития экономики устойчивое функционирование транспортного комплекса является гарантом экономического роста и поддержания экономической безопасности страны.

Целью работы является разработка рекомендаций по обеспечению экономической безопасности транспортного комплекса на основе цифровизации. Основным методом исследования является усовершенствованный индикативный метод.

Автором проанализирована динамика показателей состояния экономической безопасности за период 2000–2019 гг. и сделан вывод о том, что в настоящее время угроза экономической безопасности отсутствует. Тем не менее некоторые показатели демонстрируют неустойчивую тенденцию, что свидетельствует о возможном появлении угрозы экономической безопасности в будущем.

Развитие транспортной системы, обуславливающее повышение качества предоставляемых услуг и снижение затрат на перевозки, обеспечивает транспортную составляющую национальной экономической безопасности. Ограничения, снижающие эффективность функционирования транспорта, выступают в качестве отраслевых угроз экономической безопасности.

Обосновано, что для развития транспортного комплекса и предотвращения угроз экономической безопасности необходимо использовать возможности, которые предоставляет цифровизация.

Цифровизация должна осуществляться за счёт создания единого цифрового пространства, в котором будут взаимодействовать субъекты и объекты транспортного комплекса. Определено, что со стороны государственного регулятора транспортного комплекса созданы серьёзные предпосылки для цифровизации. Благодаря цифровизации возможно сократить издержки, повысить производительность труда, надёжность и безопасность, повысить качество и доступность транспортных услуг, расширить их номенклатуру, увеличить открытость и прозрачность рынка транспортных услуг. Переход на качественно новый уровень развития транспортного комплекса будет способствовать росту показателей состояния экономической безопасности.

Основой данного цифрового пространства должна стать цифровая платформа транспортного комплекса, которая будет обеспечивать его регуляцию и координацию.

Ключевые слова: экономическая безопасность, угрозы, транспортный комплекс, мониторинг, Транспортная стратегия, цифровизация.

*Информация об авторе:

Семенов Максим Алексеевич – помощник менеджера по развитию бизнеса, ООО «ПромСпецКонтроль», Москва, Россия, livsh@list.ru.

Статья поступила в редакцию 02.09.2019, принята к публикации 03.12.2019.

For the English text of the article please see p. 298.

Обеспечение экономической безопасности транспортного комплекса принадлежит к числу важнейших приоритетов транспортной политики государства, поскольку является условием надёжного обеспечения экономической безопасности на всех уровнях и условием эффективного развития социально-экономической системы.

По мнению ряда авторов, под экономической безопасностью понимается прогрессивное, устойчивое к воздействию внешних и внутренних угроз развитие экономической системы за счёт преобразования негативных условий среды, причин и оснований возможного ущерба в факторы роста, позволяющие гарантировать защиту национальных интересов государства и обеспечить социальную направленность политики при сохранении внутреннего потенциала государства [1].

Транспортный комплекс должен быть способен к осуществлению своей главной функции в рамках социально-экономической системы, которая предполагает полное удовлетворение потребностей в перевозках грузов и пассажиров с возрастающим качеством транспортного обслуживания. Свою главную функцию он должен осуществлять при условии сохранения высокой конкурентоспособности на рынках транспортных услуг, обеспечивая в полном объёме экономические и финансовые условия текущей деятельности и стратегического развития. Вся организация транспортного производства и управления им должны обеспечить высокий уровень производительности и отдачи ресурсов, начиная с ресурсов труда и заканчивая финансовыми ресурсами [2].

Механизм управления экономической безопасностью в транспортной отрасли

должен опираться на комплексную оценку тенденций развития экономических процессов в отрасли, выявление угроз экономической безопасности, мониторинг фактических значений выбранных показателей и их пороговых значений. По результатам мониторинга разрабатываются предложения по стратегическому развитию отрасли, т.е. повышению уровня её экономической безопасности и меры по нейтрализации существующих угроз экономической безопасности [3].

Целью работы является исследование современного состояния экономической безопасности транспортного комплекса и разработка рекомендаций по её укреплению на основе цифровизации.

Методы исследования. Основным методом исследования является усовершенствованный индикативный метод, основанный на сопоставлении фактически достигнутых значений показателей и индикаторов безопасности с их пороговыми величинами. В исследовании также использовались общенаучные методы.

Эмпирическую базу исследования составляют данные Росстата, Минтранса, Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, Высшей школы экономики, консалтинговых компаний, интернет-источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели, выбранные для мониторинга экономической безопасности транспорта, должны характеризовать наиболее важные стороны транспортного обеспечения страны и иметь высокую информационную доступность. К таким показателями относятся:

- перевозки грузов;
- грузооборот;

Таблица 1

Прогноз перевозок грузов и грузооборота по базовому варианту развития транспортной системы России до 2030 года

	2007	2015	2018	2030
Перевозки грузов, млн т*	12164,4	11973,3	13083,6	17148,2
Грузооборот, млрд т * км*	2483,1	2880,4	3120,7	3822,2
Перевозки пассажиров транспортом общего пользования, млн человек	25305	22755,5	23827,4	28200,1
Пассажирооборот транспорта общего пользования, млрд пасс.-км	491,8	566,9	627,3	852,4

* без учёта трубопроводного транспорта. Составлено по данным, установленным в Транспортной стратегии РФ [4].



- перевозки пассажиров;
- пассажирооборот транспорта общего пользования.

Прогнозные значения этих показателей установлены в Транспортной стратегии Российской Федерации (табл. 1).

По базовому варианту (табл. 1) общий объём перевозок грузов транспортом возрастёт с 12,07 млрд т в 2007 г. до 17,1 млрд т в 2030 г. (на 41 %), грузооборот – с 2,48 трлн т • км до 3,8 трлн т • км (на 54 %).

Объём пассажирских перевозок транспортом общего пользования по базовому варианту (табл. 1) увеличится с 25,3 млрд пассажиров в 2007 г. до 28,2 млрд пассажиров (+11 %), пассажирооборот – с 491,8 до 852,4 млрд пасс.-км (+73 %).

Данные показатели едины для всех видов транспорта. Они используются при решении задач планирования, координации и взаимодействия транспортных отраслей и учёта на региональном и государственном уровнях [5].

Расчёт данных показателей производится следующим образом.

Перевозки грузов (объём перевозок грузов) – количество грузов в тоннах, перевезённых транспортом.

Объём перевозок грузов рассчитывается по следующей формуле:

$$\sum P_n = P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

где P_n – количество груза в тоннах, отправленного или перевезённого с 1, 2, ..., n пункта транспортной сети за определённый промежуток времени [6, с. 27].

Начальный момент процесса перевозок грузов отражается показателем «отправлено (отправление) грузов», конечный момент – показателем «прибыло (прибытие) грузов». По всем видам транспорта, кроме автомобильного, объём перевезённых грузов показан по моменту отправления. На автомобильном транспорте учёт перевезённых грузов осуществляется по моменту прибытия.

Грузооборот – объём работы транспорта по перевозкам грузов. Единицей измерения является тонно-километр. Исчисляется суммированием произведений массы перевезённых грузов в тоннах на расстояние перевозки в километрах:

$$\sum P_n \cdot L_n = P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + \dots + P_n \cdot L_n,$$

где $P_{1,2,n}$ – количество груза в тоннах, отправленного или перевезённого с 1, 2, ..., n

пункта транспортной сети за определённый промежуток времени;

$L_{1,2,n}$ – расстояние перевозки грузов [6, с. 27].

Перевозки пассажиров – число пассажиров, перевезённых за определённый период. Единицей наблюдения в статистике перевозок пассажиров является пассажиропоездка. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$\sum A_n = A_1 + A_2 + \dots + A_n,$$

где A_n – число перевезённых пассажиров за определённый промежуток времени.

Пассажирооборот характеризует перевозку пассажиров с учётом расстояний, на которые перевезены пассажиры. Единицей измерения является пассажиро-километр. Определяется путём суммирования произведений количества пассажиров по каждой позиции перевозки на расстояние перевозки:

$$\sum A_n \cdot L_n = A_1 \cdot L_1 + A_2 \cdot L_2 + \dots + A_n \cdot L_n,$$

где $A_{1,2,n}$ – число перевезённых пассажиров;

$L_{1,2,n}$ – расстояние перевозки пассажиров.

Выбранные индикаторы относятся к показателям-стимуляторам, поскольку их рост приводит к повышению уровня экономической безопасности. Вхождение в диапазон допустимых значений показателей трактуется как уменьшение вероятности появления угрозы экономической безопасности. Снижение показателя с последующим выходом за пределы нижней границы диапазона свидетельствует о появлении угрозы экономической безопасности. Нахождение показателя за пределами верхней границы диапазона свидетельствует об отсутствии угрозы экономической безопасности в текущий момент времени [7].

Диапазон допустимых значений каждого показателя состояния экономической безопасности рассчитывается на основании имеющейся статистической информации, после чего проводится оценка его верхней и нижней границы.

Перевозки грузов в России, как видно из рис. 1, осуществляются, главным образом, автомобильным транспортом. По данным Росстата, в 2017 г. на его долю пришлось 67 % всего объёма перевозок. На втором месте – железнодорожный транспорт

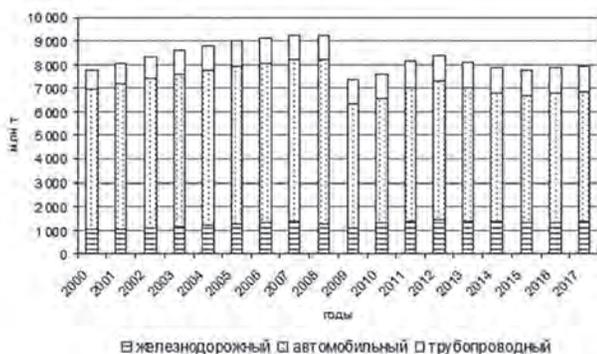


Рис. 1. Перевозки грузов по видам транспорта. Составлено по данным Росстата [8].

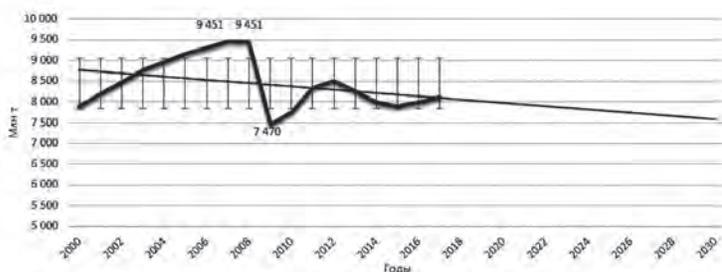


Рис. 2. Перевозки грузов всеми видами транспорта, млн тонн. Составлено по данным Росстата [8].

(17 %), на третьем – трубопроводный (14 %) [8].

Как показывает рис. 1, в 2009 г. произошёл резкий спад объёма грузовых перевозок на всех видах транспорта, кроме морского. В 2013 году произошёл второй, менее заметный спад, вызванный нарастанием экономического кризиса. На грузоперевозки негативно повлияли: резкое уменьшение инвестиций, экспорта, промышленного и сельскохозяйственного производства [9].

Объёмы автомобильных перевозок в течение последних восьми лет восстанавливаются медленно. Быстрый рост перевозок железнодорожным и трубопроводным транспортом в 2010 г. сменился стагнацией. Основной причиной такой динамики объёмов грузовых перевозок является замедление экономического роста.

Для проверки адекватности расчётов по определению диапазонов допустимых значений показателей состояния экономической безопасности используются такие параметры описательной статистики, как среднее значение показателя за весь анализируемый период (рассчитывается как

среднее арифметическое за весь период наблюдения), медианное значение (середина выборки чисел, когда половина значений больше данного числа, а другая половина меньше), стандартное отклонение (является базовым расчётным числом при определении верхней (прибавляется к среднему) и нижней (отнимается от среднего) границы диапазона допустимых значений показателя).

Графическая интерпретация результатов расчётов представлена на рис. 2.

На рис. 2 сплошной линией представлены фактические значения показателя за период 2000–2017 гг. Тонкой линией изображена линия тренда, которая показывает вероятное поведение анализируемого показателя в перспективе до 2030 года.

Вертикальными отрезками обозначены границы диапазона допустимых значений показателя, определённые на основании результатов описательной статистики. Указаны минимальное и максимальное значения показателя «Значение за период наблюдений».

Необходимо отметить, что фактическое значение показателя в 2009 г. находилось



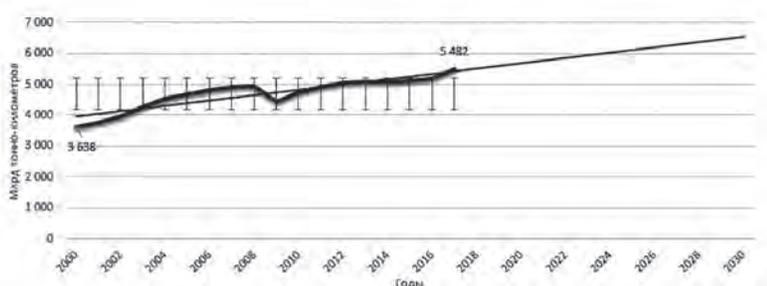


Рис. 3. Грузооборот по всем видам транспорта, млрд тонно-километров. Составлено по данным Росстата [8].

за пределами диапазона допустимых значений, что свидетельствует о возникновении угрозы экономической безопасности страны, поскольку связано с финансово-экономическим кризисом 2008–2010 гг. Сейчас показатель находится в пределах диапазона допустимых значений, что свидетельствует об отсутствии угрозы экономической безопасности в текущий момент времени.

Таким образом, основная рекомендация, касающаяся мониторинга показателя «Перевозки грузов всеми видами транспорта, млн тонн», заключается в необходимости отслеживания его динамики с целью своевременной фиксации факта нарастания угрозы экономической безопасности по мере приближения фактических значений к нижней границе диапазона допустимых значений.

Большая часть грузооборота и пассажирооборота приходится на железнодорожный транспорт.

Доминирующее положение железнодорожного транспорта в грузообороте при относительно низкой его доле в грузовых перевозках объясняется тем, что железнодорожный транспорт общего пользования в основном эксплуатируется для перевозки сырьевых видов грузов на большие расстояния. Причиной этого являются географические и климатические особенности России, большая грузоподъемность и невосприимчивость железнодорожного транспорта к погодным условиям.

Небольшой удельный вес грузоперевозок автомобильным транспортом в России частично можно объяснить низкой плотностью населения в северных районах европейской части России, в Сибири и на Дальнем Востоке, а также большими расстояниями между населёнными пунктами,

перевозки между которыми более эффективно осуществлять железнодорожным транспортом.

На рис. 3 сплошной линией представлены фактические значения грузооборота за период 2000–2017 гг. Тонкой линией изображена линия тренда, которая показывает вероятное поведение анализируемого показателя в перспективе до 2030 года.

В 2017 г. показатель находился за пределами верхней границы диапазона, что свидетельствует об отсутствии угрозы экономической безопасности в текущий момент времени.

Таким образом, основная рекомендация, касающаяся мониторинга показателя «Грузооборот по всем видам транспорта, млрд тонно-километров», заключается в необходимости отслеживания его динамики с целью своевременной фиксации факта возникновения угрозы экономической безопасности в виде изменения тренда и вхождения в диапазон допустимых значений, что будет свидетельствовать об увеличении вероятности появления угрозы экономической безопасности.

Перевозки пассажиров могут осуществляться транспортом общего, ведомственного и личного пользования. Общедоступное транспортное обслуживание населения выполняется транспортом общего пользования.

Как видно из рис. 4, ключевым видом транспорта общего пользования в России является автобусный транспорт.

При оценке количества пассажиропоездов необходимо учесть, что в настоящее время достоверная статистика имеется только по воздушному и дальнему железнодорожному транспорту. Статистика по другим видам транспорта недоучитывает

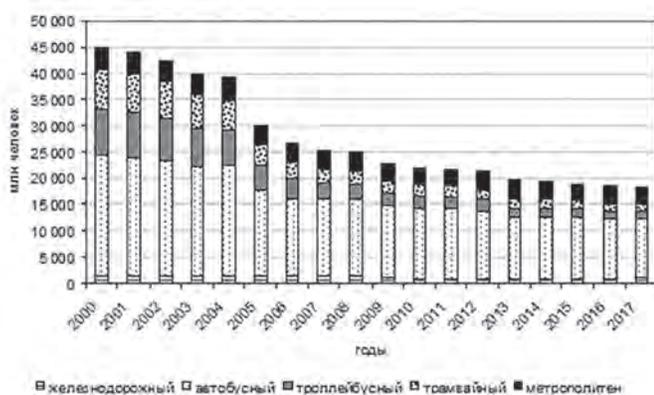


Рис. 4. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования. Составлено по данным Росстата [8].

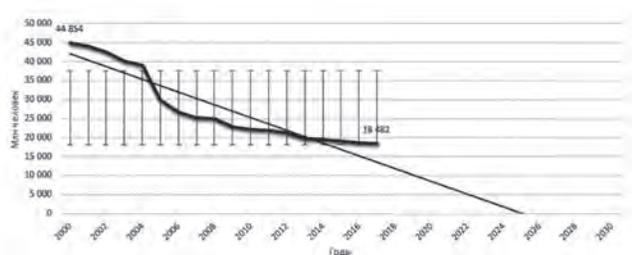


Рис. 5. Перевозки пассажиров, млн человек. Составлено по данным Росстата [8].

значительное количество пассажиров, и общие показатели транспортной подвижности населения РФ выглядят сильно заниженными. Так, в ряде регионов доля теневого пассажиропотока на автобусном транспорте на некоторых направлениях составляет до 50–55 % [9].

Число пассажиров за рассматриваемый период имеет ярко выраженную тенденцию к снижению. В 2005 г. отмечен резкий спад этого показателя, что объясняется ростом цен на проезд в городском транспорте. В последние годы негативное влияние на количество перевезённых пассажиров оказывает снижение реальных доходов населения.

Наиболее быстрыми темпами снижаются объёмы перевозок автобусным, троллейбусным и трамвайным транспортом. Количество пассажиров авиационного транспорта, напротив, быстро растёт. Это объясняется тем, что увеличение темпа жизни людей ведёт к повышению требований, предъявляемых ими к транспорту. Всё большая доля населения обращает внимание не только на цену, но и на скорость передвижения и комфорт [10].

На рис. 5 сплошной линией представлены фактические значения показателя «Перевозки пассажиров, млн человек» за период 2000–2017 гг. Тонкой линией изображена линия тренда, которая показывает вероятное поведение анализируемого показателя в перспективе до 2030 года.

В последние несколько лет показатель снижается и уже приблизился к нижней границе диапазона, что свидетельствует об увеличении вероятности появления угрозы экономической безопасности.

Следовательно, необходимо принять меры по увеличению роли пассажирского транспорта.

На рис. 6 сплошной линией представлены фактические значения показателя «Пассажирооборот, млрд пассажиро-километров» по всем видам транспорта общего пользования за период 2000–2017 гг. Тонкой линией изображена линия тренда, которая показывает вероятное поведение анализируемого показателя в перспективе до 2030 года.

Следует отметить, что в 2005 г. показатель вышел за пределы нижней границы диапазона, что свидетельствовало о появ-



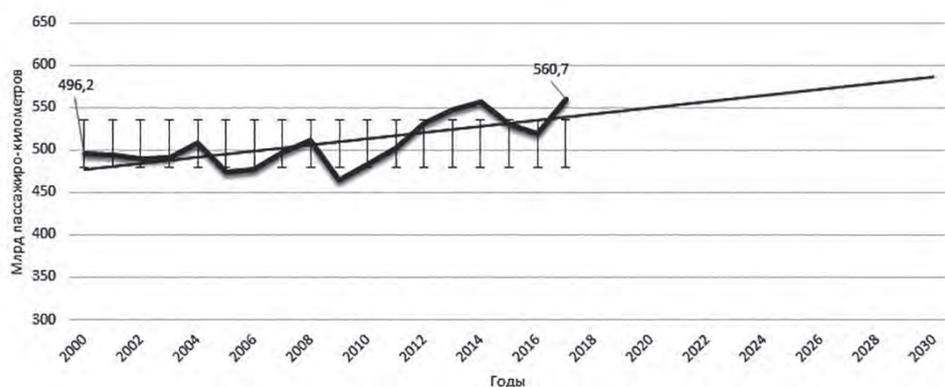


Рис. 6. Пассажиروоборот, млрд пассажиро-километров. Составлено по данным Росстата [8].

лении угрозы экономической безопасности и было связано с ростом цен на проезд в городском транспорте. Аналогичная ситуация наблюдалась и в 2009 г., что можно было объяснить финансово-экономическим кризисом, в результате которого объём свободных средств у населения сократился, соответственно, большая доля населения отказывалась от дальних поездок, связанных с отдыхом.

В 2017 г. показатель вышел за пределы верхней границы диапазона, что свидетельствует об отсутствии угрозы экономической безопасности в текущий момент времени.

Основная рекомендация, касающаяся мониторинга показателя «Пассажируоборот, млрд пассажиро-километров», заключается в необходимости отслеживания его динамики с целью своевременной фиксации факта увеличения вероятности угрозы экономической безопасности по мере вхождения в диапазон допустимых значений.

Таким образом, на транспортное обеспечение экономической безопасности сильное негативное влияние оказал финансово-экономический кризис 2008–2010 гг. Начало экономического роста способствовало повышению ключевых показателей. В настоящее время все показатели находятся в пределах или даже выше допустимого диапазона, что свидетельствует об отсутствии угрозы экономической безопасности. Тем не менее некоторые показатели имеют тенденцию к снижению, что свидетельствует о возможном появлении угрозы экономической безопасности в будущем.

Позитивные сдвиги в экономике страны требуют адекватного развития транспортной системы, что предполагает доступность и высокое качество предоставляемых услуг, снижение затрат на перевозки пассажиров и грузов. Решение этих задач обеспечивает транспортную составляющую национальной экономической безопасности [11].

Ограничения, снижающие эффективность функционирования транспорта, выступают в качестве отраслевых угроз экономической безопасности. К числу основных угроз в сфере перевозочной деятельности относится снижение эффективности организации и управления перевозочным процессом ввиду недостаточного внедрения элементов доминирующего технологического уклада, прежде всего современных информационных технологий [11].

Уровень цифровизации российского транспорта ниже, чем уровень цифровизации других секторов экономики (обрабатывающие производства и т.д.) и ниже среднего уровня в предпринимательском секторе (табл. 2).

Российские компании недостаточно используют возможности цифровых технологий. Доля организаций транспортного комплекса, использующих различные виды цифровых технологий, должна стремиться к 100 %. Фактически она намного ниже (табл. 2).

Показатели внедрения цифровых технологий в транспортном комплексе, установленные Министерством транспорта РФ в качестве индикаторов цифровой транс-

Таблица 2

Интенсивность использования цифровых технологий в 2016 г. (удельный вес организаций, использующих цифровые технологии, в общем числе организаций, проценты)

	Предпринимательский сектор – всего	Транспорт
Доступ к интернету	85,7	77,6
Широкополосный доступ к интернету	80,5	72,8
«Облачные» сервисы	20,5	16,5
ERP-системы	17,3	14,4
Наличие веб-сайта	43,4	31,8
Технологии электронного обмена данными между своими и внешними информационными системами	61,6	52,4
Системы электронного документооборота	62,3	60,8
Программные средства для осуществления финансовых расчётов в электронном виде	55,4	51,6
Программные средства для управления автоматизированным производством и/или отдельными технологическими процессами	20,9	28,0

Составлено по данным НИУ ВШЭ [12].

Таблица 3

Показатели внедрения цифровых технологий в транспортном комплексе

Показатель	2018	2019 (план)
Доля грузов, прослеживаемость перевозок которых по территории РФ осуществляется в электронном виде в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами (в сфере грузовых перевозок), %	0	3
Доля электронных билетов, доступных к оформлению в режиме «единого заказа» (в сфере пассажирских перевозок), %	0,01	2
Протяжённость внутренних водных путей, оснащённых средствами автоматизированного навигационного сопровождения судов («e-Навигация»), км	200	200
Доля систем транспортного комплекса, использующих в своём составе беспилотные технологии и технологии искусственного интеллекта, %	–	5

Составлено по данным Минтранса [13].

формации транспортного комплекса, в 2018 г. находились на минимальном уровне (табл. 3).

Транспортный комплекс относится к сферам, где цифровизация позволит кардинально снизить существующие области неэффективности, считают эксперты Boston Consulting Group [14].

Так, железнодорожные перевозки в России сегодня характеризуются целым рядом болевых точек.

Общими для секторов B2B и B2C являются:

- отсутствие или ограниченный функционал цифровых каналов для взаимодействия между перевозчиками, грузоотправителями и пассажирами;
- ограниченные возможности по прогнозированию спроса на грузовые и пассажирские перевозки;
- низкая эффективность и высокая стоимость ремонтов, отсутствие ремонтов по состоянию.

В сфере B2B – ограниченный доступ к грузоперевозкам для малого и среднего бизнеса, в основном ввиду отсутствия цифровых каналов взаимодействия.

В сфере B2C – необходимость улучшения клиентского опыта:

- повышения удобства мультимодальных перевозок, включая не только возможность планирования маршрута, но и приобретения билетов «от двери до двери»;
- обеспечения доступа к средствам связи во время перевозки;
- упрощения системы бронирования билетов через веб-сайты и мобильные приложения [15].

Цифровизация предоставляет решения для всех этих вопросов.

Вопрос модернизации транспортной сферы занимает достаточно серьёзные позиции во многих зарубежных стратегиях развития цифровой экономики [16].

Международный опыт показывает, что стандартизация информационного обмена,



внедрение электронных транспортно-логистических документов и цифровых платформ транспортно-логистической деятельности позволяет существенно сократить время на оформление перевозок и затраты на их осуществление.

Так, внедрение цифровой платформы управления перевозками и транспортом позволило корпорации AGCO, одному из крупнейших в мире производителей и дистрибьюторов сельхозтехники и сельхозоборудования, сократить транспортные расходы на 25 %, одновременно увеличив своевременность доставки грузов на 10 % [18].

Cargefour SA, крупнейший ритейлер в Европе, благодаря внедрению системы управления складами (WMS) от компании Generix Group, смог сократить транспортные расходы на перевозку товаров от мелких поставщиков на 40 %, а затраты на обработку товаров на складах – на 30 % [19].

Значительную роль в развитии транспорта могут сыграть цифровые технологии, обеспечивающие наименее капиталоемкие улучшения инфраструктуры, повышение качества транспортных услуг. Кардинально преобразуют понятие транспортировки пассажиров и грузов технологии беспилотного транспорта. В настоящее время Росавтодором реализуется проект «Караван», в ходе которого предполагается к 2035 г. оснастить автодороги федерального значения, входящие в международные транспортные коридоры, инфраструктурой для применения беспилотного транспорта [20].

Наконец, за ближайшее десятилетие в мире могут появиться принципиально новые виды линейной транспортной инфраструктуры, например, гиперлуп.

В части информационных систем государственного регулятора транспортного комплекса созданы серьезные предпосылки для цифровизации. В Министерстве транспорта Российской Федерации проведена большая работа по консолидации информационных систем и ресурсов государственных органов транспортного комплекса, внедрению отдельных современных информационных технологий и мировых практик в сфере цифровизации. Министерством созданы и успешно эксплуатируются крупные федеральные государственные информационные системы:

Единая государственная информационная система обеспечения транспортной безопасности (ЕГИС ОТБ), Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС», информационно-аналитическая система государственного регулятора АСУ ТК, система «Платон». Указанные системы создают серьезные предпосылки для цифровизации деятельности государственного регулятора, уже практически внедряют отдельные цифровые технологии.

Цифровизация транспортно-логистической деятельности позволит перейти к инновационному варианту развития транспортной системы и обеспечить решение следующих задач:

- создание принципиально новых решений и сервисов, невозможных без современных информационно-коммуникационных технологий;
- развитие конкурентного рынка транспортных услуг, повышение его открытости и прозрачности;
- расширение номенклатуры и повышение качества транспортных услуг на основе применения современных транспортных, логистических и информационно-телекоммуникационных технологий, развитие новых форм организации транспортного процесса и взаимодействия между видами транспорта;
- повышение экономической эффективности на всех уровнях и производительности труда;
- сокращение издержек в логистических цепях поставок, в том числе при мультимодальных перевозках и в международных транспортных коридорах, проходящих через территорию Российской Федерации;
- повышение загрузки транспортной инфраструктуры, включая загрузку международных транспортных коридоров Российской Федерации;
- повышение доступности транспортных услуг для бизнеса и населения;
- обеспечение надёжности и безопасности функционирования транспортной системы, в т.ч. на основе повышения уровня интеллектуализации инфраструктуры путём создания и развития интеллектуальных транспортных систем, «умных» дорог, транспортных узлов и т.п.;

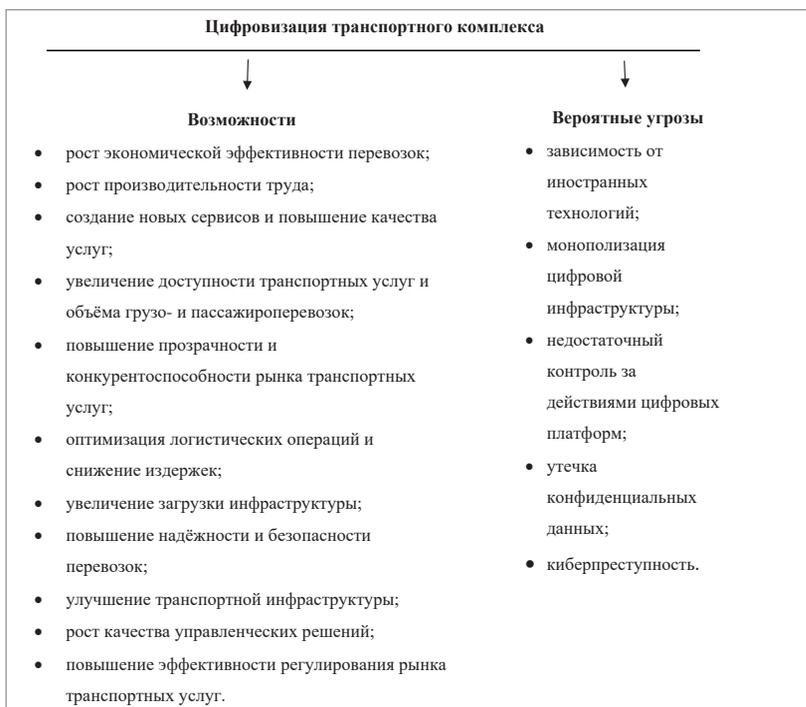


Рис. 7. Возможности и угрозы цифровизации транспортного комплекса.

• создание и применение эффективных механизмов мониторинга транспортных процессов, управления функционированием и развитием транспорта.

Переход на качественно новый уровень развития транспортного комплекса будет способствовать росту объёмов перевозки грузов и пассажиров, показателей грузооборота и пассажирооборота.

В то же время цифровизация несёт в себе новые риски, которые необходимо уметь прогнозировать и минимизировать.

Возможности и вероятные угрозы цифровизации транспортного комплекса приведены на рис. 7.

Необходимо отметить, что положительные стороны цифровизации перевешивают все те угрозы и потери, которые возможны при самых негативных сценариях реализации этих угроз.

В 2018 г. в рамках государственной программы по развитию транспорта Министерство транспорта подготовило ведомственный проект «Цифровой транспорт и логистика». Одна из главных задач проекта — создание и развитие единого мультимодального цифрового транспортного и логистического пространства на территории России*.

* См.: <http://government.ru/news/38653/>.

В конце 2018 года Министерство транспорта выступило с предложением о создании цифровой платформы транспортного комплекса (ЦПТК). В основу данной платформы будут положены отечественные решения и программное обеспечение. Промышленную эксплуатацию ЦПТК планируется начать в 2024 г.**

Благодаря созданию единого доверенного цифрового пространства транспортного комплекса повысится доступность и качество транспортных услуг, увеличатся скорость и качество управленческих решений, сократятся затраты, улучшится безопасность перевозок. Внедрение новых стандартов и средств электронного оформления транспортно-логистических процессов обеспечит суверенную интеграцию отечественного транспортного комплекса в мировое цифровое пространство.

Цифровое пространство транспортного комплекса, одним из основных элементов которого станет ЦПТК, должно обеспечивать унифицированное и доверенное информационное взаимодействие участников, регуляторов и пользователей транспортного комплекса.

** См.: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/10143>.



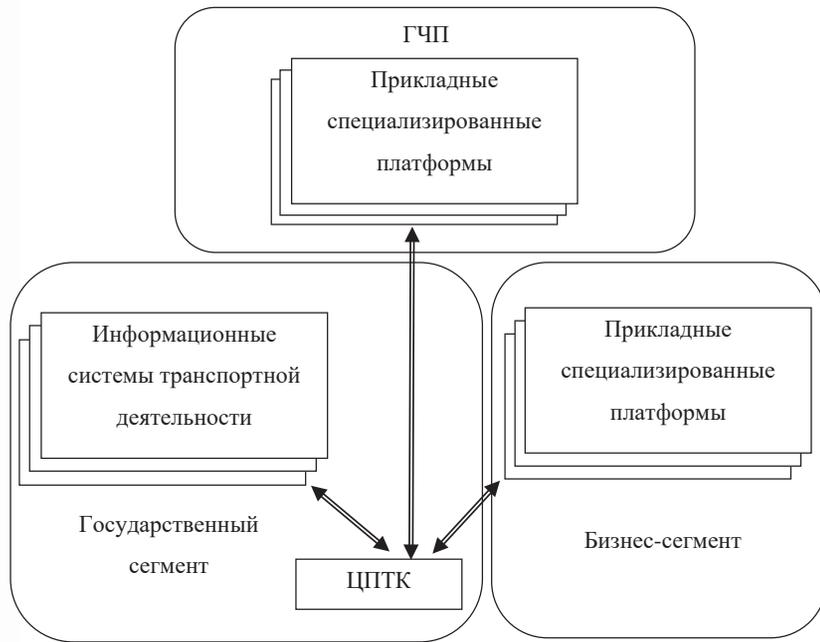


Рис. 8. Цифровое пространство транспортного комплекса.

Субъекты цифрового пространства транспортного комплекса и механизмы взаимодействия между ними представлены на рис. 8.

В обобщённом виде цифровое пространство транспортного комплекса состоит из ЦПТК, которая является ядром, определяющим стандарты и правила транспортного комплекса, и из прикладных платформ.

Цифровизацию государственных функций и задач должен обеспечивать государственный сегмент, производственные процессы транспортно-логистической деятельности – бизнес-сегмент.

Ключевыми элементами бизнес-сегмента станут прикладные цифровые платформы, такие как, например, цифровая платформа организации железнодорожных грузоперевозок.

ЦПТК станет основой государственного сегмента и будет реализовывать технологические задачи в интересах цифровой трансформации транспортного комплекса. Она будет обеспечивать механизмы государственного управления и координации транспортно-логистической деятельности с использованием технологий и средств цифровой экономики, а также реализацию «единого окна» цифрового взаимодействия государства, бизнеса и граждан.

Основными направлениями развития транспортного комплекса в процессе цифровизации должны стать:

1) Преобразование сферы грузовых перевозок посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений.

2) Преобразование сферы пассажирских перевозок посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений.

3) Преобразование управления транспортной инфраструктурой посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений.

4) Обеспечение координации и взаимодействия цифровых платформенных решений транспортного комплекса, их интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны посредством внедрения цифровых технологий.

5) Повышение безопасности, надёжности и устойчивости транспортного комплекса и его информационной инфраструктуры.

Реализация этих направлений приведёт к росту основных показателей состояния экономической безопасности транспортного комплекса: перевозок грузов и пассажиров, грузо- и пассажирооборота.

ВЫВОДЫ

Как показал анализ основных показателей состояния транспортного обеспечения экономической безопасности, в настоящее время угроза экономической безопасности отсутствует. Тем не менее некоторые показатели имеют неустойчивую динамику, что свидетельствует о возможном появлении угрозы экономической безопасности в будущем.

Важнейшими стратегическими факторами повышения экономической безопасности и развития транспортного комплекса России в долгосрочной перспективе являются повышение доступности и качества транспортных услуг, снижения затрат, улучшение безопасности перевозок и увеличение конкурентоспособности отечественной транспортной системы на мировом рынке.

Важнейшим условием развития транспортного комплекса и укрепления экономической безопасности является цифровизация. С одной стороны, цифровизация даёт широкий перечень возможностей для получения экономического эффекта, с другой стороны, она создаёт угрозы безопасности, которые необходимо уметь прогнозировать и минимизировать.

Дальнейшая реализация курса на цифровизацию транспортного комплекса России должна осуществляться за счёт создания единого цифрового пространства, в котором будут взаимодействовать субъекты и объекты транспортного комплекса. Основой данного цифрового пространства должна стать цифровая платформа транспортного комплекса, которая будет обеспечивать его регулирование и координацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Р. В., Павлов А. В. Критерии экономической безопасности Российской Федерации в сфере водного транспорта // Управленческое консультирование. — 2017. — № 7. — С. 70–81.
2. Михненко О. Е., Ильин В. В. Реформирование транспортного комплекса: экономическая безопасность и оптимизация затрат // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2012. — № 7. — С. 42–48.
3. Бабкина Т. В., Бурава А. А., Трёмбач К. И. Специфика и взаимосвязь экономической безопасности и транспортного комплекса страны // Интернет-журнал Науковедение. — 2015. — № 5. — С. 5.
4. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии

Российской Федерации на период до 2030 года» (с изменениями на 12 мая 2018 года).

5. Денисова А. С., Коновалова Т. В., Надирян С. Л. Модели транспортного обслуживания производственных предприятий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). — 2018. — № 2. — С. 223–227.

6. Ковалёв Р. Н., Демидов Д. В., Боярский С. Н. Логистическое управление транспортными системами: Учеб. пособие. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. — 166 с.

7. Раевский С. В., Беляевская-Плотник Л. А., Сорокина Н. Ю. Методический подход к оценке диапазонов допустимых значений показателей состояния экономической безопасности Российской Федерации // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2018. — № 7. — С. 19–26.

8. Федеральная служба государственной статистики: Основные итоги работы транспорта. 1995–2019. [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/#. Доступ 02.09.2019.

9. Латыпова Р. Р., Юшкова В. В., Кириллов А. Н. Анализ современного состояния развития предпринимательства в транспортном комплексе // Известия СПбГЭУ. — 2017. — № 3 (105). — С. 167–174.

10. Центр стратегических разработок. Бюллетень «Интегрированная транспортная система». [Электронный ресурс]: <https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/05/Report-Traffic-Infrastructure-2.0.pdf>. Доступ 02.09.2019.

11. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации: Официальный сайт. Бюллетень социально-экономического кризиса в России. Ноябрь 2015 г. [Электронный ресурс]: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7059.pdf>. Доступ 02.09.2019.

12. Сенчагов В. К. Как обеспечить экономическую безопасность России // Российская Федерация сегодня. — 2007. — № 6. — С. 36–37.

13. Индикаторы цифровой экономики: 2018: Статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Г. Л. Волкова, Л. М. Гохберг и др. — Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: НИУ ВШЭ, 2018. — 268 с.

14. Министерство транспорта Российской Федерации. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.ru>. Доступ 02.09.2019.

15. Boston Consulting Group. Россия-онлайн: Четыре приоритета для прорыва в цифровой экономике. [Электронный ресурс]: http://image-src.bcg.com/Images/Russia-Online_tcm27-178074.pdf. Доступ 02.09.2019.

16. Boston Consulting Group. Россия-онлайн: Догнать нельзя отстать [Электронный ресурс]: http://image-src.bcg.com/Images/BCG-Russia-Online_tcm27-152058.pdf. Доступ 02.09.2019.

17. Димитров И. Д. Влияние цифровой экономики на развитие транспортной отрасли в России // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2017. — № 6. — С. 50–53.

18. Alpega Group. AGCO success story. [Электронный ресурс]: https://na.alpegagroup.com/wp-content/uploads/2019/10/Alpega_AGCO-Case-Study.pdf. Доступ 02.09.2019.

19. Generix Group. Carrefour consolidates its small suppliers' stocks and makes 40 % savings on transport costs of flows handled in this way. [Электронный ресурс]: <https://www.generixgroup.com/en/cas-client/carrefour>. Доступ 02.09.2019.

20. Росавтодор. Деятельность Росавтодор 2004–2019. [Электронный ресурс]: <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda>. Доступ 02.09.2019.





Improving the Mechanisms to Ensure Economic Security of the Transport System



Semenov, Maxim A., PromSpetsKontrol LLC, Moscow, Russia.*

Maxim A. SEMENOV

ABSTRACT

In the context of transition to an intensive and innovative type of economic development, stable functioning of the transport system is a guarantee of economic growth and maintaining the country's economic security.

The objective of the work is to develop recommendations on ensuring economic security of the transport system based on digitalization. The main research method is an updated indicator method.

The author has analyzed the dynamics of indicators of economic security conditions for the period 2000–2019 and concluded that it is currently not exposed to threat. Nevertheless, some indicators tend to decrease, which indicates a possible threat to economic security in the future.

The development of the transport system, which leads to an increase in quality of the services provided and a decrease in transportation costs, provides the transport component of national economic security. Constraints that reduce the

efficiency of transport act as sectorial threats to economic security.

It is proved that for development of the transport system and prevention of threats to economic security, it is necessary to use the opportunities provided by the digitalization.

Digitalization should be carried out by creating a single digital space in which subjects and objects of the transport system will interact. It is determined that the public transport regulatory authority has created serious prerequisites for digitalization. Thanks to digitalization, it is possible to reduce costs, increase labor productivity, reliability, and security, obtain grown quality and accessibility of transport services, expand their range, increase openness and transparency of the transport services market. The transition to a qualitatively new level of development of the transport system will contribute to the growth of indicators of the economic security conditions.

This digital space should be based on the digital platform of the transport system, which will ensure its regulation and coordination.

Keywords: *economic security, threats, transport system, monitoring, Transport Strategy, digitalization.*

*Information about the author:

Semenov, Maxim A. – Assistant Business Development Manager, PromSpetsKontrol LLC, Moscow, Russia, livsh@list.ru.

Article received 02.09.2019, accepted 03.12.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 286.

Background. Ensuring the economic security of the transport system is one of the most important priorities of the state transport policy, as it is a condition for reliable economic security at all levels and a condition for effective development of the socio-economic system.

According to some researchers, economic security means progressive development of the economic system that is resistant to external and internal threats through conversion of negative environmental conditions, causes and grounds for possible damage into growth factors that can guarantee protection of the national state interests and ensure social orientation of the policy while maintaining the internal potential of the state [1].

The transport system should be capable of fulfilling its main function within the framework of the socio-economic system which is full satisfaction of the needs for transportation of goods and passengers followed by increasing quality of transport services. It should fulfill its main function, provided that it remains highly competitive in the transport services markets, ensuring full economic and financial conditions for current activities and strategic development. The entire organization of transport production and management must ensure a high level of productivity and resource efficiency, starting with labor resources and ending with financial resources [2].

The mechanism for managing economic security in the transport industry should be based on comprehensive assessment of trends in development of economic processes in the industry, identification of threats to economic security, monitoring the actual values of selected indicators and their threshold values. Based on the monitoring results, proposals are developed for strategic development of the industry, i.e. improving its economic security

and measures to neutralize existing threats to economic security [3].

The *objective* of the work is to study the current state of economic security of the transport system and develop recommendations for its strengthening based on digitalization.

Research methods. The main research method is an updated indicator method, based on a comparison of achieved values of security indicators and indicators with their threshold values. General scientific methods were also used in the study.

The empirical base of the research is constituted by the data of Rosstat [Federal State Statistics Service], the Ministry of Transport, the Analytical Center under the Government of the Russian Federation, the Higher School of Economics (Research University), consulting companies, and Internet sources.

Results.

The indicators selected for monitoring the economic security of transport should characterize the most important aspects of the country's provision with transportation services and have high information availability. These indicators include:

- transportation of goods;
- cargo turnover;
- passenger transportation;
- passenger turnover of public transport.

Forecasted values of these indicators are set in the Transport Strategy of the Russian Federation (Table 1).

According to the basic scenario (Table 1), the total volume of cargo transportation by public transport will increase from 12,07 billion tons in 2007 to 17,1 billion tons in 2030 (by 41 %), cargo turnover will grow from 2,48 trillion tonne-kilometre up to 3,8 trillion tonne-kilometre (by 54 %).

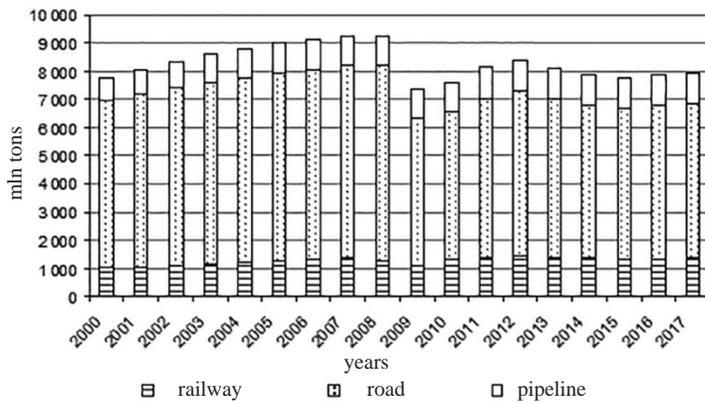
Table 1

Forecast of cargo transportation and cargo turnover according to the basic option of development of the transport system of Russia until 2030

	2007	2015	2018	2030
Cargo transportation, mln t*	12164,4	11973,3	13083,6	17148,2
Cargo turnover, bln tonne-kilometre*	2483,1	2880,4	3120,7	3822,2
Passenger transportation by public transport, mln people	25305	22755,5	23827,4	28200,1
Passenger turnover of public transport, bln passenger-kilometre	491,8	566,9	627,3	852,4

* without considering pipeline transport. Compiled according to the data, set in the Transport Strategy of the Russian Federation [4].





Pic. 1. Cargo transportation by modes of transport. Compiled based on the data of the Federal State Statistics Service [8].

The volume of passenger transportation by public transport according to the basic scenario (Table 1) will increase from 25,3 billion passengers in 2007 to 28,2 billion passengers (+11 %), passenger turnover will grow from 491,8 to 852,4 billion passenger-kilometre (+73 %).

These indicators are the same for all modes of transport. They are used in solving the problems of planning, coordination and interaction of transport sectors and accounting at the regional and state levels [5].

The calculation of these parameters is made as follows.

Cargo transportation (volume of cargo transportation) is number of goods in tons, transported by transport.

The volume of cargo transportation is calculated according to the following formula:

$$\sum P_n = P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

where P_n is amount of cargo in tons sent or transported from 1, 2, ..., n points of the transport network for a certain period of time [6, p. 27].

The initial moment of the process of transportation of goods is reflected by the indicator «sent (or departure of) goods», the final moment by the indicator «arrived (arrival of) goods». For all modes of transport, except road, the volume of transported goods is shown at the time of departure. In road transport, the account of transported goods is carried out at the time of arrival.

Cargo turnover is volume of work of transport for transportation of goods. The unit of measure is ton-kilometer. It is calculated by summing the products of the mass of goods

transported in tons to transportation distance in kilometers:

$$\sum P_n \cdot L_n = P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + \dots + P_n \cdot L_n,$$

where $P_{1,2,\dots,n}$ is amount of cargo in tons, sent or transported from 1, 2, ..., n point of the transport network for a certain period of time;

$L_{1,2,\dots,n}$ is distance of cargo transportation [6, p. 27].

Passenger transportation is number of passengers, transported for a certain period. The unit of observation in passenger traffic statistics is passenger travel. This indicator is calculated by the following formula:

$$\sum A_n = A_1 + A_2 + \dots + A_n,$$

where A_n is number of passengers transported for a certain period of time.

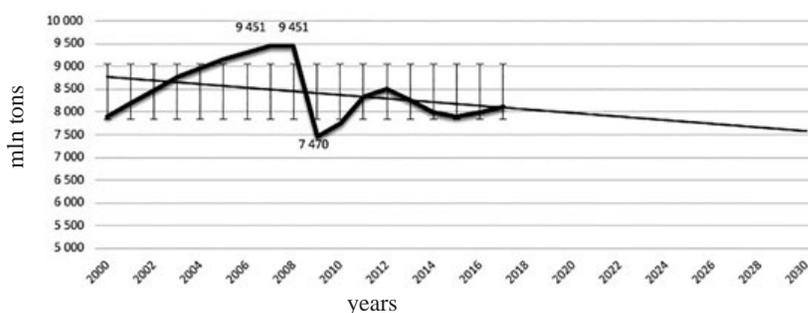
Passenger turnover characterizes transportation of passengers, taking into account the distances to which passengers are transported. The unit of measure is passenger-kilometre. It is determined by summing up the products of the number of passengers for each transportation item over the transportation distance:

$$\sum A_n \cdot L_n = A_1 \cdot L_1 + A_2 \cdot L_2 + \dots + A_n \cdot L_n,$$

where $A_{1,2,\dots,n}$ is number of passengers transported;

$L_{1,2,\dots,n}$ is distance (range) of passenger transportation.

The selected indicators relate to stimulant indicators, since their growth leads to an increase in the level of economic security. Entering the range of acceptable values of indicators is interpreted as a decrease in the likelihood of a threat to economic security. A decrease in the indicator followed by going



Pic. 2. Cargo transportation by all modes of transport, mln tons. Compiled according to the data of the Federal State Statistics Service [8].

beyond the lower limit of the range indicates a threat to economic security. The fact that the indicator is outside the upper limit of the range indicates the absence of a threat to economic security at the current time [7].

The range of acceptable values of each indicator of the state of economic security is calculated on the basis of available statistical information, after which its upper and lower boundaries are evaluated.

Cargo transportation in Russia, as can be seen from Pic. 1 are carried out mainly by road. According to the Federal State Statistics Service, in 2017 it accounted for 67 % of the total transportation volume. In second place is railway transport (17 %), in third – pipeline (14 %) [8].

As Pic. 1 shows, in 2009 there was a sharp decline in the volume of cargo transportation by all modes of transport, except sea. In 2013, there was the second, less noticeable decline, caused by the growing economic crisis. Cargo transportation was negatively affected, that caused a sharp decrease in investments, exports, industrial and agricultural production [9].

The volume of road transportation over the past eight years has been recovering slowly. The rapid growth in railway and pipeline transportation in 2010 gave way to stagnation. The main reason for these dynamics in the volume of cargo transportation is a slowdown in economic growth.

To verify the adequacy of the calculations for determining the ranges of acceptable values of indicators of the state of economic security, such descriptive statistics parameters are used as the average value of the indicator for the entire analyzed period (calculated as the arithmetic average for the entire observation period), the median value (the middle of the sample of numbers, when half of the values are

greater than this numbers, and the other half is less), standard deviation (is the basic calculated number when determining the upper one (it is added to the mean) and lower (subtracted from the mean) limit of the range of acceptable values index).

A graphical interpretation of the calculation results is presented in Pic. 2.

In Pic. 2, a solid line represents the actual values of the indicator for the period 2000–2017. A thin line shows the trend line, which shows the likely behavior of the analyzed indicator in the future until 2030.

Vertical segments indicate the boundaries of the range of permissible values of the indicator, determined on the basis of the results of descriptive statistics. The minimum and maximum values of the indicator «Value for the observation period» are indicated.

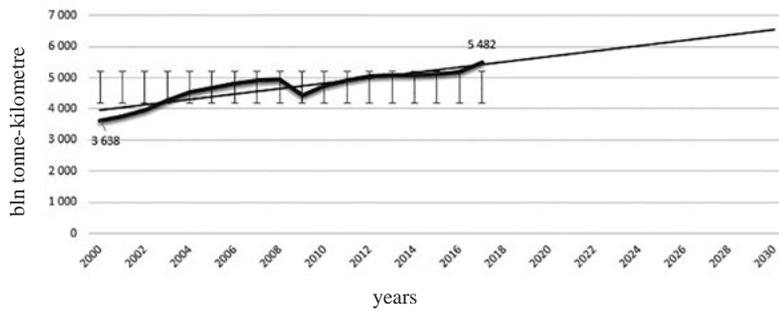
It should be noted that the actual value of the indicator in 2009 was outside the range of acceptable values, which indicates a threat to the economic security of the country, since it is associated with the financial and economic crisis of 2008–2010. Now the indicator is within the range of acceptable values, which indicates the absence of a threat to economic security at the current time.

Thus, the main recommendation regarding monitoring the indicator «Cargo transportation by all means of transport, mln tons» is the need to monitor its dynamics in order to timely record the fact that the threat to economic security is growing as the actual values approach the lower limit of the range of acceptable values.

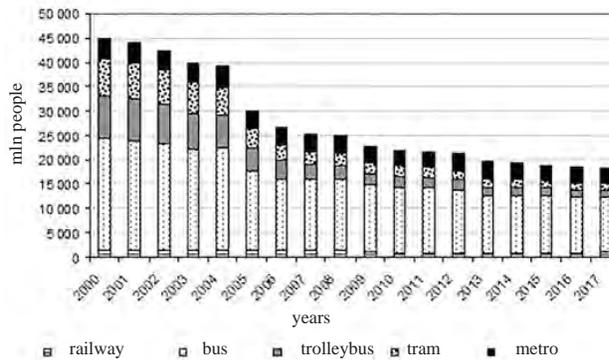
Most of *cargo turnover* and *passenger turnover* falls on railway transport.

The dominant position of railway transport in cargo turnover with its relatively low share in cargo transportation is explained by the fact that public railway transport is mainly operated





Pic. 3. Cargo turnover by all modes of transport, bln tonne-kilometre. Compiled according to the data of the Federal State Statistics Service [8].



Pic. 4. Passenger transportation by modes of public transport. Compiled according to the data of the Federal State Statistics Service [8].

for transportation of raw materials of goods over long distances. The reason for this is the geographical and climatic features of Russia, the large carrying capacity and the immunity of railway transport to weather conditions.

The small proportion of road cargo transportation in Russia can be partially explained by the low population density in the northern regions of the European part of Russia, Siberia and the Far East, as well as the large distances between settlements, transportation between which is more efficiently carried out by railway transportation.

In Pic. 3, a solid line represents the actual values of cargo turnover for the period 2000–2017. A thin line shows the trend line, which shows the likely behavior of the analyzed indicator in the future until 2030.

In 2017, the indicator was outside the upper limit of the range, which indicates the absence of a threat to economic security at the current time.

Thus, the main recommendation regarding monitoring the indicator «Cargo turnover for all modes of transport, bln tonne-kilometre» is the need to monitor its dynamics in order to

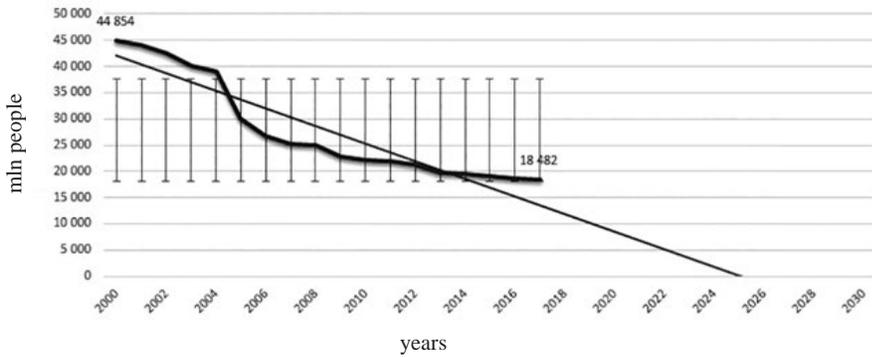
timely record the occurrence of a threat to economic security in the form of a trend change and entering the range of acceptable values, which will indicate about increasing the likelihood of a threat to economic security.

Passenger transportation can be performed by public, departmental and personal transport. Public transport services are provided by public transport.

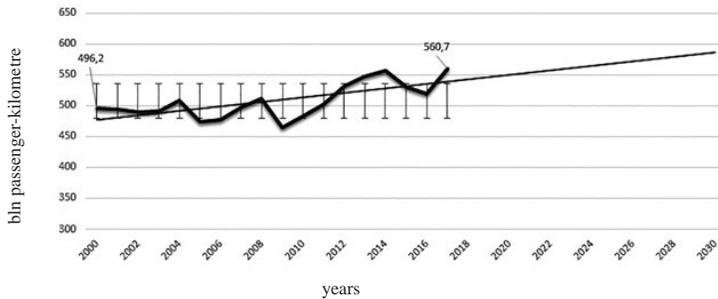
As can be seen from Pic. 4, the key type of public transport in Russia is bus transport.

When assessing the number of passenger trips, it is necessary to take into account that at present reliable statistics are available only for air and long-distance railway transport. Statistics on other modes of transport underestimate a significant number of passengers, and the general indicators of transport mobility of the population of the Russian Federation look very underestimated. So, in a number of regions the share of shadow passenger flow by bus in some directions amounts to 50–55 % [9].

The number of passengers for the period under review has a pronounced downward trend. In 2005, a sharp decline in this indicator



Pic. 5. Passenger transportation, mln people. Compiled by the authors according to the data of the Federal State Statistics Service [8].



Pic. 6. Passenger turnover, bln passenger-kilometre. Compiled by the authors according to the data of the Federal State Statistics Service [8].

was noted, which is explained by an increase in prices for travel in public transport. In recent years, a decrease in real incomes has a negative effect on the number of passengers carried.

The fastest pace of decline is observed in bus, trolleybus and tram transport. The number of air transport passengers, by contrast, is growing rapidly. This is explained by the fact that an increase in the pace of life of people leads to an increase in the requirements that they set for transport. An increasing proportion of the population is paying attention not only to price, but also to speed of movement and comfort [10].

In Pic. 5, a solid line represents the actual values of the indicator «Passenger transportation, million people» for the period 2000–2017. A thin line shows the trend line, which shows the likely behavior of the analyzed indicator in the future until 2030.

Over the past few years, the indicator has been decreasing and has already approached the lower limit of the range, which indicates an increase in the likelihood of a threat to economic security.

Therefore, it is necessary to take measures to increase the role of passenger transport.

In Pic. 6, a solid line shows the actual values of the indicator «Passenger turnover, billion passenger-kilometre» for all types of public transport for the period 2000–2017. A thin line shows the trend line, which shows the likely behavior of the analyzed indicator in the future until 2030.

It should be noted that in 2005 the indicator went beyond the lower limit of the range, which indicates a threat to economic security and is associated with an increase in prices for travel in public transport. A similar situation was observed in 2009, due to the financial and economic crisis. As a result of the crisis, the amount of available funds in the population decreased, respectively, a large proportion of the population refused long-distance travel related to recreation.

In 2017, the indicator went beyond the upper limit of the range, which indicates the absence of a threat to economic security at the current time.

The main recommendation regarding monitoring the indicator «Passenger turnover, billion passenger-kilometre» is the need to monitor its dynamics in order to timely record



Table 2

Intensity of the use of digital technologies in 2016 (specific weight of organizations, using digital technologies, in the total number of organizations, percentage)

	Entrepreneurial sector – total	Transport
Internet access	85,7	77,6
Broadband Internet access	80,5	72,8
«Cloud» services	20,5	16,5
ERP-systems	17,3	14,4
Presence of a web-site	43,4	31,8
Technologies of electronic exchange of data between own and external information systems	61,6	52,4
Systems of electronic document turnover	62,3	60,8
Software tools to carry out financial calculations in electronic form	55,4	51,6
Software tools to manage automated production and/or separate technological processes	20,9	28,0

Compiled according to the data of NRU HSE [12].

Table 3

Indicators of introduction of digital technologies in the transport system

Indicator	2018	2019 (plan)
Share of cargo, tracking of whose transportation along the territory of the Russian Federation is carried out in electronic form according to current normative-legal acts (in the sphere of cargo transportation), %	0	3
Share of electronic tickets, available for formation in «single order» mode (in the sphere of passenger transportation), %	0,01	2
Range of inland waterways, equipped with the tools of automated navigation support of ships («e-Navigation»), km	200	200
Share of systems of the transport system, using unmanned technologies and artificial intelligence technologies, %	–	5

Compiled according to the data of the Ministry of Transport [13].

the fact of increasing the likelihood of a threat to economic security as it falls into the range of acceptable values.

Thus, the financial and economic crisis of 2008–2010 had a strong negative impact on the transport security of economic security. The beginning of economic growth contributed to the increase of key indicators. Currently, all indicators are within or even above the permissible range, which indicates the absence of a threat to economic security. Nevertheless, some indicators tend to decrease, which indicates a possible threat to economic security in the future.

Positive changes in the country's economy require an adequate development of the transport system, which implies availability and high quality of the services provided, reducing the cost of transporting passengers and goods. The solution to these problems provides the transport component of national economic security [11].

Limitations that reduce the efficiency of transport functioning act as industry threats to economic security. Among the main threats in

the field of transportation activities is a decrease in efficiency of organization and management of the transportation process due to insufficient implementation of elements of a dominant technological structure, primarily modern information technologies [11].

The digitalization level of Russian transport is lower than the digitalization level of other sectors of the economy (manufacturing, etc.) and lower than the average level in the business sector (Table 2).

Russian companies are not sufficiently using the capabilities of digital technology. The share of transport system organizations using various types of digital technologies should aim at 100 %. In fact, it is much lower (Table 2).

The indicators of introduction of digital technologies in the transport system, established by the Ministry of Transport of the Russian Federation as indicators of digital transformation of the transport system, were at a minimum level in 2018 (Table 3).

The transport system refers to areas where digitalization will drastically reduce existing

areas of inefficiency, say experts of Boston Consulting Group [14].

So, railway transportation in Russia today is characterized by a number of pain points.

The common for sectors B2B and B2C are:

- lack or limited functionality of digital channels for interaction between carriers, shippers and passengers;
- limited ability to forecast demand for cargo and passenger transportation;
- low efficiency and high cost of repairs, lack of repairs as they are.

In the sphere B2B: limited access to cargo transportation for small and medium business, mainly due to lack of digital channels of interaction.

In B2C sphere: need to improve client experience:

- improving convenience of multimodal transportation, including not only the possibility of route planning, but also purchase of tickets «door to door»;
- providing access to communications during transportation;
- simplifying the system of booking tickets via web-sites and mobile applications [15].

Digitalization provides solutions to all these issues.

The issue of modernization of the transport sector occupies quite serious positions in many foreign strategies for development of the digital economy [16].

International experience shows that standardization of information exchange, introduction of electronic transport and logistics documents and digital platforms of transport and logistics activities can significantly reduce time for execution of transportation documents and the cost of their implementation.

Thus, introduction of a digital platform for transportation and transport management allowed AGCO Corporation, one of the world's largest producers and distributors of agricultural machinery and agricultural equipment, to reduce transportation costs by 25 %, while increasing the timeliness of cargo delivery by 10 % [18].

Carrefour SA, the largest retailer in Europe, due to introduction of a warehouse management system (WMS) from Generix Group company was able to reduce transportation costs for transportation of goods from small suppliers by 40 %, and the cost of processing goods in warehouses by 30 % [19].

A significant role in development of transport can be played by digital technologies that provide the least capital-intensive infrastructure improvements and improve quality of transport services. The concept of transporting passengers and cargo is radically transformed by the technology of unmanned vehicles. Rosavtodor is currently implementing the «Caravan» project, during which it is planned to equip federal roads entering international transport corridors by 2035 with infrastructure for using unmanned vehicles [20].

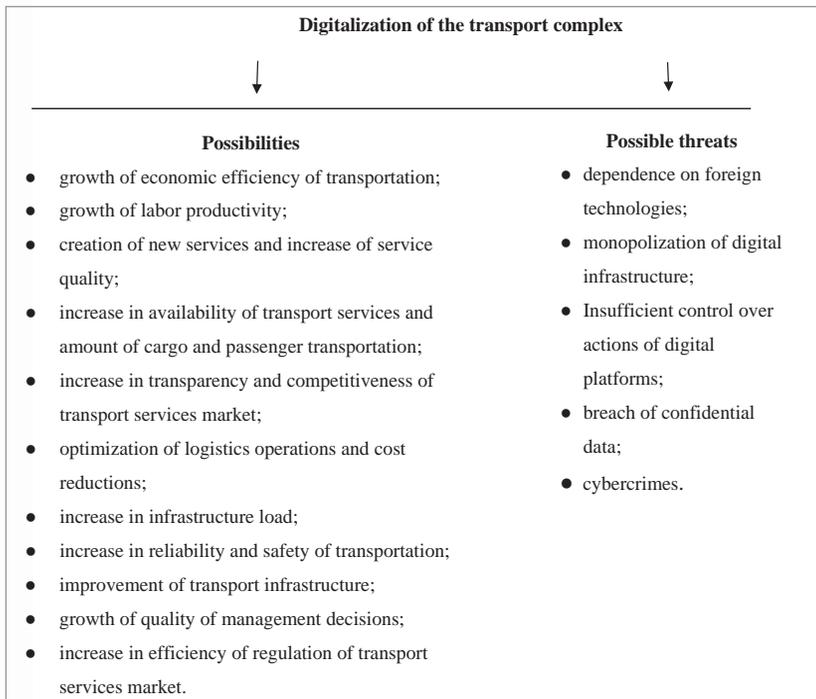
Finally, over the next decade, fundamentally new types of linear transport infrastructure, such as hyperloops, may appear in the world.

In terms of information systems of the state regulator of the transport system, serious prerequisites for digitalization have been created. A lot of work has been done at the Ministry of Transport of the Russian Federation to consolidate information systems and resources of state bodies of the transport system, to introduce certain modern information technologies and world practices in the field of digitalization. The Ministry has created and successfully operates large federal state information systems: the Unified State Information System for Transport Security (EGIS OTB), the State Automated Information System «ERA-GLONASS», the information-analytical system of the state regulator of the automated control system of ACS TK, the «Platon» system. These systems create serious prerequisites for digitalizing the activities of the state regulator; they are already practically introducing separate digital technologies.

Digitalization of transport and logistics activities allows to switch to an innovative option for development of the transport system and provide solutions to the following problems:

- creation of fundamentally new solutions and services that are impossible without modern information and communication technologies;
- development of a competitive transport services market, increasing its openness and transparency;
- expanding the range and improving quality of transport services through the use of modern transport, logistics and information and telecommunication technologies, development of new forms of organization of





Pic. 7. Possibilities and threats of digitalization of the transport system.

the transport process and interaction between modes of transport;

- increasing economic efficiency at all levels and labor productivity;
- cost reduction in logistics supply chains, including multimodal transportation and on international transport corridors passing through the territory of the Russian Federation;
- increased loading of transport infrastructure, including loading of international transport corridors of the Russian Federation;
- increasing availability of transport services for business and the population;
- ensuring the reliability and safety of functioning of the transport system, including on the basis of increasing the level of intellectualization of infrastructure by creating and developing intelligent transport systems, smart roads, transport hubs, etc.;
- creation and application of effective mechanisms for monitoring transport processes, managing the functioning and development of transport.

The transition to a qualitatively new level of development of the transport system will contribute to an increase in the volume of transportation of goods and passengers, indicators of cargo turnover and passenger turnover.

At the same time, digitalization carries with it new risks that should be predicted and minimized.

The possibilities and possible threats of digitalization of the transport system are shown in Pic. 7.

It should be noted that the positive aspects of digitalization outweigh all the threats and losses that are possible with the most negative scenarios for implementation of these threats.

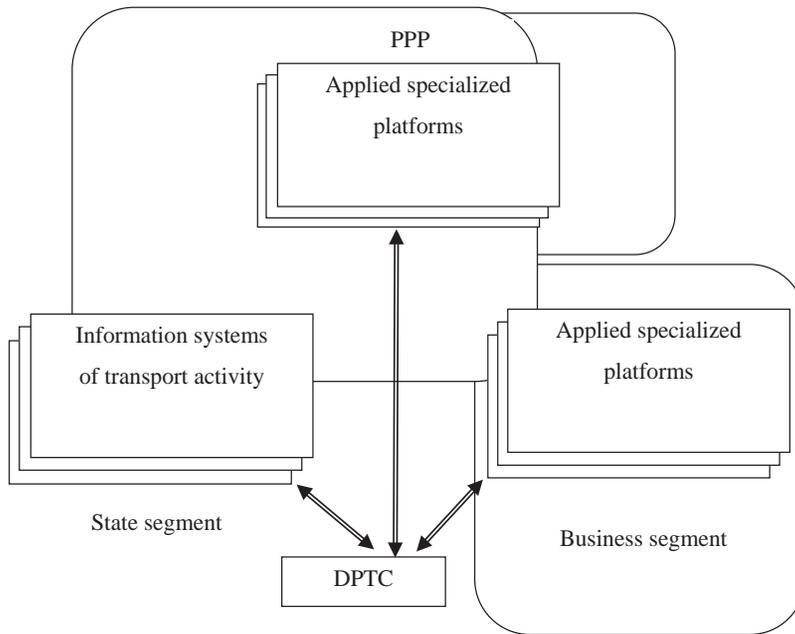
In 2018, within the framework of the state program for development of transport, the Ministry of Transport prepared a departmental project «Digital Transport and Logistics». One of the main objectives of the project is creation and development of a single multimodal digital transport and logistics space in Russia*.

At the end of 2018, the Ministry of Transport came up with a proposal to create a digital platform for the transport system (DPTC). This platform will be based on domestic solutions and software. The industrial operation of DPTC is planned to begin in 2024**.

Due to creation of a single trusted digital space of the transport system, availability and quality of transport services will increase, speed and quality of management decisions will increase, costs will be reduced, and transporta-

* See, e.g. <http://government.ru/news/38653/>.

** See, e.g. <https://www.mintrans.gov.ru/documents/8/10143>.



Pic. 8. Digital space of the transport system.

tion safety will improve. The introduction of new standards and means of electronic design of transport and logistics processes will ensure the sovereign integration of the domestic transport system in the global digital space.

The digital space of the transport system, one of the main elements of which will be DPTC, should provide a unified and trusted information interaction between participants, regulators and users of the transport system.

The subjects of the digital space of the transport system and the mechanisms of interaction between them are presented in Pic. 8.

In a generalized form, the digital space of the transport system consists of DPTC, which is the core that defines the standards and rules of the transport system, and of application platforms.

The digitalization of state functions and tasks should be provided by the state segment, the production processes of transport and logistics activities – by the business segment.

The key elements of the business segment will be applied digital platforms, such as, for example, a digital platform for organizing railway cargo transportation.

DPTC will become the basis of the state segment and will implement technological tasks in the interests of digital transformation of the transport system. It will provide mechanisms for public administration and

coordination of transport and logistics activities using technologies and means of the digital economy, as well as implementation of a «single counter» of digital interaction between the state, business and citizens.

The main directions of development of the transport system in the digitalization process should be:

- 1) Transforming cargo transportation through digital technology and platform solutions.
- 2) Transforming passenger transportation through introduction of digital technology and platform solutions.
- 3) Transforming transport infrastructure management through introduction of digital technologies and platform solutions.
- 4) Ensuring coordination and interaction of digital platform solutions of the transport system, their integration into the global transport space and realization of the country's transit potential through introduction of digital technologies.
- 5) Improving safety, reliability and stability of the transport system and its information infrastructure.

The implementation of these areas will lead to an increase in the main indicators of the state of economic security of the transport system: transportation of goods and passengers, cargo, and passenger turnover.



Conclusions. As the analysis of the main indicators of the state of transport support of economic security showed, at present there is no threat to economic security. Nevertheless, some indicators have negative dynamics, which indicates a possible threat to economic security in the future.

The most important strategic factors for enhancing economic security and developing the transport sector of Russia in the long term are increasing the availability and quality of transport services, reducing costs, improving transportation safety and increasing the competitiveness of the domestic transport system in the world market.

The most important condition for development of the transport system and strengthening of economic security is digitalization. On the one hand, digitalization provides a wide range of opportunities for obtaining an economic effect; on the other hand, it creates security threats that must be predicted and minimized.

Further implementation of the course on digitalization of the transport system of Russia should be carried out by creating a single digital space in which the subjects and objects of the transport system will interact. The basis of this digital space should be the digital platform of the transport system, which will ensure its regulation and coordination.

REFERENCES

1. Dronov, R. V., Pavlov, A. V. Criteria of economic security of the Russian Federation in the field of water transport [*Kriterii ekonomicheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii v sfere vodnogo transporta*]. *Upravlencheskoe konsultirovanie*, 2017, Iss. 7, pp. 70–81.
2. Mikhnenko, O. E., Ilyin, V. V. Reform of the transport complex: economic security and cost optimization [*Reformirovanie transportnogo kompleksa: ekonomicheskaya bezopasnost' i optimizatsiya zatrat*]. *Natsionalnie interesy: priority i bezopasnost'*, 2012, Iss. 7, pp. 42–48.
3. Babkina, T. V., Buravova, A. A., Trembach, K. I. Specificity and relationship of economic security and the country's transport complex [*Spetsifika i vzaimosvyaz' ekonomicheskoi bezopasnosti i transportnogo kompleksa strany*]. *Internet journal Naukovedenie*, 2015, Iss. 5, p. 5.
4. Order of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 No. 1734-r «On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030» (as amended on May 12, 2018) [*Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 22.11.2008 № 1734-r «Ob utverzhenii Transportno strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda» (s izmeneniyami na 12 maya 2018 goda)*].
5. Denisova, A. S., Konovalova, T. V., Nadiryana, S. L. Models of transport services for industrial enterprises [*Modeli transportnogo obsluzhivaniya proizvodstvennykh predpriyatiy*]. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik)*, 2018, Iss. 2, pp. 223–227.
6. Kovalev, R. N., Demidov, D. V., Boyarsky, S. N. Logistic management of transport systems: Study guide [*Logisticheskoe upravlenie transportnymi sistemami: Ucheb. posobie*]. Yekaterinbug, Ural State Forestry Technician University, 2008, 166 p.
7. Raevsky, S. V., Belyaevskaya-Plotnik, L. A., Sorokina, N. Yu. Methodological approach to assessing the ranges of acceptable values of indicators of the state of economic security of the Russian Federation [*Metodicheskii podkhod k otsenke diapazonov dopustimykh znechenii pokazatelei sostoyaniya ekonomicheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii*]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 2018, Iss. 7, pp. 19–26.
8. Federal State Statistics Service: The main results of the work of transport. 1995–2019. [Electronic resource]: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/#. Last accessed 02.09.2019.
9. Latypova, R. R., Yushkova, V. V., Kirillov, A. N. Analysis of the current state of entrepreneurship in the transport sector [*Analiz sovremennogo sostoyaniya razvitiya predprinimatelstva v transportnom komplekse*]. *News of St. Petersburg State University of Economics*, 2017, Iss. 3 (105), pp. 167–174.
10. Center for Strategic Research. Bulletin «Integrated Transport System». [Electronic resource]: <https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/05/Report-Traffic-Infrastructure-2.0.pdf>. Last accessed 02.09.2019.
11. Analytical Center under the Government of the Russian Federation: Official website. Bulletin of the socio-economic crisis in Russia. November 2015. [Electronic resource]: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7059.pdf>. Last accessed 02.09.2019.
12. Senchagov, V. K. How to ensure the economic security of Russia [*Kak obespechit' ekonomicheskuyu bezopasnost' Rossii*]. *Rossiiskaya Federatsiya segodnya*, 2007, Iss. 6, pp. 36–37.
13. Indicators of the digital economy: 2018: Statistical digest. Ed. G. I. Abdrakhmanova, K. O. Vishnevsky, G. L. Volkova, L. M. Gokhberg [et al.]. [*Indikatoriy tsifrovoy ekonomiki: 2018. Statisticheskii sbornik*]. Moscow, NRU HSE, 2018, 268 p.
14. Ministry of Transport of the Russian Federation. Official website. [Electronic resource]: <https://www.mintrans.ru>. Last accessed 02.09.2019.
15. Boston Consulting Group. Russia-online: Four Priorities for a Breakthrough in the Digital Economy. [Electronic resource]: http://image-src.bcg.com/Images/Russia-Online_tcm27-178074.pdf. Last accessed 02.09.2019.
16. Boston Consulting Group. Russia-online: Catching up cannot be left behind [Electronic resource]: http://image-src.bcg.com/Images/BCG-Russia-Online_tcm27-152058.pdf. Last accessed 02.09.2019.
17. Dimitrov, I. D. Influence of the digital economy on development of the transport industry in Russia [*Vliyaniye tsifrovoy ekonomiki na razvitiye transportnoi otrasli v Rossii*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktikem ekonomike*, 2017, Iss. 6, pp. 50–53.
18. Alpega Group. AGCO success story. [Electronic resource]: https://na.alpegagroup.com/wp-content/uploads/2019/10/Alpega_AGCO-Case-Study.pdf. Last accessed 02.09.2019.
19. Generix Group. Carrefour consolidates its small suppliers' stocks and makes 40 % savings on transport costs of flows handled in this way. [Electronic resource]: <https://www.generixgroup.com/en/cas-client/carrefour>. Last accessed 02.09.2019.
20. Rosavtodor. The activities of Rosavtodor 2004–2019. [Electronic resource]: <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda>. Last accessed 02.09.2019.

T

ПРОДОЛЖЕНИЕ ИСТОРИИ ТРАНСПОРТА ОДНОГО ГОРОДА 310

Магнитогорский трамвай – ровесник, свидетель и участник развития нового промышленного центра.



ПРЕСС-АРХИВ 327

- *Железнодорожные тоннели: критическое рассмотрение амбициозных планов.*
- *Энергия морских волн.*
- *Вагоны для перевозки живой рыбы: проблемы в воде.*



CONTINUED HISTORY OF THE TRANSPORT OF A TOWN 319

The tram of Magnitogorsk is an age-mate, witness and participant of development of a new industrial centre.



NEWS FROM THE ARCHIVES 329

- *Railway tunnels: critical review of ambitious projects.*
- *Energy of sea waves.*
- *Wagons to transport live fish: problems with water were prevailing.*



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL



Роль трамвайного движения в формировании транспортной системы Магнитогорска



Марина ПОТЁМКИНА



Михаил ГРЯЗНОВ



Татьяна ПАШКОВСКАЯ



Егор ТИМОФЕЕВ

Потёмкина Марина Николаевна – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия.

Грязнов Михаил Владимирович – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия.

Пашковская Татьяна Григорьевна – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия.

Тимофеев Егор Анатольевич – ООО «Ситно-Продукт», Магнитогорск, Россия.*

Окончание статьи, начало которой опубликовано в предыдущем номере нашего журнала. В ней приведены сведения о состоянии магнитогорского электротранспорта в период его становления. Материал статьи структурирован по разделам, касающимся расширения маршрутной трамвайной сети, состояния и развития вагонного парка. Рассматриваемый временной период захватывает годы Великой Отечественной войны и ограничен началом «оттепели» во внутриполитической жизни страны.

Посредством систематизации документальных свидетельств определена основополагающая роль трамвай-

ного движения в формировании транспортной системы Магнитогорска за исследуемый временной период. Это должно способствовать информационному обеспечению исследований исторических закономерностей формирования транспортных систем городов, основанных в период индустриализации.

В этой части содержится подробное описание послевоенных трамваев с их техническими характеристиками, достоинствами и недостатками. Это представляет тем больший интерес, потому что эти трамваи использовались не только в Магнитогорске, но и в других городах.

Ключевые слова: трамвайное движение, маршрутная сеть, городская транспортная система, индустриальная археология, памятники индустриального наследия, Магнитогорск.

*Информация об авторах:

Потёмкина Марина Николаевна – профессор, доктор исторических наук, заведующая кафедрой всеобщей истории Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия, mpotemkina@mail.ru.

Грязнов Михаил Владимирович – доцент, доктор технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия, gm-autolab@mail.ru.

Пашковская Татьяна Григорьевна – доцент, кандидат философских наук, доцент кафедры всеобщей истории Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова (МГТУ им. Г. И. Носова), Магнитогорск, Россия, czaczulia@inbox.ru.

Тимофеев Егор Анатольевич – директор по логистике ООО «Ситно-Продукт», директор МП «Маггортранс» (2015–2017 гг.), Магнитогорск, Россия, wolf_tea@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.06.2019, принята к публикации 16.08.2019.

For the English text of the article please see p. 319.



Рис. 1. Ул. Комсомольская (первая половина 1950-х годов).

ПОСЛЕВОЕННЫЙ ПЕРИОД

Строительство трамвайных путей было приостановлено в 1941–1945 гг. в связи с экстремальными условиями военного времени. После окончания Второй мировой войны вопрос роста города в правобережном направлении снова приобрёл актуальность. По решению совнаркома СССР уже в 1945 г. предполагалось проложить трамвайные пути до реки Урал длиной шесть километров. В дальнейшем строительство предполагалось вдоль реки по берегу до моста (ныне Центральный переход).

Пуск новой трамвайной линии протяжённостью 2,7 км, соединившей левобережную и правобережную части города состоялся в 1948 г. На маршруте курсировали три трамвая. На значительном протяжении трассы надо было укладывать большие земляные насыпи по сильно заболоченной территории, пробивать громадную свалку зелёных шлаков. Осложнялись работы тем, что путь проходил по топкой болотистой местности. Всю весну и лето 1945 г. для того, чтобы забутить болото на расстояние 800 метров, завозился заводской мусор в количестве 150–160 м³ ежедневно. Наибольшие затраты на втором этапе строительства были связаны с возведением строительной дамбы через заводской пруд (рис. 4 в предыдущем номере).

Появление трамвайного движения на правом берегу преобразило Магнитогорск, подняв его статус от рабочего посёлка до уровня крупного цивилизованного города. Жители Магнитогорска получили повод гордиться не только тем, что они работают

на крупнейшем в стране металлургическом предприятии, но и тем, что они по-настоящему стали городскими жителями. То, как преобразилась правобережная часть города с развитием трамвайного движения, можно увидеть из фотографий того времени (рис. 1).

Таким образом, в период 1935–1955 гг. была проведена огромнейшая работа по строительству трамвайных линий в лево- и правобережных частях города, позволившая сформировать основу городской транспортной системы, функционирующей в настоящее время. Развитие трамвайных линий неизменно влекло за собой увеличение числа трамвайных маршрутов. За двадцатилетний период число трамвайных маршрутов в г. Магнитогорске возросло в 3,5 раза. С целью сокращения интервала движения трамвайных поездов на маршрутах в послевоенные годы практически непрерывно шло наращивание числа вагонов на линии.

Неэффективность альтернативных способов перемещения городского населения привело к тому, что трамвай превратился в средство передвижения от дома до работы и обратно. Увеличение подвижности населения в условиях длительного ожидания трамвая на остановке практически невозможно. Основное решение качественного улучшения транспортного обслуживания населения заключалось в по-

¹ Источниками фотоматериала, размещённого в данной части статьи, были: МКУ «Магнитогорский историко-краеведческий музей» (рис. 2а, 5а); архив МП «Маггортранс» (рис. 2б, 3, 4б, 5б); личные архивы сотрудников МП «Маггортранс» (рис. 1, 4а).



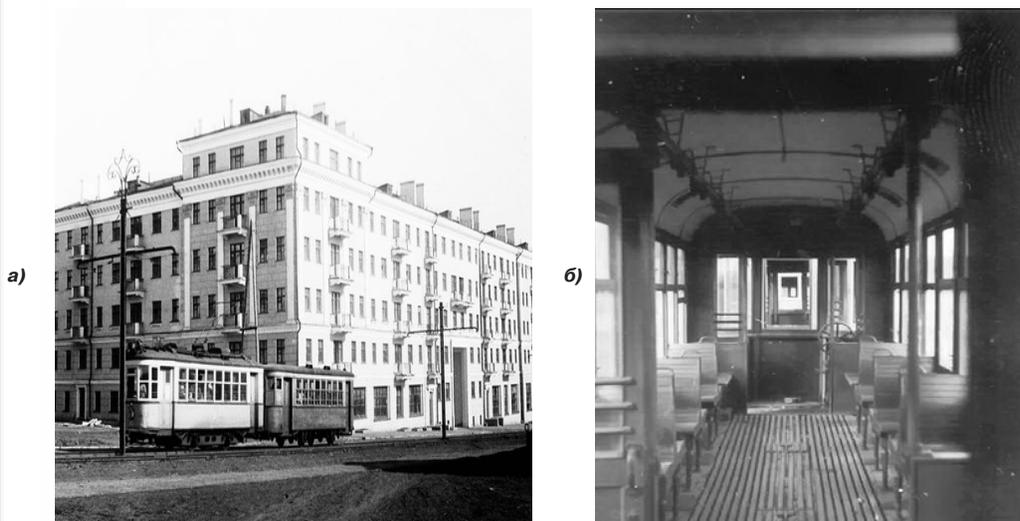


Рис. 2. Движение трамвая серий «Х» и «М» по ул. Чкалова (а) и салон вагонов этих серий (б) (военные годы).

стоянном видоизменении маршрутной сети. Она стала адаптироваться под потребности населения. Приоритет получают маршруты, обслуживающие густонаселённые районы города.

Старые маршруты отходят на второй план и впоследствии закрываются. Практически все маршруты, имевшиеся на начало открытия магнитогорского трамвая, были реорганизованы. В период с 1935–1938 гг. были закрыты три маршрута, обслуживающие лишь левобережную часть. Вместо них появились новые маршруты большей протяжённости, обслуживающие в том числе близлежащие посёлки, район старого железнодорожного вокзала, а впоследствии и правый берег. Рост общей протяжённости трамвайных путей требовал увеличения земельного отвода под транспортную инфраструктуру.

Таким образом, размер и конфигурация внутригородских трамвайных сетей, выбор промышленных технологий определялись особенностями планировки и застройки города, спецификой климата и геоморфологии территории. В транспортной системе Магнитогорска трамваю изначально отводилась роль не «подвозящего», а магистрального транспортного сообщения. Поэтому в рассматриваемый временной период расширение трамвайной маршрутной сети происходило темпами, опережающими строительство металлургического комбината и города.

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ВАГОННОГО ПАРКА

Первые трамвайные вагоны, эксплуатируемые на маршрутной сети Магнитогорска, производились на Мытищинском машиностроительном заводе и были двух типов: моторные серии «Х» и прицепные серии «М». Основные технические характеристики вагона были следующими: максимальная скорость движения – 40 км/ч; число мест для сидения – 24 и 16 соответственно; полная вместимость 100 человек. Своё название модель «Х» получила из-за того, что первая крупная партия этих вагонов была заказана и поставлена в Харьков. Прицепные вагоны модели «М» впервые поставлялись для Московского электро-транспортного предприятия. Фотография трамвайных вагонов указанных серий приведена на рис. 2а.

Интересным было то, что вагоны серии «Х» и «М» довоенных поставок были двусторонними, поэтому в правилах эксплуатации специально оговаривалось, что посадку и высадку можно осуществлять исключительно через правые двери. Использование для этих целей левых дверей было запрещено. По отзывам обслуживающего персонала, вагоны этих серий были довольно неприхотливы в эксплуатации, имели высокую ремонтпригодность и надёжность. Однако прицепные вагоны характеризовались сильной раскачкой, при интенсивной эксплуатации в тележках появля-

лись трещины, происходил излом их консольных частей.

Особенностью этих вагонов было то, что водитель работал стоя, поскольку кабина не предусматривала специализированного кресла. Рабочая смена длилась порой более восьми часов. Дополнительные физические нагрузки создавали снежные заносы путей в зимнее время, с которыми соответствующие службы часто не справлялись. Отсутствовал стеклоочиститель, обдув и обогрев стекла. Эксплуатация вагона не только в дождь, но и в холодное время года была затруднена. Постоянно запотевающие стёкла приходилось часто очищать вручную.

Системы отопления также не было. Учитывая то, что зимы в Магнитогорске довольно суровые, это обстоятельство создавало значительное неудобство водителю и кондуктору, работавшим фактически всю смену при уличной температуре. На конечных разворотных кольцах жгли костры, в которых разогревали кирпичи или камни, а затем укладывали на пол кабины. За рейс камень остывал, на кольцо его заново меняли. Это позволяло хоть немного обогревать ноги и как-то повышать комфорт вождения. Но самым неудобным для водителя было даже не отсутствие кресла, а отсутствие перегородки кабины. Водитель испытывал те же неудобства переполненного салона, что отражалось на его психологическом состоянии, утомляемости и, конечно же, на безопасности движения.

Ещё одной особенностью первых моделей являлось отсутствие контроля за вагонными дверями. Двери открывались и закрывались пассажирами, а при наличии рычажной системы управления — легко отжимались (рис. 26). Естественно, это приводило к травматизму, когда, повиснув на подножке переполненного вагона, пассажиры нередко ударялись об опоры и другие элементы за пределами габарита нормальной эксплуатации. Модель «М» имела вместо колёсно-колодочного тормоза дисковый тормоз с бакелитовыми колодками. При такой системе снижается износ бандажей. Кроме того, тормозные колодки имели больший срок службы, уменьшался вес тормозной системы. Но самое главное, коэффициент трения не изменялся в зави-

симости от состояния поверхности рельса или бандажа.

Вагон имел непосредственную систему управления. Преимуществом этой системы является простота её устройства и обслуживания и низкая ресурсоёмкость ремонтов. Недостатком является расположение вблизи водителя высоковольтного коммутационного устройства, нерациональный расход электроэнергии, связанный с нагревом пуско-тормозных реостатов.

Кроме того, близкое расположение электрических дуг и разогретых докрасна пуско-тормозных реостатов от деревянной обшивки вагона делало его к тому же пожароопасным. Интересным является тот факт, что женщинам предписывалось работать в косынках, а мужчинам в кепках или беретах. Это было необходимо для защиты волос водителей от опаливания дугой. Несмотря на то, что контроллер был закрыт корпусом, ввиду разных факторов периодически дуга «вырывалась» наружу. Давно уже нет таких трамваев, но косынка ещё долго оставалась определённым элементом образа вагоновожатой.

В 1948 г. в Магнитогорск поступили новые вагоны, отличные от предыдущих моделей, — односторонние, двухосные и высокопольные трамваи модели КТМ/КТП1. Эти вагоны выпускались на Усть-Катавском заводе имени С.М. Кирова с 1947 по 1961 гг. Аббревиатуры КТМ и КТП расшифровываются соответственно, как «Кировский трамвай моторный» и «Кировский трамвай прицепной». Максимальная скорость их движения составляла 40 км/ч, масса КТМ — 12,5 тонн и КТП — 8 тонн.

Конструкция новых вагонов предусматривала максимальное применение уже существовавшего механического и электрического оборудования. В качестве тяговых электродвигателей использовались два мотора. Основным отличием от моделей «Х» и «М» был цельнометаллический несущий кузов (рис. 3а).

Вагоны КТМ имели три системы тормозов: пневматическую, ручную и электрическую (соответственно служебный, запасной и экстренный тормоз). Вагоны КТП1 имели служебную пневматическую и запасную ручную системы. В моторном вагоне ручной тормоз устанавливался в ка-



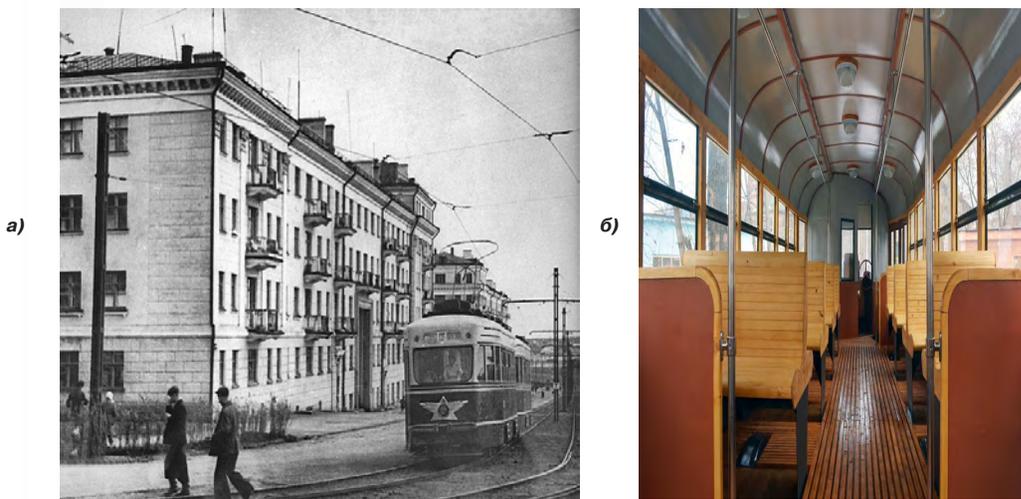


Рис. 3. Движение трамвая КТМ/КТП по ул. Чкалова (1952 г.) (а) и салон вагонов этой модели (б).

бине водителя, а в прицепном вагоне у места кондуктора.

Электроснабжение осуществлялось бугелем — дуговым токоприёмником с включением в цепь громоотвода, располагавшегося на крыше. Пневматическое оборудование применялось для приведения в действие тормозной системы, ящиков для хранения песка, дверей, стеклоочистителей и звонка. Кабина водителя обогревалась двумя электротенами. Обогрев салона отсутствовал.

К достоинствам тех вагонов можно отнести: малое негативное воздействие на пути; простоту обслуживания и ремонта; высокое качество сборки; относительно небольшую массу; хорошие динамические свойства; эргономичное расположение элементов управления; современный для того времени дизайн. Однако эксплуати-

руемые в тот период трамвайные вагоны не обеспечивали большой вместимости и высокой комфортности поездки пассажиров. Вагоны были оснащены деревянными сидениями (рис. 3б) и слабо освещены. В них отсутствовало отопление, была плохая звукоизоляция, чрезмерно шумно работал компрессор. Неудачной также была планировка салона.

В 1949 г. городской трамвайный парк пополнился новым вагоном модели МТВ 82. Он прибыл с Рижского вагоностроительного завода. Это один из самых надёжных и долговечных трамваев, когда-либо эксплуатировавшихся в Магнитогорске (рис. 4а).

Аббревиатура «МТВ» расшифровывается как «Московский трамвайный вагон». Первый прототип был построен на военном заводе № 82 (ныне Тушинский маши-

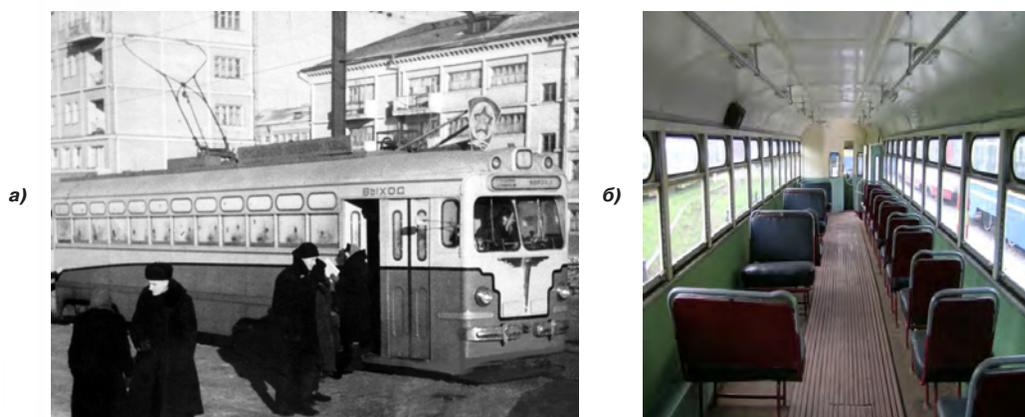


Рис. 4. Движение трамвая МТВ 82 по пр. Пушкина (1950-е гг.) (а) и салон вагона этой модели (б).

ностроительный завод). Отсюда индекс 82 в названии вагона. Изначально в 1946 г. был разработан автобус МТВ 82, после выполнения заказов на заводе осталось много кузовных деталей и из них предложено было собрать максимально унифицированный трамвай. Кузова первых таких вагонов не имели характерных для трамваев скосов. Позднее эта особенность, препятствующая эксплуатации вагонов на ряде маршрутов, была устранена. С изменением формы на один оконный проём удлинился корпус вагона, а пантограф был заменён на традиционный для того времени бугель.

С 1949 г. серийное производство вагонов данного типа было налажено в Риге, где продолжалось до 1961 г. По технико-эксплуатационным характеристикам модель МТВ 82 выгодно отличалась от предшественников: максимальная скорость вагона — 55 км/ч, масса — 17,5 т, 40 мест для сидения, полная вместимость — 140 мест. Суммарная мощность четырёх электродвигателей составляла 220 кВт.

По своей технической оснастке трамвай МТВ 82 остался на уровне 1930 годов, однако это был первый полностью металлический вагон. Он имел устаревшую к тому времени непосредственную систему управления и был оснащён большим числом пневматического оборудования (механизмы открывания и закрывания дверей, тормоза, стеклоочистители), привод которых требовал повышенного расхода электроэнергии. Управление оборудованием осуществлял водитель. В салоне трамвая устанавливался стоп-кран.

Вагон отапливался 12 электропечами. Ещё одна электропечь находилась в кабине водителя. Освещение внутреннего пространства производилось 15 плафонами с двумя лампами в каждом. Были и свои неудобства: двухдверный корпус вагона затруднял эксплуатацию на маршрутах с большим пассажиропотоком, переборки в проёмах не позволяли перевозить большой багаж. В случае нахождения на подножке пассажира в момент закрывания двери, он выталкивался наружу. Кабина водителя имела очень маленькие размеры.

Все электропотребители подключались к высоковольтной цепи 600 В, включая звонок. Вагон МТВ 82 славился одной из самых мощных тормозных систем среди

вагонов того времени. В горных районах, там, где не могли работать другие трамваи, применялся именно МТВ 82. Корпус вагона располагался на мощной раме. Он обшивался алюминиевыми листами, крепившимися к остову, а изнутри отделялся дубовой фанерой. Металлические элементы хромировались. Дощатый пол стелился на раму и покрывался реечными щитами с люками для быстрого доступа к узлам и агрегатам. В салоне устанавливались мягкие сиденья диванного типа (рис. 46).

Окраска корпуса была выполнена в виде бордовой полосы на кремовом фоне. Именно использование качественных материалов позволило добиться уровня надёжности гораздо выше, чем у других моделей вагонов. За счёт комфортного салона вагон заслуженно завоевал любовь пассажиров, а за счёт феноменальной надёжности — эксплуатационников.

Активное использование МТВ 82 продолжалась до середины семидесятых годов, а завершилась исключительно в связи с централизованным переходом трамвайных хозяйств на вагоны отечественной модели «КТМ 5» и чешские «Татры». После списания вагоны МТВ 82 в основном были в хорошем техническом состоянии, а специальные служебные вагоны, изготовленные на их базе, работают во многих городах страны до сих пор.

В один год с трамваями МТВ 82 в Магнитогорск поступили первые трамвайные вагоны ленинградского завода модели ЛМ 49 и их прицепной версии — модели ЛП 49. Цифры в модификации означают год начала серийного выпуска. После Великой Отечественной войны в Ленинграде осталось множество сгоревших или повреждённых вагонов ЛМ/ЛП 33 с уцелевшими рамами. На этих рамах начали воссоздаваться трамвайные вагоны в новом корпусе.

Первой была новая модель ЛМ 47. Ввиду большой массы этот вагон имел плохие динамические характеристики. Тогда в 1948 г. группа инженеров-конструкторов приступает к разработке модели ЛМ 49. Конструкторы ставят перед собой следующие задачи: трамвай должен иметь максимально возможную вместимость и долговечность. При этом ему необходимо было иметь минимально возможную массу и обеспечивать быструю посадку-высадку



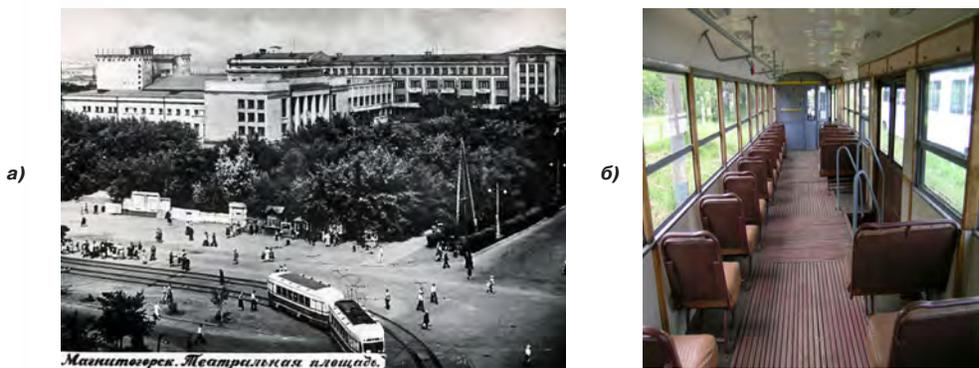


Рис. 5. Движение трамвая ЛМ 49/ЛП 49 по Театральной площади (1951 г.) (а) и салон вагона этой модели (б).

пассажиров с целью увеличения средней эксплуатационной скорости.

Новый вагон имел несущий корпус, представляющий собой сварную цельно-металлическую конструкцию из профилей разного сечения. Кузов для защиты от коррозии покрывался алюминиевым лаком, наиболее подверженные воздействию внешних факторов элементы хромировались. Суммарная мощность и количество электродвигателей были такими же, что и в модели МТВ 82.

По технико-эксплуатационным характеристикам модели ЛМ 49 и ЛП 49 отличались от модели МТВ 82: максимальная скорость вагона — 55 км/ч; масса моторного вагона — 19,5 т, прицепного вагона — 13,8 т; 34 места для сидения; полная вместимость — 199 мест. С точки зрения вместимости этот вагон существенно отличался в лучшую сторону от МТВ, но имел большую массу, соответственно и расход электроэнергии.

Вместимость обеспечивалась максимальной допустимой для того времени длиной 15 м. На вагонах ЛМ 49 впервые в истории производства трамваев применена схема раздвижных дверей, гораздо более безопасная, чем на МТВ, но требующая наличия специальных пазов в корпусе. В этой модели также использовались устаревшие не прорезиненные литые колёсные диски с напрессованными на них бандажами. В результате движение вагона сопровождалось сильным шумом, несмотря на двойное подвешивание тележек, хотя пассажиры ощущали довольно плавный ход трамвая.

Обшивка кузова не приваривалась, а приклёпывалась к несущим конструкци-

ям, крыша выполнялась из досок и обшивалась брезентом. Это формировало так называемый диэлектрический коврик при неосторожном касании находящегося под напряжением силового провода. Это видно из фотографии, приведённой на рис. 5а. Поверх рамы дощатый пол покрывался реечным покрытием, под которым в полу монтировались люки и технологические отверстия. Изначально сиденья были реечными, но при проведении капитальных ремонтов обтягивались мягким материалом (рис. 5б).

Прицепной и моторный вагоны соединялись посредством стандартной в СССР сцепки. Пневматический привод имели: двери, тормоз, ящики для хранения песка, устройство подъёма и опускания пантографа, стеклоочистители и звонок. Первые вагоны ЛМ 49 не имели указателей поворота, тормозных огней и громкоговорящих устройств с микрофонами. Как салон, так и кабина водителя оборудовались электро-тепловыми обогревателями. Печка в кабине водителя была установлена сбоку, и кабину очень сильно продувало, так как в полу было много технологических отверстий для проводки, уходящей под вагон. Поэтому водители утепляли кабины собственными силами.

Вместе с тем трамваи ленинградского завода не нашли такого широкого применения в Советском Союзе, как трамваи рижского завода. Помимо нашего города, они эксплуатировались в Ленинграде, Новокузнецке, Горьком и Минске. Отмечались высокая надёжность и долговечность этих трамваев. Эти вагоны были сложны в управлении. Их вывод из эксплуатации

был инициирован с конца 1970-х годов. Трамвайное хозяйство Магнитогорска дольше всех в РСФСР эксплуатировало вагоны этой модели. Последний вагон ЛМ 49 в магнитогорском трамвайном хозяйстве был списан в 1987 г.

Таким образом, за исследуемый период в Магнитогорске на трамвайных маршрутах эксплуатировался вагонный парк семи моделей: X, M, КТМ1, КТП1, МТВ 82, ЛМ 49, ЛП 49. Технические характеристики вагонного парка были типичны для всех городов СССР, имевших трамвайный транспорт. Несмотря на то, что с течением времени трамвайный парк Магнитогорска увеличивался, технические характеристики вагонов совершенствовались медленно. Низкая комфортабельность и экономичность трамвайных вагонов предопределялась сверхцентрализованностью экономической советской модели, доминированием политических интересов над экономическими и социальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты и выводы проведённых исследований состоят в следующем:

1. Становление и функционирование трамвайного движения в Магнитогорске в довоенные и послевоенные годы осуществлялось под влиянием специфических территориально-географических, ландшафтных, производственных и других факторов:

- мобилизационной модели экономики страны с её плановым началом и административно-командными методами управления;
- общегосударственной политикой в вопросе организации городского транспорта, основанной на остаточном принципе финансирования;
- ландшафтными особенностями и континентальным климатом региона;
- траекторией городской застройки и архитектурным планом города;
- влиянием идеологических концепций строительства соцгорода.

2. Общая протяжённость одиночного трамвайного пути в городе в рассматриваемый период постоянно увеличивалась. К моменту пуска трамвая длина путей составила 11 км с одной тяговой подстанци-

ей и семью остановками, к 1955 г. протяжённость трамвайных путей составляла 50 км. Траектории строительства трамвайных линий диктовались своеобразным расположением города. До 1939 г. и промышленная, и жилая зоны располагались исключительно на левом берегу реки Урал. Приоритетной задачей выбора вариантов строительства трамвайных путей являлась прокладка вылетных линий к металлургическому предприятию.

3. Отсутствие возможности дальнейшего развития города в левобережной части из-за холмистого ландшафта, возможных изысканий залежей железной руды, вредного воздействия производства, нестабильного степного ветрового режима послужили причиной актуализации строительства жилого массива на правом берегу. В связи с этим возникла острая необходимость воздвижения мостов через реку и прокладки трамвайных путей с левого на правый берег. Осуществление этой задачи было начато в послевоенный период.

4. Строительство трамвайных путей предусматривало поэтапный охват юго-восточной (1935–1941 гг.) и западной границы (1947 г.) металлургического комбината, а также налаживание транспортного сообщения с правобережной частью города (1948–1950 гг.). Это предопределило современный облик города и позволило отказаться от градостроительных планов размещения жилых районов вблизи промышленной площадки комбината.

5. Трамвайная маршрутная сеть 1930–1950-х гг. имела ярко выраженный акцент на специальные рейсы, удовлетворяющие в первую очередь потребности градообразующего предприятия в доставке персонала. Однако навыки и опыт работы, полученные на первых этапах строительства, позволили адаптировать маршрутную сеть к транспортным потребностям населения при её последующем развитии в правобережной части города.

6. В течение 20 лет с момента пуска в Магнитогорске первого трамвая наблюдалось кардинальное изменение эксплуатационных характеристик эклектического подвижного состава в части:

- эргономики – наличие на рабочем месте водителя обогревателя и сидения, стеклоочистителя и обогрева ветрового



стекла, повышенной обзорности, механизации управления оборудованием;

- безопасности перевозок — изолирование рабочего места водителя от общего пространства салона, централизованное управление дверями вагона, отказ от непосредственной системы управления тяговыми электродвигателями, появление резервной тормозной системы, использование раздвижных дверей;

- уровня комфорта пассажиров — большая плавность хода и торможения, наличие отопителей салона и мягких сидений, дополнительных дверей для посадки-высадки, увеличение световой площади окон салона.

7. Конструктивные изменения трамвайных вагонов состояли в следующем: вместо двухосных первых вагонов, последующие модели оснащались тележками на шкворневых соединениях с кузовом, имеющих две оси, восемь колёс, два электродвигателя. Кузов трамвайного вагона становится цельнометаллическим на несущей раме, дерево применяется лишь как материал для отделки салона.

8. С каждым годом трамвайные вагоны всё больше привлекали пассажиров красивым внешним видом и богатой внутренней отделкой. Они становились более комфортными для пассажиров и водителей, всё больше воспринимались жителями города как продолжение своего жизненного пространства, как некий дом на колёсах.

9. Запуск трамвайного движения в Магнитогорске оказал существенное влияние на социально-экономическое развитие города и способствовал расширению территориальных возможностей расселения жителей за счёт повышения транспортной подвижности населения и увеличения средней дальности поездок пассажиров. Одновременно происходило размежевание городских территорий на сферы приложения труда, жилые массивы, административные и торговые центры, а также зоны массового отдыха.

Исследование, представленное в данной статье, является частью крупного исследовательского междисциплинарного проекта, целью которого является понимание значения городского транспорта общего пользования в Магнитогорске.

В рамках этого проекта планируется: изучить особенности функционирования человеко-машинных систем трамвайного хозяйства; определить значение коммуникативного пространства трамвая и влияние городского транспорта общего пользования индустриальной эпохи на формирование культуры горожан; провести археологический анализ сохранившейся трамвайной инфраструктуры (трамвайных депо, трамвайных путей); реконструировать по фотографиям и чертежам другие объекты. Несомненно, это углубит понимание проблемы революционных изменений индустриальной эпохи на примере системы транспорта общего пользования в городских центрах первой половины XX века.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев П. А. Из истории электротранспорта в России // Энергетика и промышленность России. — 2008. — № 23—24. — С. 115—116.
2. Баканов В. П. Испытание Магниткой: исторический очерк. — Магнитогорск, МиниТип, 2001. — 338 с.
3. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. — М.: ИД «Территория будущего», 2011. — 576 с.
4. Галигузов И. Ф., Чурилин М. Е. Флагман отечественной индустрии. История Магнитогорского металлургического комбината им. В. И. Ленина. — М.: Мысль, 1978. — 251 с.
5. Конышева Е. В., Меерович М. Г. Эрнст Май и проектирование соцгородов в годы первых пятилеток (на примере Магнитогорска). — М., 2011. — 221 с.
6. Краеведение. Магнитогорск. 9—11 класс: Учебник для общеобразовательных учреждений Челябинской области / Под ред. М. Г. Абрамзона, М. Н. Потёмкиной. — Челябинск: АБРИС, 2013. — 195 с.
7. Магнитогорск. Энциклопедия / Гл. ред. Б. А. Никифоров; ред.-сост. И. В. Андреева и др. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2002. — 559 с.
8. Адувалин А. А., Грязнов М. В., Давыдов К. А., Курганов В. М. Нормирование и повышение эффективности технической эксплуатации автобусов (на примере транспорта общего пользования г. Магнитогорска): Монография. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2015. — 152 с.
9. Сажин Л. Д., Королёва Т. К. Основные показатели работы трамваев в городах СССР за 1940—1945 годы и троллейбусов за 1940 год: [Стат. справочник] / Всесоюз. науч. инж.-техн. о-во гор. электротранспорта. — М.: Гормашучёт, 1947. — [64] л. разд. паг.
10. Сиразетдинова А. Д., Красавин А. В., Грязнов М. В. Повышение пропускной способности автодорожной сети средних городов (на примере г. Магнитогорска): Монография. — Красноярск: Изд-во КРИЖТ ИрГУПС, 2013. — 116 с.
11. Слово о Магнитке / Сост. Н. Карташов. — М.: Политиздат, 1979. — 223 с.
12. Шпаков И. В. Становление и развитие трамвайного транспорта в Центральном Черноземье в конце XIX — первой трети XX вв. // Автореф. дис. канд. ист. наук. — Курск, 2013. — 22 с.



Role of Tram Transit in Formation of Magnitogorsk Transportation System (1930–1955)



Marina N. POTYOMKINA



Mikhail V. GRYAZNOV



Tatyana G. PASHKOVSKAYA



Egor A. TIMOFEEV

*Potemkina, Marina N., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Gryaznov, Mikhail V., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Pashkovskaya, Tatyana G., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Timofeev, Egor A., LLC Sitno-Product, Magnitogorsk, Russia*.*

ABSTRACT

The final part of the article the first part of which was published in our previous issue (Vol. 17, Iss. 5). It provides information about the state of Magnitogorsk electric transport during its formation. The article is structured into sections relating to expansion of the route tram network, state and development of car fleet. The considered time period captures the years of the Great Patriotic War and is limited to the beginning of the «thaw» in the domestic political life of the Soviet state. Through systematization of documentary evidence, the fundamental role of tram

traffic in formation of the transport system of Magnitogorsk for the studied time period is determined. This should contribute to development of information support for research on the historical patterns of formation of urban transport systems based in the period of industrialization.

The second part of the article mainly describes the models of trams operated in Magnitogorsk in post-war period since 1945, their features, advantages and disadvantages. This is of the particular interest since the same trams were operated in many other Russian cities as well.

Keywords: tram traffic, route network, urban transport system, industrial archeology, industrial heritage monuments.

*Information about the authors:

Potyomkina, Marina N. – professor, D.Sc. (History), head of the department of world history of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, mpotemkina@mail.ru.

Gryaznov, Mikhail V. – associate professor, D.Sc. (Eng), head of the department of logistics and transport systems management of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, gm-autolab@mail.ru.

Pashkovskaya, Tatyana G. – associate professor, Ph.D. (Philosophy), associate professor of the department of world history of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, crazulia@inbox.ru.

Timofeev, Egor A. – logistics director of LLC Sitno-Product, director of ME Maggortrans (2015–2017), Magnitogorsk, Russia, wolf_tea@mail.ru.

Article received 18.06.2019, accepted 16.08.2019.

For the original Russian text of the article please see p. 310



Pic. 1. Komsomolskaya street (first half of 1950s)¹.

Post-war period

The construction of tram tracks was suspended in 1941–1945 due to the extreme conditions of wartime. After the end of World War II, the issue of city growth in the right-bank direction became again relevant. By decision of the USSR people's commissariat [ministry], in 1945, it was planned to lay six kilometers long tram tracks towards the Ural River. In the future, construction was supposed along the river along the coast to the bridge (now the Central passage).

The launch of a new 2,7 km long tram line connecting the left-bank and right-bank parts of the city took place in 1948. Three trams ran on the route. Over a considerable length of the route it was necessary to lay large earthen embankments along a very wetland area, to punch a huge dump of green slags. The work was complicated by the fact that the track passed through a swampy marshland. Throughout spring and summer of 1945, to confuse the swamp to a distance of 800 meters, factory waste was imported in an amount of 150–160 m³ daily. The greatest costs in the second stage of construction were associated with construction of a dam across the factory pond. The dam was shown in the photograph that was published in our previous issue.

The emergence of tram traffic on the right bank transformed Magnitogorsk, raising its status from a working village to the level of a large civilized city. Residents of Magnitogorsk

got an occasion to be proud not only of the fact that they work at the country's largest metallurgical enterprise, but also of the fact that they truly became urban residents. How the right-bank part of the city was transformed with development of tram traffic can be seen from photographs of that time (Pic. 1).

Thus, in the period from 1935 through 1955 tremendous work was done for construction of tram lines in the left- and right-bank parts of the city, which made it possible to form the basis of the urban transport system that is currently functioning. The development of tram lines invariably entailed an increase in the number of tram routes. Over a twenty-year period, the number of tram routes in Magnitogorsk increased by 3,5 times. To reduce the intervals in tram traffic on the routes in the post-war years, the number of cars per line increased almost continuously.

The inefficiency of alternative ways of moving the urban population has led to the fact that tram has become a means of transportation from home to work and back. An increase in population mobility if there is a long-term waiting for a tram at a stop is almost impossible. The main solution to qualitative improvement of transport services for the population was to constantly modify the route network. It began to adapt to the needs of the population. Priority was given to the routes serving the densely populated areas of the city.

Old routes fade into the background and subsequently closed. Almost all the routes existed at the beginning of the opening of Magnitogorsk tram were reorganized. In the period from 1935 to 1938 three routes were closed, serving only the left-bank part. Instead,

¹ The following sources of photos were used in the second part of the article: Magnitogorsk Museum of History and Local Lore (Pics. 2a, 5a); archives of Maggortrans (Pics. 2b, 3, 4b, 5b); personal archives of employees of Maggortrans (Pics. 1, 4a).



a)

b)

Pic. 2. Movement of tram of the series «X» and «M» along Chkalov street (a) and compartment of cars of these series (b) (war years).

new routes of a greater length appeared, serving also nearby villages, the area of the old railway station, and subsequently the right bank. The increase in the total length of tram tracks required an increase in land allotment for transport infrastructure.

Thus, size and configuration of intercity tram networks, choice of industrial technologies were determined by the features of planning and development of the city, the specific climate and geomorphology of the territory. In the transport system of Magnitogorsk, tram was initially assigned with the role not of a mode of transport, but of the main and unique transporting and connecting one. Therefore, in the period under review, expansion of the tram route network took place at a pace ahead of construction of the metallurgical plant and the city.

Conditions and development of tram fleet

The first tram cars operated on Magnitogorsk route network were produced at Mytishchi Machine-Building Plant and were of two types: engine series «X» and trailed series «M». The main technical characteristics of the car were as follows: maximum speed was 40 km/h; the number of seats was of 24 and 16, respectively; full capacity 100 people. The model «X» got its name since the first large batch of these cars was ordered and delivered to Kharkov [X for Russian spelling of that town]. Trailer cars

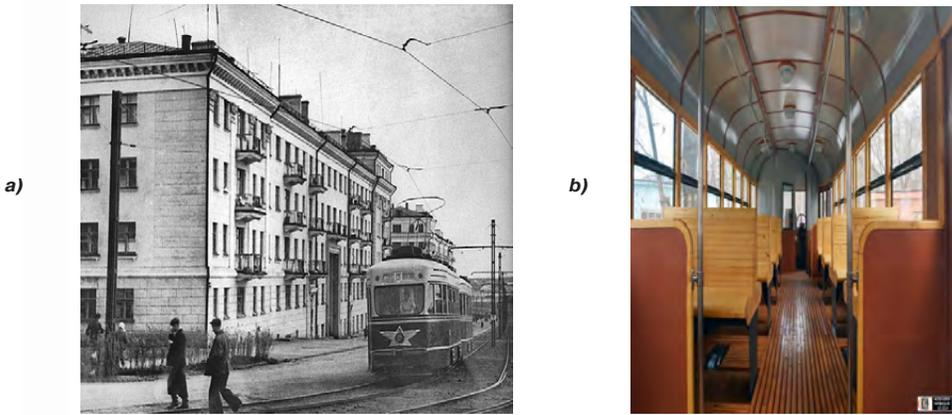
of «M» model were supplied for the first time for Moscow Electric Transport Company. A photograph of the tram cars of the indicated series is shown in Pic. 2a.

It was interesting that the cars of «X» and «M» series of pre-war deliveries were two-sided, therefore, the operating rules specifically stipulated that boarding and disembarking can be carried out exclusively through the right doors. The use of left doors for these purposes was prohibited. According to the staff, the cars of these series were quite unpretentious in operation, had high maintainability and reliability. However, trailed cars were characterized by a strong buildup, cracks appeared in carts during intensive operation, and their cantilever parts broke.

The peculiarity of these cars was that the driver worked standing up, since the cabin did not provide for a specialized chair. The work shifts sometimes lasted more than eight hours, snow drifts of tracks in winter caused additional physical exertion. And the assistance teams often could not cope with snow drifts. There was no wiper, blowing and heating the glass. Car operation not only in the rain, but also in the cold season was difficult. Constantly misting windows often had to be cleaned manually.

There was no heating system either. Given that the winters in Magnitogorsk are rather severe, this circumstance created a significant inconvenience to the driver and the conductor,





Pic. 3. Movement of the tram KTM/KTP along Chkalova street (1952) (a) and compartment of cars of this model (b).

who worked virtually during the entire shift at street temperature. Bonfires were burned on the final turning rings, in which bricks or stones were heated, and then laid on the cab floor. During the trip, the stone cooled, on the ring it was changed again. This allowed at least to warm the feet and to somehow improve driving comfort. But the most inconvenient thing for the driver consisted not even in the lack of a seat, but in the lack of a partition for the cab. The driver perceived all the inconvenience of the crowded compartment, which was the cause of his bad psychological state, fatigue and, of course, negatively influenced the traffic safety.

Another feature of the first models was the lack of control over car doors. Doors were opened and closed by passengers, and if there was a lever control system, they were easily wrung out (Pic. 2b). Naturally, this led to injuries when, hanging on the steps of an overcrowded car, passengers often bumped against supports and other elements outside the normal operation range. Model «M» had a disc brake with bakelite pads instead of a wheel-shoe brake. With such a system, wear of bandages is reduced. In addition, brake pads had a longer service life, and eight of the brake system decreased. But most importantly, the coefficient of friction did not change depending on the state of the surface of the rail or bandage.

The car had a direct control system. The advantage of this system is simplicity of its installation and maintenance and low resource consumption of repairs. The disadvantage is location near the driver of the high-voltage switching device, irrational energy consumption associated with heating of the start-brake rheostats.

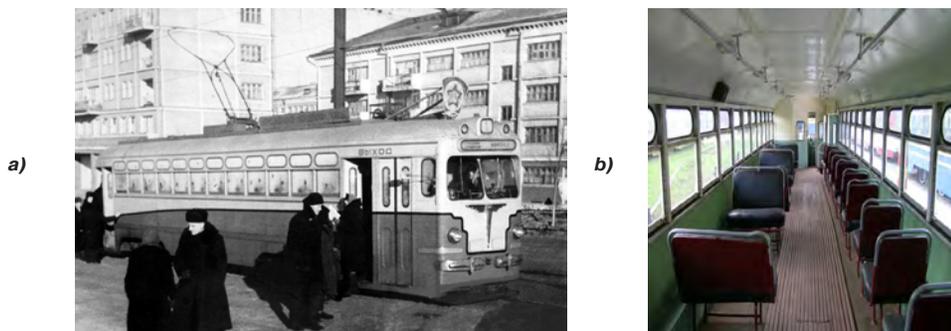
In addition, close location of electric arcs and red-hot start-brake rheostats from the wooden lining of the car made it also fire hazardous. Interesting is the fact that women were prescribed to work in scarves, and men in caps or berets. This was necessary to protect hair of drivers from singeing arc. Despite the fact that the controller was closed by the housing, due to various factors, the arc periodically «pulled out». For a long time there are no such trams, but the scarf for a long time remained a certain element of the image of the car driver.

In 1948, new cars arrived in Magnitogorsk that are different from previous models – one-sided, two-axle and high-floor trams of KTM/KTP1 model. These cars were produced at Ust-Katavsky plant named after S. M. Kirov from 1947 to 1961. The abbreviations KTM and KTP are deciphered, respectively, as «Kirovsky tram motor» and «Kirovsky tram trailed». The maximum speed of their movement was 40 km/h, the mass of KTM – 12,5 tons and KTP – 8 tons.

The design of new cars provided for the maximum use of the existing mechanical and electrical equipment. Two motors were used as traction motors. The main difference from «X» and «M» models was an all-metal supporting body (Pic. 3a).

KTM cars had three brake systems: pneumatic, manual, and electric ones (service, spare and emergency brakes, respectively). KTP1 cars had pneumatic and spare manual systems. In a motor car, a hand brake was installed in the driver's cab, and in a trailed car at the place of the conductor.

Power supply was carried out by a yoke: an arc current collector with the inclusion of a



Pic. 4. Movement of the tram MTV 82 along Pushkina prospect (1950) (a) and compartment of the car of this model (b).

lightning rod located on the roof in the circuit. Pneumatic equipment was used to activate the brake system, sand storage boxes, doors, wipers, and bell. The driver's cab was heated by two electric heaters. There was no interior heating.

The advantages of those cars include: a small negative impact on the track; ease of maintenance and repair; high build quality; relatively small mass; good dynamic properties; ergonomic arrangement of controls; modern design for that period. However, ram cars operated at that time did not provide a large capacity and high comfort for passengers. The cars were equipped with wooden seats (Pic. 3b) and dimly lit. There was no heating in them, there was poor sound insulation, the compressor worked excessively noisy. The interior layout was also unsuccessful.

In 1949, the city tram fleet was replenished with a new MTV 82 model car. It arrived from Riga Car Building Plant. These are one of the most reliable and durable trams ever operated in Magnitogorsk (Pic. 4a).

The abbreviation «MTV» stands for «Moscow tram car». The first prototype was built at the military plant No. 82 (now Tushino Engineering Plant). Hence the index 82 in the name of the car. Initially, in 1946, MTV 82 bus was developed, after fulfillment of orders at the plant, many body parts remained, and it was proposed to assemble the most unified tram out of them. The bodies of the first such cars did not have bevels characteristic of trams. Later, this feature, which impedes operation of cars on several routes, was eliminated. With a change in shape, the car body was lengthened by one window opening, and the pantograph was replaced by a yoke traditional for that time.

Since 1949, mass production of cars of this type was established in Riga, where it

lasted until 1961. According to the technical and operational characteristics, MTV 82 model compares favorably with its predecessors: the maximum speed of the car is 55 km/h, weight – 17,5 tons, 40 seats, full capacity – 140 seats. The total power of 4 electric motors was 220 kW.

In terms of its technical equipment, MTV82 tram remained at the level of the 1930s, however it was the first all-metal car. It had a direct control system obsolete by that time and was equipped with numerous pneumatic devices (door opening and closing mechanisms, brakes, wipers), the drive of which required increased power consumption. The equipment was controlled by the driver. In the compartment of the tram a stop crane was installed.

The interior of the car was heated by twelve electric furnaces. Another electric furnace was in the driver's cab. Lighting of the internal space was carried out by 15 shades with two lamps. There were some inconveniences: two-door car body made it difficult to operate on routes with large passenger flow, bulkheads in the openings did not allow transportation of large luggage. If the passenger was on the step at the moment the door was closed, he was pushed out. The driver's cab was very small.

All consumers were connected to a 600 V high-voltage circuit, including a bell. The MTV 82 car was famous for one of the most powerful brake systems among the cars of that time. In mountainous areas, where other trams could not work, MTV 82 was used. The car body was located on a powerful frame. It was sheathed with aluminum sheets fastened to the skeleton, and from the inside it was finished with oak plywood. The metal elements were chrome plated. The plank floor lay on the frame and was covered with slatted shields with



hatches for quick access to components and assemblies. Inside, soft sofa-type seats were installed (Pic. 4b).

The body was painted in the form of a burgundy strip on a cream base. It was the use of high-quality materials that made it possible to achieve a level of reliability much higher than that of other models of cars. Due to the comfortable cabin, the car deservedly won love of passengers, and due to phenomenal reliability – of operators.

Active use of MTV 82 continued until the mid-seventies, and ended solely in connection with the centralized transition of tram facilities to domestic cars «KTM 5» and Czech «Tatras». After decommissioning, MTV 82 cars were mostly in good technical condition, and special service cars made on their basis are still operating in many cities of the country.

In one year with MTV 82 trams, the first tram cars of Leningrad plant model LM 49 and their trailed version – model LP 49) arrived in Magnitogorsk. The numbers in the modification indicate the year the serial production began. After World War II, a lot of burned or damaged LM/LP 33 cars with surviving frames remained in Leningrad. On these frames, tram cars in the new housing began to be recreated.

The first one was the new model LM 47. Due to the large mass, this car had poor dynamic characteristics. Then, in 1948, a group of design engineers began to develop LM 49 model. The designers set themselves the following tasks: the tram should have the highest possible capacity and durability. In addition, it needed to have the smallest possible mass and ensure quick boarding and disembarking of passengers in order to increase the average operating speed.

The new car had a supporting body, which is a welded all-metal structure from profiles of different sections. The body for protection against corrosion was covered with aluminum varnish, the elements most susceptible to external factors were chrome plated. The total power and number of electric motors was the same as in MTV 82 model.

According to the technical and operational characteristics, LM 49 and LP 49 models differed from MTV 82 model: maximum speed of the car was 55 km/h; weight of a motor car – 19,5 tons, trailed car – 13,8 tons; 34 seats; full capacity – 199 seats. In terms of capacity, this car was significantly different for the better

from MTV, but it had a large mass, and accordingly, power consumption.

The capacity was provided by the maximum permissible length of 15 m for that time. For the first time in the history of construction of trams on LM 49 cars, a sliding door scheme was used, which was much safer than on MTV, but requiring special grooves in the housing. This model also used outdated non-rubberized alloy wheels with braces pressed onto them. As a result, car movement was accompanied by a loud noise, despite double suspension of trolleys, although passengers felt a fairly smooth tram ride.

The body sheathing was not welded, but was riveted to supporting structures, the roof was made of boards and sheathed with tarpaulin. This formed the so-called dielectric rug when carelessly touching a live power cable. This can be seen from the photograph shown in Pic. 5a. Over the frame, the plank floor was covered with a slatted floor, under which hatches and technological holes were mounted in the floor. Initially, the seats were rack and pinion, but during major repairs they were covered with soft material (Pic. 5b).

Trailer and motor cars were connected by means of a standard coupling in the USSR. The pneumatic drive had: doors, brake, sand storage boxes, a device for raising and lowering the pantograph, wipers and a bell. The first LM 49 cars did not have direction indicators, brake lights and loud-speaking devices with microphones. Both the interior and the driver's cab were equipped with electric heaters. The stove in the driver's cab was installed on the side and the cab was blown very hard, as there were many technological holes in the floor for wiring going under the car. Therefore, drivers insulated the cabs on their own.

At the same time, trams of Leningrad plant did not find such widespread use in the Soviet Union as the trams of Riga plant. In addition to our city, they were operated in Leningrad, Novokuznetsk, Gorky and Minsk. High reliability and durability of these trams were noted. These cars were difficult to be operated. Their decommissioning was initiated from the end of the 1970s. The tram economy of Magnitogorsk was the longest operating in the RSFSR for cars of this model. The last LM 49 car in Magnitogorsk tram economy was decommissioned in 1987.

Thus, during the study period, in Magnitogorsk, car fleet of seven models was operated

a)



b)



Pic. 5. Movement of the tram LM 49/LP 49 along Theatre square (1951) (a) and compartment of the car of this model (b).

on tram routes: X, M, KTM1, KTP1, MTV82, LM 49, LP 49. The technical characteristics of car fleet were typical for all cities of the USSR, having tram transport. Despite the fact that over time tram fleet of Magnitogorsk increased, the technical characteristics of cars improved slowly. Low comfort and economy of tram cars was predetermined by supercentralization of the Soviet economic model, dominance of political interests over economic and social ones.

Conclusion

The main results and conclusions of the studies are as follows:

1. Formation and functioning of tram traffic in Magnitogorsk in the pre-war and post-war years was carried out under the influence of specific territorial-geographical, landscape, production and other factors:

- mobilization model of the country's economy with its planned beginning and administrative command methods of management;
- national policy on organization of urban transport based on the residual principle of financing;
- landscape features and continental climate of the region;
- trajectory of urban development and the architectural plan of the city;
- influence of ideological concepts of building a social city.

2. The total length of a single tramway in the city during the period under review was constantly increasing. By the time the tram was launched, the length of tracks was 11 km with one traction substation and seven stops; by 1955, the length of tram tracks was 50 km. The trajectories of

construction of tram lines were dictated by the peculiar location of the city. Until 1939, both industrial and residential areas were located exclusively on the left bank of the Ural River. The priority task of choosing options for construction of tram tracks was laying of departure lines to the metallurgical enterprise.

3. The lack of the possibility of further development of the city in the left-bank part due to the hilly landscape, possible surveys of iron ore deposits, harmful effects of production, unstable steppe wind regimes led to actualization of construction of the housing estate on the right bank. In this regard, there was an urgent need to erect bridges across the river and lay tram tracks from left to right. The implementation of this task began in the post-war period.

4. Construction of tram tracks provided for phased coverage of the southeastern (1935–1941) and western borders (1947) metallurgical plants, as well as establishment of transport links with the right-bank part of the city (1948–1950). This predetermined the modern look of the city and made it possible to abandon urban development plans for placement of residential areas near the industrial site of the plant.

5. Tram route network of the 1930–1950s had a pronounced emphasis on special trips, satisfying primarily the needs of the city-forming enterprise in delivery of personnel. However, skills and experience gained in the early stages of construction made it possible to adapt the route network to the transport needs of the population during its subsequent development in the right-bank part of the city.

6. Over 20 years since the launch of the first tram in Magnitogorsk, there has been a



dramatic change in operational characteristics of the electric rolling stock in terms of:

- ergonomics – presence at the driver's workplace of a heater and a seat, a wiper and heated windshield, increased visibility, mechanization of equipment management;
- transportation safety – isolating the driver's workplace from the passenger compartment, centralized control of the car's doors, abandonment of the direct traction motor control system, emergence of a backup braking system, use of sliding doors;
- passenger comfort level – greater smoothness and braking, presence of interior heaters and soft seats, additional doors for boarding and disembarking, an increase in the light area of the interior windows.

7. Structural changes of tram cars consisted of the following: instead of first two-axle cars, the following models were equipped with bogies on pivot joints with a body having two axles, eight wheels, and two electric motors. The tram car body becomes all-metal on the supporting frame, wood is used only as a material for interior decoration.

8. Every year, tram cars more and more attracted passengers with a beautiful appearance and rich interior decoration. They became more comfortable for passengers and drivers, more and more perceived by residents of the city as an extension of their living space, as a kind of mobile home.

9. The launch of tram traffic in Magnitogorsk had a significant impact on socio-economic development of the city and contributed to expansion of territorial opportunities for resettlement of residents by increasing transport mobility of the population and increasing the average travel distance of passengers. At the same time, there was a delimitation of urban areas into areas of employment, housing estates, administrative and shopping centers, as well as recreation areas.

The research presented in this article is part of a major interdisciplinary research project whose goal is to understand the importance of public transport in Magnitogorsk. Within the framework of this project it is planned: to study features of functioning of the man-machine systems of the tram economy; determine the meaning of the communicative space of the tram and the impact of urban public transport of industrial era on formation of culture of city residents; to carry out archeological analysis of

the remained tram infrastructure (tram depots, tram tracks); to reconstruct other facilities according to photographs and drawings. Undoubtedly, this will deepen understanding of the problem of revolutionary changes of industrial era using the example of public transport system in the city centers of the first half of 20th century.

REFERENCES

1. Andreev, P. A. From the history of electric transport in Russia [*Iz istorii elektrottransporta v Rossii*]. *Energetika i promyshlennost' Rossii*, 2008, Iss. 23–24, pp. 115–116.
2. Bakanov, V.P. Testing by Magnitogorsk: historical outline [*Ispytanie Magnitkoi: istoricheskiy ocherk*]. Magnitogorsk, MiniType, 2001, 338 p.
3. Vuchik, V. R. Transport in cities convenient for life [*Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni*]. Moscow, Publishing House «Territory of the Future», 2011, 576 p.
4. Galiguzov, I. F., Churilin, M. E. Flagship of the domestic industry. History of Magnitogorsk Iron and Steel Plant named after V. I. Lenin [*Flagman otechestvennoi industrii. Istoriya Magnitogorskogo metallurgicheskogo kombinata im. V. I. Lenina*]. Moscow, Mysl' publ., 1978, 251 p.
5. Konyshva, E. V., Meerovich, M. G. Ernst May and design of social cities during the first five-year plans (the example of Magnitogorsk) [*Ernst May i proektirovanie sotsgorodov v gody pervykh pyatiletok (na primere Magnitogorska)*]. Moscow, 2011, 221 p.
6. Local history. Magnitogorsk. Grade 9–11: Textbook for educational institutions of Chelyabinsk region [*Kraevedenie. Magnitogorsk. 9–11 klass: uchebnik dlya obshcheobrazovatelnykh uchrezhdenii Chelyabinskoi oblasti*]. Ed. by M. G. Abramzon, M. N. Potyomkina. Chelyabinsk, ABRIS, 2013, 195 p.
7. Magnitogorsk. Encyclopedia [*Magnitogorsk. Entsiklopediya*]. Ch. ed. B. A. Nikiforov; ed. by I. V. Andreeva [*et al.*]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Press House, 2002, 559 p.
8. Aduvalin, A. A., Gryaznov, M. V., Davydov, K. A., Kurganov, V. M. Rationing and increasing the efficiency of technical operation of buses (using the example of public transport in Magnitogorsk): Monograph [*Normirovanie i povyshenie effektivnosti tekhnicheskoi ekspluatatsii avtobusov (na primere transporta obshchego polzovaniya Magnitogorska): Monografiya*]. Magnitogorsk, Magnitogorsk Printing House, 2015, 152 p.
9. Sazhin, L. D., Koroleva, T. K. The main indicators of operation of trams in the cities of the USSR for 1940–1945 and trolley buses for 1940 [*Osnovnie pokazateli raboty tramvaev v gorodakh SSSR za 1940–1945 gody i trolleibusov za 1940 god*]: [Stat. reference book]. Vsesoyuz. nauch. inzh.-tekh. o-vo gor. elektrottransporta. Moscow, Gormashuchet, 1947, [64] p.
10. Sirazetdinova, A. D., Krasavin, A. V., Gryaznov, M. V. Increasing the capacity of the road network of medium-sized cities (the example of Magnitogorsk): Monograph [*Povyshenie propusknoi sposobnosti avtodorozhnoi seti srednikh gorodov (na primere Magnitogorska)*]. Krasnoyarsk, Publishing house KrIZhT IrGUPS, 2013, 116 p.
11. A word about Magnitogorsk [*Slovo o Magnitke*]. Comp. by N. Kartashov. Moscow, Politizdat, 1979, 223 p.
12. Shpakov, I. V. Formation and development of tram transport in the Central Black Earth Region at the end of 19th–first third of 20th centuries. Abstract of Ph.D. (History) thesis [*Stanovlenie i razvitiye tramvainogo transporta v Tsentralnom Chernozemii v kontse XIX – pervoi treti XX vv. Avtoref. dis. kand. ist. nauk*]. Kursk, 2013, 22 p.



DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-327-330>



110 лет назад инженерная мысль находилась в поиске новых решений в сфере транспортного строительства, обсуждалось строительство тоннелей для железных дорог под водными преградами. Некоторые проекты, например, железнодорожного перехода под Беринговым проливом, ещё ждут своего часа. Задумывались и новые типы вагонов для перевозки скоропортящихся грузов, и использование приливной энергии для электроснабжения.

Ключевые слова: транспорт, подвижной состав, тоннели, инфраструктура, электротехника.

Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Вагон для перевозки живой рыбы. — Перед Министерством путей сообщения возбуждено ходатайство французского капиталиста Г. Галлио о разрешении произвести испытания между Астраханью и Петербургом нового усовершенствованного вагона для перевозки живой рыбы на дальние расстояния. Вагон этот является новостью железнодорожной техники, так как рассчитан он на значительное количество рыбы, до 250 пудов, при таком же количестве воды, когда существующие подобные вагоны требуют на пуд рыбы 7 и 6 пудов воды. Грузоподъёмность новоизобретённого вагона достигает до 750 пудов, но около 200 пудов весит особый аппарат, который непрерывно снабжает бак с водой и рыбой озоном. Г. Галлио уже съёлся с астраханской фирмой Сапожникова о провозе партии стерлядей из Астрахани в Петербург, а затем из Астрахани в Париж («Гол. Правды», № 964, 8 дек. 1908 г.).

(Железнодорожное дело. — 1909. — № 1. — С. 11)

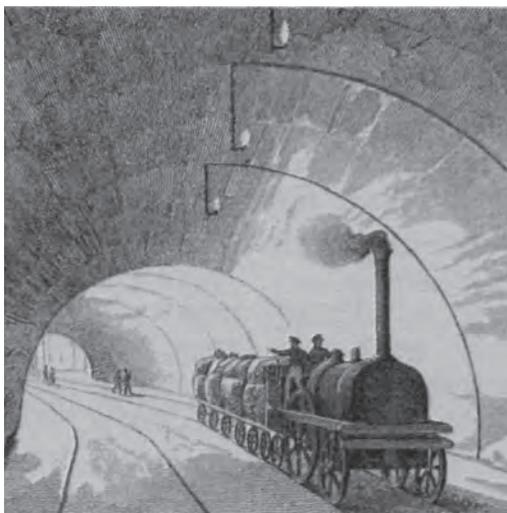
Подводно-подземные железные дороги. — Вопросу о подземных дорогах посвятила большую статью «Allgemeine Zeitung». Мысль об устройстве подземных железных дорог под реками и морскими проливами — говорит газета — в настоящее время, если и представ-

ляет интерес новизны, то только потому, что она не нашла себе ещё широкого применения на практике. Пока существуют только три таких дороги; все они находятся в окрестностях Нью-Йорка и проходят под морскими каналами.

Мысль эта ещё с начала прошлого века занимала умы учёных и техников. Как известно, в 1802 году французский инженер Матье представил консулу Н. Бонапарту свой проект железнодорожного тоннеля, соединяющего Англию и Францию между городами Дувром и Кале. Но проект этот до сих пор ещё остаётся в области предположений, так же, как и целый ряд других, например, проект соединения Италии и Сицилии посредством подземного тоннеля под Мессинским проливом; далее — Испании и Марокко, посредством тоннеля под Гибралтарским проливом; этот проект в своё время был детально разработан, причём длина тоннеля определялась в 32 км, а стоимость в 123 миллиона франков; немало шума наделал также проект Джеймса Бартона, задавшего мысль соорудить подводно-подземный тоннель, длиной в 40,6 км между Шотландией и Ирландией.

Из всех проектов этого рода наилучшие шансы на более или менее скорое осуществление имеет, — по словам «Allgemeine





Zeitung», — проект датский, предполагающий проведение двухколейной железной дороги под проливом Большим Бельгом. Дорога эта, долженствующая соединить датские острова Зеландию и Фёнен, будет иметь в длину 18 километров и сократит проезд между Копенгагеном (расположенным на острове Зеландии) и датским континентом на полтора часа. Главное же значение этой дороги — стратегическое; благодаря ей, Дания не будет, как сейчас, находиться в военном отношении в полной зависимости от блокады неприятелем Бельтского пролива. Этим соображением и обусловлен успех проекта Дании.

Наиболее грандиозным, чтобы не сказать фантастическим проектом, пока ещё почти не имеющим шансов на осуществление, — является проект железнодорожного сообщения между Азией и Америкой под Беринговым проливом. Вначале предполагалось устроить железнодорожный мост через пролив, но, ввиду опасности, представляемой в этом месте плавающими льдами, от этого плана пришлось раз и навсегда отказаться — и остановиться на единственно возможном, по крайней мере, единственно мыслимом проекте подводно-подземного железнодорожного тоннеля. Но грандиозность и сказочная смелость этого проекта делают его на первый взгляд совершенно неосуществимым, и только те многочисленные выгоды, которые сулит такая дорога мировой торговле, заставляет специалистов заниматься разработкой этого проекта. Главным препятствием является не столько глубина, сколько ширина Берингова пролива, колеблющаяся между 75 и 92 километрами.

Во что должна обойтись постройка тоннеля такой длины, к тому же при крайне неблагоприятных климатических условиях, можно представить себе, если принять во внимание, что самый большой из существующих тоннелей — Симплонский, имеет в длину 19 километров. Неудивительно, что большинство склонно считать этот проект утопией; будущее его всецело зависит от успехов техники и инженерного искусства (*«СПб. Вед.»*, № 709).

(Железнодорожное дело. — 1909. — № 21–22. — С. 136)

Утилизация силы морских волн. — Итальянский офицер Edoardo Pirantello устроил недавно на морском побережье Римини приспособление, имеющее целью утилизацию энергии морских волн. Попытки Pirantello, по словам *«Technische Rundschau»*, увенчались успехом; полученной энергией оказалось возможным зажечь несколько электрических лампочек, а также разложить электролитическим способом воду, употребив полученный водород для приведения в действие взрывчатых двигателей. Попытки Pirantello заинтересовали итальянское общество, и в настоящее время во Флоренции образовалась компания, поставившая своей целью устройство новых аппаратов по образцу аппарата названного изобретателя. Главной частью аппарата является пневматический поплавков особого устройства; удары волн от этого поплавка передаются на зубчатое колесо, причём цепь и колесо устроены так, что зубцы колеса движутся только в одном определённом направлении, не отвечая на удары, совершаемые волнами в противоположном направлении. Получаемое таким путём определённое, направленное в одну сторону вращательное движение передаётся на маховое колесо и получает затем желаемое практическое применение. Дальнейшие результаты опытов с новым аппаратом ещё неизвестны, так что не представляется ещё возможности судить о том, насколько изобретение окажется пригодным в практической жизни (*«Вестник путей сообщения»*, № 51, 20 декабря 1908 г.).

— В *«Железнодорожном деле»* за 1897 год, стр. 521, сообщено было о таком же изобретении в Англии.

(Железнодорожное дело. — 1909. — № 7. — С. 55) ●



News from the archives

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-327-330>



Engineering ideas 110 years ago focused on new solutions in the field of transport civil engineering, discussing design of railway tunnels under rivers, lakes, and sea straits. Not all of them have been built till now, e.g. the tunnel under Bering strait. Mechanical engineers thought about new type of wagons to carry perishable goods, and electrical engineers developed projects to use tidal energy as a source of power supply.

Keywords: transport, rolling stock, tunnels, infrastructure, electrical engineering, civil engineering, mechanical engineering.

The editorial board expresses gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for the kind assistance in preparing this publication.

Car for transporting live fish. – A petition of the French capitalist G. Gallio for permission to test a new improved wagon for transporting live fish over long distances on the railway between Astrakhan and St. Petersburg was filed with the Ministry of Railways. This wagon is a new one for railway technology, since it is designed for a significant amount of fish, up to 250 poods [pood is equal to 16 kg] and needs the equal amount of water, while existing similar wagons require 7 and 6 poods of water per pood of fish. The carrying capacity of the newly invented wagon reaches up to 750 poods, including 200 poods of a weight of a special device, which continuously supplies the tank with water and fish with ozone. G. Gallio had already got along with Astrakhan firm of Sapozhnikov about transporting a consignment of sterlet from Astrakhan to Petersburg, and then from Astrakhan to Paris (*Gol. Pravdy*, No. 964, December 8, 1908).

(Zheleznodorozhnoe delo [Railway Business], 1909, No. 1, p. 11).

Underground railways. – Allgemeine Zeitung devoted a large article to the issue of underground roads. The idea of constructing underground railways under rivers and sea straits might represent a news, the newspaper

says, only because it has not yet found widespread application in practice. So far, there are only three such railways; all of them are located in the vicinity of New York and pass under sea channels.

From the beginning of the last century, this thought occupied the minds of scientists and technicians. As it is known, in 1802, the French engineer Mathieu presented to the Consul N. Bonaparte his project of a railway tunnel connecting England and France between the cities of Dover and Calais. But this project still remains in the field of speculation, as well as a number of others, for example, the project of connecting Italy and Sicily through an underground tunnel under the Strait of Messina; further – Spain and Morocco, through a tunnel under the Strait of Gibraltar; this project was developed in detail at one time, with the tunnel length being determined at 32 km, and the cost of 123 million francs; the project of James Burton, who set out to build an underwater underground tunnel 40,6 km long between Scotland and Ireland also made a lot of noise.

Of all the projects of this kind, the Danish project, involving construction of a double-track railway under the Great Belt Strait, has the best chance of a more or less expeditious





implementation. This road, which is supposed to connect the Danish islands of Zealand and Funen, will be 18 kilometers long and will reduce travel time between Copenhagen (located on the island of Zealand) and the Danish part of the continent by an hour and a half. The main significance of this road is strategic; due to it, Denmark will not, as now, be militarily completely dependent on the blockade by the enemy of the Strait of Belt. This consideration determines the success of the Danish project.

The most grandiose, not to say fantastic project, which so far has almost no chance of implementation, is the project of railway communication between Asia and America under the Bering Strait. At first it was supposed to build a railway bridge across the strait, but, in view of the danger posed by floating ice frequent in this area, it was required to abandon this plan once and for all – and stop on the only possible, at least, only conceivable project of the underwater underground tunnel. But the

grandeur and fabulous courage of this project makes it at first glance completely impracticable, and only the many benefits that such a road promises to world trade make specialists work on development of this project. The main obstacle is not so much depth as the width of the Bering Strait, fluctuating between 75 and 92 kilometers. What can a tunnel of this length cost, under extremely adverse climatic conditions, one can imagine if we take into account that the largest of the existing tunnels – Simplon railway tunnel, is 19 kilometers long. Unsurprisingly, most tend to consider this project as an utopia; its future depends entirely on the success of technology and engineering (*SPb. Ved., No. 709*).

(Zheleznodorozhnoe delo [Railway Business], 1909, No. 21–22, p. 136).

Use of the power of sea waves. – The Italian officer Edoardo Pirantello recently arranged a device on the coast of Rimini, aimed at utilizing the energy of sea waves. The Pirantello experiments, according to *Technische Rundschau*, have been successful; with the obtained energy, it was possible to light several light bulbs, as well as to decompose water electrolytically, using the resulting hydrogen to drive explosive engines. The experiments of Pirantello interested Italian society, and now a company has been formed in Florence that has set as its goal arrangement of new devices based on the model of the apparatus of the named inventor.

The main part of the apparatus is a pneumatic float of a special device; shock waves from this float are transmitted to the gear wheel, and the chain and wheel are arranged so that the teeth of the wheel move only in one specific direction, not responding to shock made by the waves in the opposite direction. The definite one-way rotational movement obtained in this way is transmitted to the flywheel and then receives the desired practical application. Further results of experiments with the new apparatus are still unknown, so it still does not seem possible to judge how the invention will turn out to be practical (*Vestnik putei soobshcheniya, No. 51, December 20, 1908*).

– In *Zheleznodorozhnoe delo* of 1897, p. 521, the same invention was reported to be made in England.

(Zheleznodorozhnoe delo [Railway Business], 1909, No. 7, p. 55). ●



АВТОРЕФЕРАТЫ 332

- Автомобильные радиолокаторы предупреждения столкновений автомобилей.
- Характеристики золошлаковых смесей для земляного полотна.
- Рациональные параметры узлов и деталей ходовых частей тележки вагонов.
- Совершенствование профиля поверхности катания колеса для тяжеловесных вагонов.
- Повышение стабильности соблюдения графика движения пассажирских поездов.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ 336

Научные и учебные издания российских и международных издательств.

НАШ ЖУРНАЛ 339

Содержание номеров «Мира транспорта», вышедших в 2019 году.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS



SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. & PH.D. THESIS 334

- Automotive radar to avoid collision of vehicles.
- Improving the profile of wheel rolling surface for heavy wagons.
- Mechanical characteristics of ash and slag mixtures for design of roadbed.
- Rational parameters of units and parts of running gears of car bogies.
- Increasing stability of compliance with the schedule for passenger trains.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 337

New manuals and scientific editions offered by Russian and international publishing houses.

OUR JOURNAL 3

Contents of the issues of World of Transport and Transportation Journal published in Vol. 17 (2019).



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

***Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian transport universities.
For the English text please see p. 334.***

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-332-335>

Буй Ши Хань Алгоритмы обработки радиолокационных данных в автомобильных радиолокаторах предупреждения столкновений транспортных средств / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: МАИ, 2019. — 21 с.

Разработан новый алгоритм оценивания параметров радиолокационных изображений дорожных объектов, позволяющих эффективно определять размеры центральных сечений РЛИ дорожных объектов (стоящих и подвижных) в движении АРЛС. Этот алгоритм позволяет автоматически наблюдать за исследуемым объектом, что устраняет необходимость ручного измерения его параметров.

Оценены размеры центральных радиолокационных сечений РЛИ автомобилей, позволяющие определить габариты автомобилей на дороге в зависимости от характеристик отражения.

Оценена зависимость сечений РЛИ лёгкого автомобиля от ракурса при движении на дороге, показывающая малую зависимость размеров центральных сечений РЛИ автомобилей при наблюдении автомобилей под малым углом до 14° .

Разработанный алгоритм определения дорожных границ показывает эффективность при обработке РЛИ с границами, имеющими металлические ограждения. Показано, что данный алгоритм работает также и при других обочинах. Это даёт водителю возможность оценить положение автомобиля с АРЛС при движении на непривычной дороге в условиях плохой видимости.

Оценена погрешность определения дорожных границ в панорамной АРЛС, которая представляется приемлемой для дороги с металлическим ограждением и защитной обочиной 1 м.

Разработан новый алгоритм повышения качества визуализации РЛИ на экране монитора АРЛС, основанный на применении расширения РЛИ в полярной системе координат. Показано, что применение полученного алгоритма позволяет повысить информативность данных о состоянии объектов на дороге, что обеспечивает водителю возможность оценить положения и габариты объектов подобно визуальному представлению перспективы.

Обработка реальных сигналов показывает эффективность разработанных алгоритмов. Погрешности измерений размеров сечений моделей автомобилей в среднем меньше 15 %. При металлических ограждениях дороги алгоритм определения дорожных границ работает с ошибкой до 1,5 метра.

Специальность 05.12.14 — Радиолокация и радионавигация. Работа выполнена в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете).

Лунёв А. А. Обоснование расчётных значений механических характеристик золошлаковых смесей для проектирования земляного полотна / Автореф. дис... канд. техн. наук. — Омск: СибАДИ, 2019. — 22 с.

Предложенная Р. Олсоном математическая модель формирования напряжённого состояния, возникающего в грунте земляного полотна от действия транспортной нагрузки, модернизирована путём учёта структурных особенностей золошлаковой смеси (ЗШС), её плотности, влияния собственного веса дорожной конструкции и характера приложения транспортной нагрузки. Полученная модель адекватно отражает результаты опытной проверки.

Экспериментально установлены закономерности влияния на прочностные и деформационные характеристики ЗШС следующих факторов: влажности и плотности этого материала; содержания шлаковой фракции (неоднородности этих техногенных грунтов в золоотвалах); числа кратковременных циклических нагрузок от действия транспортных средств.

Определены значения коэффициента Пуассона, калифорнийского числа несущей способности ЗШС при различной степени уплотнения и влажности этого техногенного грунта. Выведены математические зависимости, отражающие связи между модулем упругости, полученным по методу штамповых испытаний и методу рычажного пресса, секущим модулем упругости, полученным из трёхосных испытаний, компрессионным модулем деформации и калифорнийским числом несущей способности.

Экспериментально определённые закономерности позволили вывести уравнения регрессии, пригодные для прогнозирования значений параметров механических характеристик ЗШС в условиях реальной эксплуатации насыпей земляного полотна.

На основании полученных данных разработаны конструктивно-технологические решения для проектирования насыпей земляного полотна из ЗШС.

Результаты экспериментально-теоретических исследований и предложенные конструктивно-технологические решения прошли опытно-производственную проверку на двух крупных объектах в Московской области.

Специальность 05.23.11 — Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Работа выполнена в Сибирском государственном автомобильно-дорожном университете.

Писаренко В. В. Выбор рациональных параметров узлов и деталей ходовых частей тележки вагонов / Автореф. дис... канд. техн. наук. — М.: РУТ, 2019. — 24 с.

Определены математические зависимости, описывающие работу программного комплекса «Универсальный механизм». Дополнительно были выведены математические зависимости силового взаимодействия конструкции тележки модели 18–100 и направляющих роликов. Проведены математические исследования закона скольжения колеса по головке рельса.

Новая математическая модель позволяет исследовать физические законы взаимодействия деталей и узлов модернизированной тележки модели 18–100, не прибегая к натурным испытаниям, провести оценку безопасности движения, оценить объёмный износ

колёсных пар и других пар трения. Дополнительно можно использовать данную модель для определения оптимальных геометрических размеров, инерционных и силовых параметров данной модели.

В работе выведена математическая модель движения тележки грузового вагона модели 18–100 на кривом участке пути.

Разработана методика определения рациональных геометрических и прочностных характеристик опорных балок, направляющих роликов, а также упругого элемента для гашения вибраций в приведённой конструкции тележки модели 18–100 с установленными направляющими роликами.

По результатам проведённой оценки можно сделать вывод, что установка направляющих роликов на базовую тележку модели 18–100 привела к значительному улучшению ряда показателей.

В результате расчётов по методу Арчарда было определено, что установка направляющих роликов в большей степени влияет на износ колёс. Объёмный износ колёс у модернизированной тележки относительно базовой тележки модели 18–100 уменьшается на 34 %, и, соответственно, межремонтный пробег увеличится на 34 %.

Также определены экономический эффект и срок окупаемости проведённой модернизации. По приведённым расчётам, срок окупаемости составит 2 года.

Специальность: 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Фёдорова В. И. Совершенствование профиля поверхности катания колеса для тяжеловесных вагонов / Автореф. дис... док. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2019. – 16 с.

Выполнен комплекс исследований, направленный на повышение ресурса колёс в эксплуатации для тяжеловесных грузовых вагонов с осевой нагрузкой до 25 тс.

Сделаны обзор и анализ основных неисправностей колёс грузовых вагонов, геометрии профилей обода колеса, разработанных и эксплуатирующихся в России и за рубежом, методов оптимизации профилей ободьев колёс, а также критериев оценки показателей динамических качеств и взаимодействия подвижного состава и пути.

По результатам выполненных обмеров и определения темпов износа поверхности катания и гребня колёс с профилем по ГОСТ 10791, эксплуатирующихся в грузовых вагонах на тележках 18–9855, установлена необходимость снижения темпа износа по кругу катания, а также исключения периода приработки гребня.

Разработаны модели: профилей колёс и рельсов, аппроксимированные сплайном Безье 4 порядка, обеспечивающие гладкость их формы, использованные для дальнейших расчётов кинематики колёсной пары и динамики вагона; кинематические модели взаимодействия колёсной пары и пути, позволяющие вычислить функцию разницы радиусов кругов катания колёсной пары, эквивалентную конусность, положение областей контакта при боковом перемещении колёсной пары; компьютерная модель движения вагона, разработанная в программном комплексе MEDYNA, уточнённая репрезентативным участком пути; конеч-

но-элементная модель колёсной пары с участком пути для расчёта контактного давления и эквивалентных напряжений, возникающих вследствие взаимодействия колеса с рельсом, позволяющая исследовать влияние бокового перемещения.

На основе разработанных моделей предложена методика выбора рациональной геометрии профиля колеса для тяжеловесных вагонов, позволяющая построить гладкую нелинейную поверхность профиля колеса, обеспечивающую снижение износа в эксплуатации без образования контактного выкрашивания.

С использованием методики разработан усовершенствованный профиль обода колеса, отличающийся от профиля по ГОСТ 10791 тем, что имеет криволинейную поверхность с тремя радиусами кривизны на поверхности катания 500 мм, 325 мм и 87,5 мм, соответственно, от круга катания к гребню.

Результаты сравнения усовершенствованного профиля в паре с рельсом Р65 в новом состоянии показали, что он обеспечивает плавный переход от зоны поверхности катания до зоны выкружки, контакт смещён от центра к гребню и имеет преимущественно вытянутую в поперечном направлении форму пятна контакта, обеспечивающую снижение износа.

С использованием компьютерного моделирования исследовано влияние профиля колеса на показатели ходовых качеств грузового вагона и износ колёс, и установлено, что при использовании разработанного профиля рамные силы снижаются на 14,9 %, а коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельсов увеличивается на 30,1 %, отсутствует существенное влияние на коэффициенты динамической добавки.

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Шманёв Т. М. Метод повышения стабильности соблюдения графика движения пассажирских поездов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2019. – 16 с.

Разработан способ оценки показателя соблюдения графика движения (ГД) пассажирских поездов, определения подхода к анализу его устойчивости на основе учёта изменений закономерностей нарушения ГД, установления способа управления стабильностью показателя соблюдения ГД путём динамического регулирования резервов ГД.

Предложены модель формирования целевых норм уровня соблюдения ГД пассажирских поездов, основанная на выявлении количественных закономерностей изменения характеристик нарушений ГД полигона дороги, а также методика соблюдения ГД пассажирских поездов в условиях действия закономерностей изменения характеристик нарушений ГД, включающая минимизацию последствий нарушений путём динамического регулирования резервов графика.

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок. Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.



ABSTRACTS of D.Sc. and Ph.D. THESES

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses
submitted at Russian transport universities
For the original Russian text please see p. 332.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-332-335>

Bui Shi Han. Algorithms for processing radar data in automotive collision avoidance radar systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Algoritmy obrabotki radiolokatsionnykh dannykh v avtomobilnykh radiolokatorakh preduprezhdeniya stolknoveniya transportnykh sredstv. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MAI publ., 2019, 21 p.

A new algorithm for estimating the parameters of radar images (RI) of road objects has been developed, which makes it possible to effectively determine the sizes of central sections of RI of road objects (standing and moving) during the movement of automotive radar systems (AMRS). This algorithm allows to automatically monitor the studied object, which eliminates the need for manual measurement of its parameters.

The dimensions of the central radar sections of RI of cars are estimated, allowing to determine the dimensions of cars on the road depending on reflection characteristics.

The dependence of cross sections of RI of a passenger car on the angle when driving on the road is estimated, showing a small dependence of dimensions of the central cross sections of cars when observing cars at a small angle of up to 14°.

The developed algorithm for determining road boundaries shows the efficiency in processing of RI with borders having metal fences. It is shown that this algorithm also works with other curbs. This gives a driver an opportunity to assess the position of a car with AMRS when driving on an unusual road in conditions of poor visibility.

The error in determining the road borders in a panoramic AMRS is estimated, which seems acceptable for a road with a metal fence and a protective curb of 1 m.

A new algorithm for improving the quality of RI visualization on the AMRS monitor screen has been developed, based on the use of radar extension in the polar coordinate system. It is shown that the application of the obtained algorithm makes it possible to increase the information content on the state of objects on the road, which provides a driver with an opportunity to evaluate positions and dimensions of objects like a visual representation of a perspective.

Processing of real signals shows the effectiveness of the developed algorithms. The measurement errors of the cross-sectional dimensions of car models are on average less than 15%. With metal road fences, the algorithm for determining road boundaries works with an error of up to 1,5 meters.

Specialty 05.12.14 – Radar and radio navigation. The work was performed at Moscow Aviation Institute (national research university).

Fyodorova, V. I. Improving the profile of wheel rolling surface for heavy wagons. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie profilya kataniya koleasa dlya tyazhelovesnykh vagonov. Avtoref. dis... dok. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PSTU, 2019, 16 p.

A set of studies was carried out aimed at increasing the resource of wheels in operation for heavy cargo cars with an axial load of up to 25 tf.

Review and analysis of main malfunctions of wheels of cargo cars, the geometry of wheel rim profiles developed and operated in Russia and abroad, the methods for optimizing the rim profiles of wheels, as well as criteria for assessing the dynamic performance and interaction of rolling stock and track are made.

Based on the results of measurements and determining the rate of wear of rolling surface and wheel flange with a profile in accordance with GOST [State Standard] 10791, operated in cargo cars on bogies 18-9855, the need to reduce the wear rate in the rolling circle, as well as eliminating the running-in period, was established.

Models have been developed: wheel and rail profiles, approximated by Bezier spline 4 orders of magnitude, ensuring their smoothness, used for further calculations of the kinematics of the wheel set and the car dynamics; kinematic models of interaction of the wheel set and the track, allowing to calculate the function of difference of the radii of wheels of the wheel set, the equivalent taper, the position of contact areas during lateral movement of the wheel set; a computer model of carriage movement developed in MEDYNA software package, refined by a representative section of the track; finite element model of a set of wheels with a portion of the track for calculating contact pressure and equivalent stresses arising from interaction of the wheel with the rail, allowing us to study the effect of lateral movement.

Based on the developed models, a method was proposed for choosing the rational geometry of the wheel profile for heavy cars, which allows to build a smooth non-linear surface of the wheel profile, which reduces wear in operation without formation of contact spalling.

Using the methodology, an improved profile of the wheel rim was developed, which differs from the profile according to GOST 10791 as it has a curved surface with three radii of curvature on the ski surface of 500 mm, 325 mm and 87,5 mm, respectively, from the rolling circle to the ridge.

Comparison of the improved profile paired with R65 rail in the new state showed that it provides a smooth transition from the rolling surface to the fillet zone, the contact is displaced from the center to the ridge and has a predominantly elongated transverse contact spot shape, which reduces wear.

Using computer simulation, the influence of the wheel profile on the performance of a cargo car and wheel wear was studied, and it was found that when using the developed profile, the frame forces are reduced by 14,9 %, and the safety factor from wheel derailment is increased by 30,1 %, there is no significant effect on the dynamic additive coefficients.

Specialty 05.22.07 – Rolling stock of railways, traction of trains and electrification. The work was performed at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Lunyov, A. A. Justification of calculated values of mechanical characteristics of ash and slag mixtures for design of roadbed. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Obosnovanie raschetnykh znachenii mekhanicheskikh kharakteristik zholoshlakovykh smesei dlya proektirovaniya zemlyanogo polotna. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Omsk, SibADI, 2019, 22 p.

The mathematical model proposed by R. Olson for formation of the stress state arising in the soil of roadbed due to the effect of transport load was modernized by taking into account the structural features of the ash and slag mixture (ASM), its density, influence of dead weight of the road structure and the nature of application of the transport load. The resulting model adequately reflects the results of a pilot test.

The regularities of influence of the following factors on strength and deformation characteristics of the ash-slag mixture have been experimentally established: humidity and density of this material; content of slag fraction (heterogeneity of these technogenic soils in ash dumps); the number of short-term cyclic loads from action of vehicles.

The values of the Poisson's ratio, the California number of bearing capacity of ASM at various degrees of compaction and humidity of this technogenic soil are determined. Mathematical dependencies are derived that reflect the relationships between the elastic modulus obtained by the stamp test method and the lever press method, the secant elastic modulus obtained from triaxial tests, the compression deformation modulus, and the California bearing capacity number.

The experimentally determined regularities made it possible to derive regression equations suitable for predicting the values of parameters of the mechanical characteristics of ASM under the conditions of actual operation of roadbed embankments.

Based on the data obtained, structural and technological solutions have been developed for design of roadbed embankments from ASM.

The results of experimental and theoretical research and the proposed structural and technological solutions passed pilot production testing at two large facilities (transport interchanges with embankments made with ASM up to 15 m high in Moscow region).

Specialty 05.23.11 – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels. The work was performed at Siberian State Automobile and Highway University.

Pisarenko, V. V. Choice of rational parameters of units and parts of running gears of car bogies. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Vybor ratsionalnykh parametrov uzlov i detalei khodovykh chastei telezhki vagonov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT, 2019, 24 p.

Mathematical dependencies are described that describe operation of the Universal Mechanism software package. In addition, mathematical dependences of force interaction of design of the 18-100 model bogie and guide rollers were derived. Mathematical studies of the law of wheel sliding along the rail head were conducted.

The new mathematical model allows to study the physical laws of interaction between parts and assemblies of the modernized model 18-100 bogie, without resorting to full-scale tests, to evaluate safety of movement, to evaluate volumetric wear of wheel sets and other friction pairs. Additionally, it is possible to use this model to determine optimal geometric dimensions, inertial and force parameters of this model.

A mathematical model of movement of a truck of a bogie 18-100 model of a cargo car on a curved track section is derived.

A methodology has been developed for determining rational geometric and strength characteristics of support beams, guide rollers, and also an elastic element for damping vibrations in the design of the model 18-100 bogie with guide rollers installed.

Based on the results of the assessment, it can be concluded that installation of guide rollers on the base bogie of model 18-100 led to a significant improvement in several indicators.

As a result of calculations by Archard's methods, it was determined that installation of guide rollers to a greater extent affects wear of wheels. The volumetric wear of wheels of the upgraded bogie relative to the base bogie of the model 18-100 decreases by 34 %, and, accordingly, the overhaul mileage will increase by 34 %.

The economic effect and payback period of modernization were also determined. According to the above calculations, the payback period was 2 years.

Specialty: 05.22.07 – Rolling stock of railways, traction of trains and electrification. The work was performed at Russian University of Transport.

Shmanyov, T. M. Method of increasing stability of compliance with the schedule of passenger trains. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Metod povysheniya stabilnosti soblyudeniya grafika dvizheniya passazhirskikh poezdov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. SPb.: PGUPS, 2019, 16 p.

A method has been developed for assessing the compliance with the train schedule (TS) for passenger trains, determining an approach to the analysis of its stability on the basis of consideration of changes in the patterns of violation of TS, establishing a method for controlling stability of the indicator of compliance with TS by dynamically adjusting the reserves of TS.

A model is proposed for formation of target standards for the level of compliance with TS of passenger trains, based on identification of quantitative patterns of changes in the characteristics of violations of the main network, as well as a method for observing the passenger trains under the conditions of patterns of changes in the characteristics of trains, including minimizing the consequences of violations by dynamically adjusting the schedule reserves.

Specialty 05.22.08 – Management of transportation processes. The work was performed at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.



НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

For the English list of the titles originally published in Russian please see p. 337.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-336-338>

Авдеева И. Л., Андиева Е. Ю., Афанасьев В. Б. и др. Цифровая экономика: проблемы и последствия современных технологий: Монография / Под редакцией Полянина А. В. — Орёл: Изд-во Среднерусского института управления — филиала РАНХиГС, 2019. — 222 с. ISBN 978-5-93179-600-0.

Алехин М. Ю., Мамедова Л. Э. Методология нормирования цикла постройки судна на предприятии: Монография. — СПб: СПбГМТУ, 2019. — 124 с. ISBN 978-5-88303-587-5.

Антипин Д. Я., Булычев М. А. Проектирование теплотехнических систем вагонов: Монография. — Брянск: Изд-во БГТУ, 2019. — 191 с. ISBN 978-5-907111-77-6.

Антипин Д. Я., Воробьёв В. И., Измеров О. В., Космодамианский А. С. Применение технической инноватики при проектировании новых узлов локомотивов: Монография. — Курск: Университетская книга, 2019. — 219 с. ISBN 978-5-907270-10-7.

Ашихмин С. А. Заправка транспортных средств горючими и смазочными материалами: Учебник / 2-е изд. стер. — М.: Академия, 2019. — 206 с. ISBN 978-5-4468-8108-6.

Балалаев А. Н., Зияйтинов А. М., Паренюк М. А., Тимкин Д. М. Проектирование наземных транспортных средств с использованием сотовых конструкций: Монография. — Самара: Изд-во СамГУПС, 2019. — 195 с. ISBN 978-5-98941-312-6.

Борусевич В. О., Русецкий А. А., Сазонов К. Е., Соловьёв И. А. Современные гидродинамические лаборатории: Монография. — СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2019. — 315 с. ISBN 978-5-903002-89-4.

Вербичский С. В., Чеснокова И. Г. Сжиженный природный газ в море: производство, транспортировка, регазификация: Аналитический обзор. — СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2019. — 200 с. ISBN 978-5-903002-98-6.

Виноградов В. М. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта автомобилей: Учебник. — 2-е изд., стер. — М.: Академия, 2019. — 254 с. ISBN 978-5-4468-8207-6.

Гажур А. А. Управление инновационными проектами: Учеб. пособие. — М.: РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2019. — 203 с. ISBN 978-5-7307-1413-7.

Гапеев А. М., Кононов В. В., Моргунов К. П. Гидравлические расчёты судоводных шлюзов: Монография. — СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. с. О. Макарова, 2019. — 116 с. ISBN 978-5-9509-0359-5.

Гладов Г. И., Петренко А. М. Устройство автомобилей: Учебник. — 3-е изд., стер. — М.: Академия, 2019. — 350 с. ISBN 978-5-4468-8451-3.

Горбунов А. А., Агапова Т. В. Политика государства в транспортной сфере: Российский опыт формирования имиджа правоохранительных органов на транспорте. — М.: Горбунов А. А., 2019. — 254 с. ISBN 978-5-9907025-7-8.

Грачёв В. В. Прескриптивный контроль энергоэффективности тепловоза с использованием интеллектуальных методов обработки измерительной информации: Монография. — СПб.: ПГУПС, 2019. — 105 с. ISBN 978-5-7641-1400-2.

Железняк А. А. Совершенствование методов и средств управления судовой электроэнергетической установкой рыбобпромышленного судна: Монография. — Ульяновск: Зебра, 2019. — 126 с. ISBN 978-5-6042827-4-8.

Карагодин В. И., Митрохин Н. Н. Ремонт автомобильных двигателей: Учебник. 3-е изд., стер. — М.: Академия, 2019. — 446 с. ISBN 978-5-4468-8445-2.

Кириакиди С. К. Проектирование самолётов: Учеб. пособие. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. — 114 с. ISBN 978-5-7731-0827-6.

Кирпичников В. Ю. Вред и польза резонансных явлений в элементах судовых конструкций: Монография. — СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2019. — 174 с. ISBN 978-5-903002-54-2.

Козин В. М., Земляк В. Л., Рогожников Е. Г. Поведение ледяного покрова в условиях изгибно-гравитационного резонанса при парном движении нагузок: Монография. — Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2019. — 108 с. ISBN 978-5-7692-1663-3.

Королёва Л. А., Королёв Е. В., Слесарчук И. А. и др. Сервис в авиации: Учеб. пособие. — Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2019. — 335 с. ISBN 978-5-9736-0552-0.

Ленковская Р. Р. Гражданско-правовое регулирование договора перевозки автомобильным транспортом в Российской Федерации: Монография. — Саратов: Саратовский источник, 2019. — 127 с. ISBN 978-5-91879-934-5.

Майборода О. В., Степанов А. А. Устройство и техническое обслуживание транспортных средств категорий «В», «ВЕ» как объектов управления: Учебник. — М.: Академия, 2019. — 157 с. ISBN 978-5-4468-4000-7.

Некрасов А. Г., Атаев К. И., Силинына А. С., Неретин А. А. Системная инженерия и цифровые технологии на транспорте (цифровая трансформация): Учеб. пособие. — М.: Техполиграфцентр, 2019. — 155 с. ISBN 978-5-94385-151-3.

Раюшкина А. А., Ширяев С. А., Балакина Е. В. Повышение сохранности сельскохозяйственных грузов при перевозках как фактор конкурентных преимуществ автомобильного транспорта: Монография. — Волгоград: ВолгГТУ, 2019. — 138 с. ISBN 978-5-9948-3249-3.

Рупосов В. Л. Производственная логистика: Учеб. пособие. — Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2019. — 188 с. ISBN 978-5-8038-1448-1.

Слободчиков В. Ю., Лебедев С. В., Долгушин А. И. Ремонт кузовов автомобилей: Учебник. — М.: Академия, 2019. — 251 с. ISBN 978-5-4468-7708-9.

Стенин В. А., Лебедева Е. Г. Вихревые и двухфазные потоки в технологии промывки судовых систем: Монография. — Архангельск: САФУ, 2019. — 103 с. ISBN 978-5-261-01407-2.

Токарев В. П., Кудашов Д. Д. Приборы и радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов: Учеб. пособие. — Уфа: РИК УГАТУ, 2019. — 272 с. ISBN 978-5-4221-1304-0.

Февралева В. А., Доронькин В. Н., Шишияну Д. Н. Физико-химические основы перевозки грузов: Учеб. пособие. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2019. — 67 с. ISBN 978-5-88814-850-1

Числов О. Н., Хан В. В., Задорожный В. М., Супрун Е. Е. Железнодорожные станции и узлы: системы автоматизированного проектирования и расчёта: Учеб. пособие. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2019. — 73 с. ISBN 978-5-88814-876-1.

Шавкунова Л. В. Технический авиационный английский язык: Учеб. пособие. — Ульяновск: УИ ГА, 2019. — 135 с. ISBN 978-5-7514-0278-5.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 336.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-336-338>

Alekhin, M. Yu., Mamedova, L. E. Methodology for normalizing a ship construction cycle at an enterprise: Monograph [*Metodologiya normirovaniya tsikla postroiki sudna na predpriyatii: Monografiya*]. St. Petersburg, SPbGMTU, 2019, 124 p. ISBN 978-5-88303-587-5.

Antipin, D. Ya., Bulychyev, M. A. Design of heating systems of cars: Monograph [*Proektirovanie teprotekhnicheskikh sistem vagonov: Monografiya*]. Bryansk, Publishing House of BSTU, 2019, 191 p. ISBN 978-5-907111-77-6.

Antipin, D. Ya., Vorobyov, V. I., Izmerov, O. V., Kosmodamiansky, A. S. Application of technical innovation in the design of new locomotive components: Monograph [*Primenenie tekhnicheskoi innovatsioniki pri proektirovanii novykh uzlov lokomotivov: Monografiya*]. Kursk, Universitetskaya kniga, 2019, 219 p. ISBN 978-5-907270-10-7.

Ashikhmin, S. A. Refueling of vehicles with fuel and lubricants: Textbook [*Zapravka transportnykh sredstv goryuchimi i smazochnymi materialami: Uchebnik*]. 2nd ed. ster. Moscow, Academia, 2019, 206 p. ISBN 978-5-4468-8108-6.

Avdeeva, I. L., Andieva, E. Yu., Afanasyev, V. B. [et al]. Digital economics: problems and consequences of modern technologies: Monograph [*Tsifrovaya ekonomika: problemy i posledstviya sovremennykh tekhnologii: Monografiya*]. Ed. by A. Polyaniin. Oryol, Publishing House of the Central Russian Institute of Management – Ranepa Branch, 2019, 222 p. ISBN 978-5-93179-600-0.

Balalaev, A. N., Ziyatdinov, A. M., Parenjuk, M. A., Timkin, D. M. Design of land vehicles using cellular structures: Monograph [*Proektirovanie nazemnykh transportnykh sredstv s ispolzovaniem sotovykh konstruktssii: Monografiya*]. Samara, SamGUPS Publishing House, 2019, 195 p. ISBN 978-5-98941-312-6.

Borusevich, V. O., Rusetskiy, A. A., Sazonov, K. E., Solovyov, I. A. Modern hydrodynamic laboratories: Monograph [*Sovremennye gidrodinamicheskie laboratorii: Monografiya*]. St. Petersburg, Krylov State Scientific Center, 2019, 315 p. ISBN 978-5-903002-89-4.

Chislov, O. N., Khan, V. V., Zadorozhniy, V. M., Suprun, E. E. Railway stations and nodes: computer-aided design and calculation systems: Study guide

[*Zheleznodorozhnie stantsii i uzly: sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya i rascheta: Ucheb. posobie*]. Rostov-on-Don, RGUPS, 2019, 73 p. ISBN 978-5-88814-876-1.

Fevraleva, V. A., Doronkin, V. N., Shishiyanu, D. N. Physico-chemical principles of cargo transportation: Study guide [*Fiziko-khimicheskie osnovy perevozki gruzov: Ucheb. posobie*]. Rostov-on-Don, RGUPS, 2019, 67 p. ISBN 978-5-88814-850-1.

Gapeev, A. M., Kononov, V. V., Morgunov, K. P. Hydraulic calculations of shipping locks: Monograph [*Gidravlicheskie raschety sudokhodnykh shlyuzov: Monografiya*]. St. Petersburg, Publishing House of Admiral Makarov GUMRF, 2019, 116 p. ISBN 978-5-9509-0359-5.

Gazhur, A. A. Management of innovative projects: Study guide [*Upravlenie innovatsionnymi proektami: Ucheb. posobie*]. Plekhanov REU, 2019, 203 p. ISBN 978-5-7307-1413-7.

Gladov, G. I., Petrenko, A. M. Car arrangement: Textbook [*Ustroistvo avtomobilei: Uchebnik*]. 3rd ed., ster. Moscow, Academia, 2019, 350 p. ISBN 978-5-9907025-7-8.

Gorbunov, A. A., Agapova, T. V. State policy in the transport sector: Russian experience in forming the image of law enforcement agencies in transport [*Politika gosudarstva v transportnoi sfere: rossiiskii opyt formirovaniya imidzha pravookhranitelnykh organov na transporte*]. Moscow, 2019, 254 p. ISBN 978-5-9907025-7-8.

Grachev, V. V. Prescriptive control of the energy efficiency of a diesel locomotive using intelligent methods for processing measurement information: Monograph [*Preskriptivniy kontrol' energoeffektivnosti teplovoza s ispolzovaniem intellektualnykh metodov obrabotki izmeritelnoi informatsii*]. St. Petersburg, PGUPS, 2019, 105 p. ISBN 978-5-7641-1400-2.

Karagodin, V. I., Mitrokhin, N. N. Car engine repair: Textbook [*Remont avtomobilnykh dvigatelei: Uchebnik*]. 3rd ed., ster. Moscow, Academia, 2019, 446 p. ISBN 978-5-4468-8445-2.

Kiriakidi, S. K. Aircraft design: Study guide [*Proektirovanie samoletov: Ucheb. posobie*]. Voronezh, VSTU Publishing House, 2019, 114 p. ISBN 978-5-7731-0827-6.

Kirpichnikov, V. Yu. Harm and use of resonance phenomena in elements of ship structures: Monograph [*Vred i polza rezonansnykh yavlenii v elementakh sudovykh konstruktssii: Monografiya*]. St. Petersburg, Krylov State Scientific Center, 2019, 174 p. ISBN 978-5-903002-54-2.

Koroleva, L. A., Korolev, E. V., Slesarchuk, I. A. [et al]. Service in aviation: Study guide [*Servis v aviatsii: Ucheb. posobie*]. Vladivostok, Publishing House of VSUES, 2019, 335 p. ISBN 978-5-9736-0552-0.

Kozin, V. M., Zemlyak, V. L., Rogozhnikova, E. G. Behavior of the ice sheet under conditions of bending-



gravitational resonance with pair motion of loads: Monograph [*Povedenie ledyanogo pokrova v usloviyakh izgibno-gravitatsionnogo rezonansa pri parnom dvizhenii nagruzok: Monografiya*]. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019, 108 p. ISBN 978-5-7692-1663-3.

Lenkovskaya, R. R. Civil regulation of the contract of carriage by road in the Russian Federation: Monograph [*Grazhdansko-pravovoe regulirovanie dogovora perevozki avtomobilnym transportom v Rossiiskoi Federatsii: Monografiya*]. Saratov, Saratovskiy istochnik, 2019, 127 p. ISBN 978-5-91879-934-5.

Mayboroda, O. V., Stepanov, A. A. Arrangement and maintenance of vehicles of categories «B», «BE» as control objects: Textbook [*Ustroistvo i tekhnicheskoe obsluzhivanie transportnykh sredstv kategorii «B», «BE» kak ob'ektov upravleniya*]. Moscow, Academia, 2019, 157 p. ISBN 978-5-4468-4000-7.

Nekrasov, A. G., Ataev, K. I., Sinitsyna, A. S., Neretin, A. A. System engineering and digital technologies in transport (digital transformation): Study guide [*Sistemnaya inzheneriya i tsifrovie tekhnologii na transporte (tsifrovaya transformatsiya): Ucheb. posobie*]. Moscow, Tekhpolygon, 2019, 155 p. ISBN 978-5-94385-151-3.

Rayushkina, A. A., Shiryayev, S. A., Balakina, E. V. Improving safety of agricultural goods during transportation as a factor in competitive advantages of road transport: Monograph [*Povyshenie sokhrannosti selskokhozyaistvennykh gruzov pri perevozkakh kak faktor konkurentnykh preimushchestv avtomobilnogo transporta: Monografiya*]. Volgograd, VolgSTU, 2019, 138 p. ISBN 978-5-9948-3249-3.

Ruposov, V. L. Production Logistics: Study guide [*Proizvodstvennaya logistika: Ucheb. posobie*]. Irkutsk, Publishing House of Irkutsk National Research Technical University, 2019, 188 p. ISBN 978-5-8038-1448-1.

Shavkunova, L. V. Technical aviation English: Study guide [*Tekhnicheskii aviatsionnyy angliiskiy yazyk: Ucheb. posobie*]. Ulyanovsk, UI CA, 2019, 135 p. ISBN 978-5-7514-0278-5.

Slobodchikov, V. Yu., Lebedev, S. V., Dolgushin, A. I. Car body repair: Textbook [*Remont kuzovov avtomobilei: Uchebnik*]. Moscow, Academia publ., 2019, 251 p. ISBN 978-5-4468-7708-9.

Stenin, V. A., Lebedeva, E. G. Vortex and two-phase flows in the washing technology of ship systems: Monograph [*Vikhrevie i dvukhfaznye potoki v tekhnologii promyivki sudovykh sistem: Monografiya*]. Arkhangelsk, SAFU, 2019, 103 p. ISBN 978-5-261-01407-2.

Tokarev, V. P., Kudashov, D. D. Instruments and electronic equipment of aircraft: Study guide [*Pribory i radioelektronnoe oborudovanie letatelnykh apparatov: Ucheb. posobie*]. Ufa, RIK UGATU, 2019, 272 p. ISBN 978-5-4221-1304-0.

Verbitsky, S. V., Chesnokova, I. G. Liquefied natural gas at sea: production, transportation, regasification: Analytical review [*Szhizhenniy prirodnyy gaz v more: proizvodstvo, transportirovka, regazifikatsiya: Analiticheskiy obzor*]. St. Petersburg, Krylov State Scientific Center, 2019, 200 p. ISBN 978-5-903002-98-6.

Vinogradov, V. M. Technological processes of maintenance and repair of cars: Textbook [*Tekhnologicheskie protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobilei: Uchebnik*]. 2nd ed., ster. Moscow, Academia, 2019, 254 p. ISBN 978-5-4468-8207-6.

Zheleznyak, A. A. Improving the methods and means of controlling a ship's electric power installation of a fishing vessel: Monograph [*Sovershenstvovanie metodov upravleniya sudovoi elektroenergeticheskoi ustanovkoi rybopromyslovogo sudna: Monografiya*]. Ulyanovsk, Zebra, 2019, 126 p. ISBN 978-5-6042827-4-8.

Compiled by N. OLEYNIK ●

Selected editions originally published in English

Daiheng, Ni. Signalized Intersections Fundamentals to Advanced Systems. 1st ed. Springer, 2020, XV, 335 p.

Mapping the Travel Behavior Genome. Editors: Goulias, K. G., Davis, A. W. Elsevier, 2019, 732 p. Paperback ISBN 9780128173404; eBook ISBN 9780128173411.

Reis, V., Macario, R. Intermodal Freight Transportation. Elsevier, 2019, 254 p. Paperback ISBN 9780128144640; eBook ISBN 9780128144657.

Tarko, A. Measuring Road Safety with Surrogate Events. Elsevier, 2019, 252 p. Paperback ISBN 9780128105047; eBook ISBN 9780128105054.

Tatsuhito Kono, Kirti Kusum Joshi. Traffic Congestion and Land Use Regulations. 1st ed. Theory and Policy Analysis. Elsevier, 2019, 208 p. Paperback ISBN 9780128170205; eBook ISBN 9780128170212.

The Evolving Impacts of ICT on Activities and Travel Behavior. Editor: Eran Ben-Elia. Vol. 3. Academic Press, 2019, 351 p. Paperback ISBN 9780128162132; eBook ISBN 9780128162149.

The Sharing Economy and the Relevance for Transport. Editor: Fishman, E. Vol. 4. Academic Press, 2019, 164 p. Paperback ISBN 9780128162101; eBook ISBN 9780128162118.

Zhen-Dong, Cui; Zhohg-Liang, Zhang; Li, Yuan; Zhi-Xiang, Zhan; Wan-Kai, Zhang. Design of Underground Structures, 1st ed. Springer, 2020, XLI, 847 p. ●

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА «МИР ТРАНСПОРТА», ВЫШЕДШИХ В 2019 ГОДУ В ТОМЕ 17

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Бондаренко А. Н., Орлов С. Е., Карабанов В. И.

Установление зависимости изменений нормальных напряжений от степени износа рельса № 5 (84) С. 38–56

Борисова С. В.

Регулирование отношений в сфере транспорта на основе конвергенции частного и публичного права № 2 (81) С. 44–55

Бунькова Т. Г.

Математическое описание процесса изнашивания пары «колесо–рельс» № 5 (84) С. 6–15

Гридин В. Н., Доенин В. В., Панищев В. С., Бысов И. Д.

Нейронная сеть для прогнозирования нагрузок энергопотребления сортировочного узла № 3 (82) С. 6–15

Гридин В. Н., Доенин В. В., Панищев В. С., Разживайкин И. С.

Цифровая модель: прогноз поведения в транспортных процессах № 2 (81) С. 6–14

Гусев А. И., Гусев С. А., Милевский А. С.

Оптимальное обслуживание дискретных объектов на плоскости, в пространстве и заданных границах сферы № 2 (81) С. 26–43

Демин В. А., Ойрих С., Ефименко Д. Б.

Модель определения оптимальных траекторий перемещения партий грузов № 2 (81) С. 56–62

Духно Н. А.

Транспорт и транспортное право: исторические взаимосвязи и перспективы № 3 (82) С. 56–70

Железнов М. М., Карасев О. И., Тростьянский С. С., Шитов Е. А.

Критические технологии в системе научно-технологических приоритетов железнодорожной отрасли: мировой опыт № 5 (84) С. 16–37

Зайцев А. А., Соколова Я. В., Пантина Т. А.

Инновационное развитие транспортной системы с применением технологии магнитной левитации № 4 (83) С. 36–45

Карасев О. И., Железнов М. М., Белошицкий А. В., Шитов Е. А.

Приоритеты научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации: зарубежный опыт № 6 (85) С. 20–36

Краснов О. Г.

Методика определения интегрального распределения сил, действующих на путь № 4 (83) С. 6–21

Лёвин Б. А., Цветков В. Я., Дзюба Ю. В.

Субсидиарное управление на железной дороге № 4 (83) С. 22–35

Мачерет Д. А.

Свобода передвижения и особенности транспортных систем № 3 (82) С. 40–54

Мачерет Д. А.

Неопределённость будущего как фундаментальная проблема долгосрочного развития транспорта № 6 (85) С. 6–19

Пастухов Д. Ф., Волосова Н. К., Волосова А. К.

Некоторые методы передачи QR-кода с помощью стеганографии № 3 (82) С. 16–39

Попов А. П., Попова Т. А.

Семантическое сетевое моделирование № 1 (80) С. 38–44

Спирин И. В., Беляев В. М., Антонова В. В.

Методология планирования автомобильных пассажирских перевозок № 1 (80) С. 20–37

Тармаев А. А., Филиппов В. Н., Петров Г. И.

К вопросу о моделировании движения колёсной пары вагона № 1 (80) С. 6–19

Филиппова Н. А., Богумил В. Н., Беляев В. М.

О прогнозировании сроков навигации на основе цепей Маркова № 2 (81) С. 16–25





НАУКА И ТЕХНИКА

- Беспалько С. В., Курзина Е. Г., Курзина А. М., Жайсан И. Ж.*
Влияние жёсткости демпфирующего подрельсового элемента на параметры многомассовой колебательной системы «вагон—путь» № 5 (84) С. 78–95
- Бондарь И. С., Буромбаев С. А., Алдекеева Д. Т.*
Расчёт напряжённо-деформированного состояния путепроводов № 1 (80) С. 58–69
- Бояршинов М. Г., Кузнецов Н. И.*
Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах № 4 (83) С. 48–67
- Волков А. А., Морозов М. С.*
Повышение помехоустойчивости цифровых систем радиосвязи с угловой модуляцией № 1 (80) С. 90–98
- Джанмулдаев Б. Д., Локтев А. А., Алёнов К. Т., Фазилова З. Т.*
Поперечные колебания секции плиты в основании безбалластного пути № 2 (81) С. 72–78
- Зайцев А. А., Троицкий П. С.*
Моторвагонные грузовые электропоезда – альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ № 3 (82) С. 72–81
- Ковалёв С. М., Суханов А. В.*
Интеллектуализация контроля вагонов в железнодорожном сортировочном парке № 4 (83) С. 98–110
- Краснов О. Г., Недбайло А. В.*
Исследование геометрических параметров режущего инструмента рельсофрезерного поезда № 6 (85) С. 38–49
- Кремлев И. А., Тырышкин А. В.*
Объекты инфраструктуры для беспилотных транспортных средств № 2 (81) С. 64–71
- Лакин И. К., Семёнов А. П., Хромов И. Ю.*
Направления повышения эффективности эксплуатации локомотивов № 6 (85) С. 82–92
- Мансур Алаа Эльдин*
Модальный анализ круглых симметрических пластин с помощью обобщённого метода конечных разностей № 3 (82) С. 88–98
- Марасанов А. И., Шейкин А. А., Алферов И. В.*
Взаимодействие столбчатых фундаментов с мёрзлым грунтом № 5 (84) С. 96–113
- Минаков В. А., Фоменко В. К.*
Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов № 6 (85) С. 62–72
- Некрасов Г. И., Балабин В. Н.*
Принципы модульности проектирования и обслуживания локомотивов № 2 (81) С. 80–90
- Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В.*
Аппараты вертикального взлёта с реактивно-вихревыми генераторами подъёмной силы № 1 (80) С. 46–57
- Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В.*
Возможности применения мультимодульных плавсредств-трансформеров в процессах освоения Мирового океана № 5 (84) С. 114–128
- Попов В. Г., Матешева А. В., Сухов Ф. И., Боландова Ю. К.*
Условия опрокидывания порожних контейнеров под воздействием ветровых нагрузок № 6 (85) С. 50–61
- Попов И. П.*
Инертно-ёмкостной накопитель энергии для маневрового тепловоза № 3 (82) С. 82–87
- Скачков А. Н., Самошкин С. Л., Коршунов С. Д.*
Исследование прочности кузовов вагонов электропоезда нового поколения № 1 (80) С. 70–85
- Сладкова Л. А., Неклюдов А. Н.*
Конструктивное решение и методика исследования нагруженности колёсных пар № 6 (85) С. 74–81
- Старшов И. П., Кобзев В. А., Сычёв Е. И.*
Совершенствование методики расчёта параметров сортировочных горок № 4 (83) С. 90–97
- Черемисин В. Т., Незевак В. Л.*
Эффективность применения систем накопления электроэнергии на Московском центральном кольце № 5 (84) С. 58–77

<i>Шатохин А. А.</i> Виртуальная сортировка: совершенствование организации пропуски и переработки порожних вагонопотоков	№ 4 (83) С. 80–89
<i>Шепитько Т. В., Артюшенко И. А., Долгов П. Г.</i> Армирование грунтов основания вертикальными столбами из щебня в криолитозоне	№ 4 (83) С. 68–78
ЭКОНОМИКА	
<i>Бадамбаева С. Е., Бородина Е. В., Прокофьева Е. С.</i> Взаимодействие морского и железнодорожного транспорта на примере порта Актау	№ 3 (82) С. 122–138
<i>Буянова Л. Н., Мудрова О. М.</i> Логистика малотоннажного СПГ	№ 4 (83) С. 166–180
<i>Гогричиани Г. В., Ляшенко А. Н.</i> Стратегическое развитие поставок нефтегрузов из России в Палестину	№ 4 (83) С. 136–147
<i>Дунаев О. Н., Гуц А. В.</i> Транспортно-логистическая платформа для мультимодальных пассажирских перевозок	№ 2 (81) С. 92–102
<i>Дураков Д. Н., Лобынцев В. В., Полев С. С.</i> Технико-экономические показатели внедрения сглаживающих реакторов нового типа	№ 3 (82) С. 100–112
<i>Ибрагимов У. Н., Тохиров Махмуджон Муроджон угли</i> Формирование единого и внешне интегрированного транспортного пространства в Центральной Азии	№ 4 (83) С. 148–165
<i>Ивасенко А. А., Нефедьева Е. В.</i> Обеспечение качества в системе транспортного обслуживания во внутренней среде железнодорожного транспорта и роль диагностических средств	№ 6 (85) С. 130–141
<i>Кочнева Л. Ф., Яковлева М. А.</i> Анализ финансовых показателей облигационных выпусков холдинга Кулачинская А. Ю.	№ 1 (80) С. 116–127
<i>Совершенствование тарифов на транспортные услуги населению с учётом их социальной значимости</i>	№ 3 (82) С. 114–121
<i>Левин Д. Ю., Шульженко З. С.</i> Взаимодействие бюджета производства и технического нормирования	№ 1 (80) С. 100–115
<i>Леонова О. Г.</i> Система сбалансированных показателей для судоремонтных предприятий	№ 2 (81) С. 130–144
<i>Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Богумил В. Н.</i> Реновация подвижного состава: муниципальный лизинг и финансирование обновления	№ 1 (80) С. 128–140
<i>Пастухов С. С.</i> Совершенствование бизнес-аналитики в управлении на транспорте	№ 5 (84) С. 164–184
<i>Подсорин В. А., Мартышкин Р. В.</i> Оценка проектов развития сети железных дорог с учётом экономической конъюнктуры	№ 6 (85) С. 94–111
<i>Покровская О. Д.</i> Цифровизация, автоматизация, идентификация и маркировка логистических объектов для решения задач клиентоориентированности	№ 4 (83) С. 112–135
<i>Полешкина И. О.</i> Полифункциональность транспортной системы северных регионов	№ 2 (81) С. 104–116
<i>Соловьев В. В.</i> Экономические предпосылки оценки сфер применения искусственных сооружений на транспорте	№ 6 (85) С. 166–184
<i>Тарасов А. А.</i> Долговые инструменты фондирования транспортных лизинговых компаний	№ 6 (85) С. 112–129
<i>Таровик О. В., Мудрова О. М.</i> Расчётная оценка стоимости транспортировки малотоннажного СПГ	№ 5 (84) С. 130–163



<i>Терёшина Н. П., Подсорин В. А., Данилина М. Г.</i>	№ 2 (81) С. 118–129
Глобализация и производительность труда в транспортном комплексе	
<i>Тяпухин А. П.</i>	№ 6 (85) С. 142–165
Устойчивость систем поставок ресурсов	
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Акопов Ф. В., Хорошилова А. Д., Фаддейкина Ю. С.</i>	
Вопросы проектирования и реформирования маршрутных сетей городского наземного пассажирского транспорта общего пользования	№ 5 (84) С. 254–267
<i>Андронов С. А.</i>	
Гравитационное моделирование каршеринга на базе PTV Visum	№ 6 (85) С. 222–241
<i>Бурченков В. В.</i>	
Принятие решений по результатам автоматического диагностирования деталей и узлов подвижного состава	№ 4 (83) С. 232–243
<i>Вакуленко С. П., Евреенова Н. Ю.</i>	
О правовых основах эксплуатации малоинтенсивных линий	№ 1 (80) С. 164–171
<i>Володин А. Б.</i>	
Пункты пропуска через государственную границу. Проблемы и пути их решения	№ 3 (82) С. 170–177
<i>Грязнов М. В., Давыдов К. А.</i>	
Увеличение скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах	№ 6 (85) С. 202–220
<i>Донцов И. Е.</i>	
Хранение геометрических данных	№ 2 (81) С. 190–196
<i>Ефанов Д. В.</i>	
Будущее радиоуправляемых стрелок с автономным питанием	№ 1 (80) С. 154–163
<i>Железнов М. М., Карасёв О. И., Белошицкий А. В., Шитов Е. А.</i>	
Инновационная экосистема железнодорожного транспорта: практика ведущих компаний	№ 4 (83) С. 244–258
<i>Завьялов Д. В., Быкова О. Н.</i>	
Электровелосипеды в городской среде: перспективы и ограничения применения в мегаполисах	№ 6 (85) С. 186–200
<i>Казарина В. В., Подвербный В. А.</i>	
Принятие решения по выбору варианта трассы железнодорожной линии	№ 3 (82) С. 140–151
<i>Карпычева Е. В.</i>	
Применение стандартов на документацию	№ 2 (81) С. 198–204
<i>Киселенко А. Н., Малащук П. А.</i>	
Воркутинский транспортный узел: роль в освоении Арктики	№ 1 (80) С. 142–153
<i>Коваленко Н. А., Бородин А. А., Тарасов К. А.</i>	
Факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп»	№ 6 (85) С. 242–257
<i>Кудряшов М. А., Айриев Р. С., Овнанян Г. М.</i>	
Кластерный анализ маршрутов новой модели управления наземным городским пассажирским транспортом общего пользования	№ 4 (83) С. 182–195
<i>Кудряшов М. А., Айриев Р. С., Прокопенков А. В.</i>	
Апробация методики оценки качества транспортного обслуживания	№ 2 (81) С. 154–164
<i>Кулапат Д., Бойков А. В.</i>	
Расчёт потребности во флоте для транспортно-логистической системы	№ 2 (81) С. 146–152
<i>Куликова Е. Б., Мадяр О. Н., Галицкий А. В.</i>	
Анализ доступности железнодорожного транспорта для населения крупных агломераций	№ 2 (81) С. 166–175
<i>Курганов В. М., Дорофеев А. Н., Настасяк О. Б.</i>	
Модель архитектуры транспортно-логистического предприятия	№ 2 (81) С. 176–189
<i>Мороз Д. Г., Блудян Н. О., Алексюк С. С., Айриев Р. С.</i>	
О проблеме организации стоянок и работе диспетчерских служб заказов такси в Москве	№ 3 (82) С. 152–169
<i>Мороз Д. Г., Доленко Д. В., Прокопенков А. В.</i>	
Анализ методов определения оптимального количества автомобилей-такси в мегаполисах	№ 4 (83) С. 196–207

<i>Мороз Д. Г., Титова С. С., Чернышев А. А.</i> Применение методов анализа пассажиропотоков к реформированию пассажирской транспортной системы района Левобережный города Москвы	№ 5 (84) С. 268–284
<i>Попов А. Т., Сулова О. А., Хмелев А. С.</i> Информационная система контроля сырьевых грузов металлургического предприятия	№ 5 (84) С. 228–243
<i>Прокофьев М. Н., Тохиров Махмуджон Муроджон угли</i> Перспективы транспортного коридора «Север–Юг»	№ 5 (84) С. 200–213
<i>Прокофьева Е. С., Панин В. В.</i> Единые принципы организации эксплуатационной работы железнодорожных грузовых перевозок	№ 5 (84) С. 186–198
<i>Рамазанова А.</i> Оптимизация месторасположения транспортно-логистических центров на примере Республики Казахстан	№ 5 (84) С. 214–227
<i>Филиппова Н. А., Власов В. М., Беляев В. М.</i> Навигационный контроль доставки грузов в условиях севера России	№ 4 (83) С. 218–231
<i>Филиппова Н. А., Заикин Р. Н., Ефименко Д. Б.</i> Дистанционная оценка процесса перевозок автомобильным транспортом	№ 6 (85) С. 258–270
<i>Фридкин В. М., Харламова Ю. А., Шумский С. П.</i> Перспективы городского надземного метрополитена	№ 1 (80) С. 174–178
<i>Чибухчян Г. С.</i> Проблемы развития общественного транспорта в Ереване	№ 5 (84) С. 244–253
<i>Шаров В. А., Тлеуханов А. А.</i> Динамические приоритеты пропуска грузовых поездов в коммерческих целях	№ 4 (83) С. 208–217

БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Басков В. Н., Красникова Д. А., Исаева Е. И.</i> Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора	№ 4 (83) С. 272–281
<i>Гаевский В. В., Одиноква И. В.</i> Влияние автомобилей с ДВС и электромобилей на окружающую среду: сравнение и оценка факторов воздействия	№ 3 (82) С. 220–231
<i>Ивашевский М. Р.</i> Системы видеонаблюдения на железнодорожном транспорте	№ 5 (84) С. 298–314
<i>Ильина И. Е., Сергеев М. В., Нелюцкова Е. А.</i> Важность трасологических исследований при установлении обстоятельств ДТП с целью предотвращения случаев страхового мошенничества	№ 3 (82) С. 206–219
<i>Клёнов М. В., Холиков И. В.</i> Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России	№ 3 (82) С. 180–191
<i>Кудряшов М. А., Айриев Р. С.</i> Показатели качества перевозок пассажиров автобусами: организация инструментального исследования дополнительных экологических и санитарно-гигиенических факторов	№ 6 (85) С. 272–285
<i>Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Лукьянова А. А.</i> Промышленная безопасность на энергоучастках электрифицированных линий	№ 2 (81) С. 230–239
<i>Попов А. В., Каймакова У. М., Стецкий Н. П.</i> Высокая смертность при ДТП в Российской Федерации: возможные причины и пути снижения	№ 3 (82) С. 192–205
<i>Попов В. Г., Сухов Ф. И., Боландова Ю. К.</i> Культура обеспечения безопасности транспорта	№ 2 (81) С. 206–217
<i>Сафонов А. А., Джаксбаев В. А.</i> Моделирование деятельности лётных экипажей вертолётов в аварийных ситуациях	№ 4 (83) С. 260–271
<i>Семенов М. А.</i> Совершенствование механизмов обеспечения экономической безопасности транспортного комплекса	№ 6 (85) С. 286–308





- Сладкова Л. А., Неклюдов А. Н., Кузнецов А. Н.*
Анализ способов борьбы с льдообразованием № 1 (80) С. 180–191
Тарарычкин И. А.
Защита транспортных узлов и обеспечение стойкости трубопроводных систем № 2 (81) С. 218–229
Цховребов Э. С., Ниязгулов У. Д.
Регулирование деятельности по обращению с отходами
и вторичными ресурсами № 1 (80) С. 192–201
Швецова С. В., Швецов А. В.
Анализ безопасности при перевозке грузов беспилотными
летательными аппаратами № 5 (84) С. 286–297

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

- Виноградов В. В., Кочнева Л. Ф., Платонова О. А.*
О взаимодействии школы и вуза в рамках профильного
инженерного образования № 2 (81) С. 254–259
Горбунов А. А., Федякин А. В., Федякин И. В.
История транспорта: инновационное измерение
традиционного учебного курса № 2 (81) С. 260–272
Ефимова О. В., Комарова Ю. В.
Культура безопасности как элемент организационной
культуры транспортных компаний № 3 (82) С. 234–245
Киселёв В. И., Салоид А. Е.
Подготовка специалистов рельсовых дорог Вьетнама № 1 (80) С. 224–230
Малишевский А. В., Ариничева О. В.
Прогностический критерий эффективности взаимодействия в экипаже № 1 (80) С. 204–214
Маслов В. П., Щербаков И. В.
Оценка идентичности работников железнодорожных предприятий № 1 (80) С. 216–223
Раевский Н. В., Кожин Д. Н., Раевская П. Е.
«Лайфхаки» для профориентационной работы в границах
Забайкальской железной дороги № 3 (82) С. 246–257
Трубаев А. С., Мурадян К. О.
Проблемы получения высшего образования людьми с ограниченными
возможностями здоровья и способы их решения № 2 (81) С. 242–252

КОЛЕСО ИСТОРИИ

- Григорьев Н. Д.*
Наделяющий электросилой № 1 (80) С. 232–237
Григорьев Н. Д.
История одного изобретения. Борис Розинг № 2 (81) С. 274–286
Григорьев Н. Д.
Борис Семёнович Якоби № 4 (83) С. 284–300
Петров Ю. И., Землин А. И., Землина О. М.
Зарождение системы управления путями сообщения и транспортного
законодательства России в IX–XVIII веках № 3 (82) С. 260–277
Потёмкина М. Н., Грязнов М. В., Пашковская Т. Г., Тимофеев Е. А.
Роль трамвайного движения в формировании транспортной
системы Магнитогорска № 5 (84) С. 316–325
№ 6 (85) С. 310–326
Шелихова А. К.
Шаропоезд Ярмольчука № 1 (80) С. 242–254

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

- Александр Сладковски*
Transport Problems – региональный научный журнал, способствующий
глобальному информированию № 3 (82) С. 290–295
Амелин В. С.
Буровые суда: перемещение, смещение и удержание № 3 (82) С. 296–308

Владимиров Ю. В.

Хроника генерала Бетанкура

Илизаров С. С.

Движение к будущему через познание прошлого: о курсе истории транспорта России

Ларин О. Н.

Регулирование международных перевозок: современные аспекты

№ 1 (80) С. 256–262

№ 5 (84) С. 332–336

№ 2 (81) С. 296–305

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Авиационные технологии и междисциплинарное обучение

Ассамблея МСА 2019 года

В Москве одобрен проект новой линии метро от «Шелепихи» до «Строгино»

Два Московских Центральных Диаметра готовятся к открытию

Европейский чемпионат водителей трамваев-2019

«Зелёное» финансирование

Информационная составляющая транспортной безопасности и отраслевого развития

Каким станет Северный речной вокзал после реставрации

Квантовые коммуникации на железных дорогах

Контейнерные перевозки в сообщении Япония–Россия–Европа

Лучшие качества локомотива

Международный железнодорожный конгресс-2019

Моряки, технологии и автоматизация: управление будущими вызовами

На Таймыре построят порт

Новая глобальная сеть космической погоды для авиации

Новые автобусы, электробусы и трамваи для Москвы в 2019 году

ОАО «РЖД»: двукратный рост перевозок маломобильных пассажиров

поездами дальнего следования

Обновление подвижного состава Московского метро

Проект «Интертран»

Развитие каршеринга в Москве

Рост доступности Московского метро

Самый долгий сезон велопроката в Москве

Северный широтный ход – полигон для испытания

современных технологий строительства

Холдинг «РЖД»: мониторинг перспективных строительных технологий

Цифровая мобильность в Москве

Экологичные шпалы для московского трамвая

Экологичные шпалы для московского трамвая: продолжение темы

№ 4 (83) С. 282

№ 2 (81) С. 240

№ 2 (81) С. 197

№ 2 (81) С. 165

№ 3 (82) С. 258

№ 3 (82) С. 113

№ 2 (81) С. 15

№ 2 (81) С. 294

№ 4 (83) С. 46

№ 3 (82) С. 178

№ 4 (83) С. 79

№ 2 (81) С. 103

№ 1 (80) С. 215

№ 2 (81) С. 153

№ 6 (85) С. 73

№ 1 (80) С. 88

№ 1 (80) С. 172

№ 1 (80) С. 86

№ 5 (84) С. 199

№ 1 (80) С. 173

№ 2 (81) С. 253

№ 6 (85) С. 201

№ 2 (81) С. 117

№ 2 (81) С. 79

№ 3 (82) С. 55

№ 1 (80) С. 202

№ 3 (82) С. 232

ПРЕСС-АРХИВ

Вокруг Москвы: сообщения из журнала «Железнодорожное дело» 1909 года

Газетные сообщения. Пресс-архив

Год в истории изобретений

Инженерная мысль 110 лет назад: тоннели, вагоны, зелёная энергетика

Новые магистралы и мультимодальное взаимодействие в 1909 году

Пароход Фултона

Рельсовый кризис

«Рельсовый» вопрос в Северной Америке: продолжение темы

Управление персоналом 110 лет назад

№ 3 (82) С. 282–287

№ 1 (80) С. 238–241

№ 3 (82) С. 288

№ 6 (85) С. 327–330

№ 5 (84) С. 326–330

№ 2 (81) С. 292–293

№ 2 (81) С. 287–291

№ 3 (82) С. 278–281

№ 4 (83) С. 301–308

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

№ 1 (80) С. 263–266, № 2 (81) С. 306–309, № 3 (82) С. 309–315,

№ 4 (83) С. 310–313, № 5 (84) С. 337–338, № 6 (85) С. 332–335

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

№ 1 (80) С. 267–268, № 2 (81) С. 310–312, № 3 (82) С. 316–320,

№ 4 (83) С. 314–316, № 5 (84) С. 339–340, № 6 (85) С. 336–338





CONTENTS OF THE ISSUES OF WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION JOURNAL PUBLISHED IN VOL. 17 (2019)

THEORY

- Bondarenko, A. N., Orlov, S. E., Karabanov, V. I.*
Determining Dependence of the Change in Normal Stresses in Rail on Its Wear Degree Iss. 5 (84) pp. 38–56
- Borisova, S. V.*
Regulation of the Relations in the Transportation Field based
on Convergence of Private and Public Law Iss. 2 (81) pp. 44–55
- Bunkova, T. G.*
Mathematical Description of Wheel–Rail Wear Process Iss. 5 (84) pp. 6–15
- Demin, V. A., Eurich, S., Efimenko, D. B.*
Model for Determining the Optimal Trajectory of Movement of Consignments Iss. 2 (81) pp. 56–62
- Dukhno, N. A.*
Transport and Transport Law: Historical Relationship and Prospects Iss. 3 (82) pp. 56–70
- Filippova, N. A., Bogumil, V. N., Belyaev, V. M.*
On Forecasting Navigation Seasons with Markov Chains Iss. 2 (81) pp. 16–25
- Gridin, V. N., Doenin, V. V., Panishchev, V. S., Bysov, I. D.*
Neural Network for Forecasting Energy Consumption Load
of a Railway Marshalling Yard Iss. 3 (82) pp. 6–15
- Gridin, V. N., Doenin, V. V., Panishchev, V. S., Razzhivaykin, I. S.*
Digital Model: Behavior Forecast in Transport Processes Iss. 2 (81) pp. 6–14
- Gusev, A. I., Gusev, S. A., Milevsky, A. S.*
Optimal Maintenance of Discrete Objects on the Plane, in Space
and in Given Boundaries of the Sphere Iss. 2 (81) pp. 26–43
- Karasev, O. I., Zheleznov, M. M., Beloshitsky, A. V., Shitov, E. A.*
Priorities of Scientific and Technological Development of the Railway
Industry in the Context of Digitalization: International Expertise Iss. 6 (85) pp. 20–36
- Krasnov, O. G.*
Technique to Determine Integral Distribution of Forces Acting on the Railway Track Iss. 4 (83) pp. 6–21
- Lyovin, B. A., Tsvetkov, V. Ya., Dzyuba, Yu. V.*
Subsidiarity-Based Management and Control Systems for Railways Iss. 4 (83) pp. 22–35
- Macheret, D. A.*
Freedom of Movement and Features of Transport Systems Iss. 3 (82) pp. 40–54
- Macheret, D. A.*
Uncertainty of the Future as a Fundamental Problem
of the Long-Term Development of Transport Iss. 6 (85) pp. 6–19
- Pastukhov, D. F., Volosova, N. K., Volosova, A. K.*
Some Methods of QR code Transmission using Steganography Iss. 3 (82) pp. 16–39
- Popov, A. P., Popova, T. A.*
Semantic Network Modeling Iss. 1 (80) pp. 38–44
- Spirin, I. V., Belyaev, V. M., Antonova, V. V.*
Planning Methodology for Road Passenger Transportation Iss. 1 (80) pp. 20–37
- Tarmaev, A. A., Filippov, V. N., Petrov, G. I.*
On Modeling of Car's Wheel Set Movement Iss. 1 (80) pp. 6–19
- Zaitsev, A. A., Sokolova, Ya. V., Pantina, T. A.*
Innovative Development of Transport System using Magnetic Levitation Technology Iss. 4 (83) pp. 36–45

SCIENCE AND ENGINEERING

- Bespalko, S. V., Kurzina, E. G., Kurzina, A. M., Zhaisan, Issa Zh.*
The Influence of the Stiffness of the Elements of Rail Damping on the Parameters
of the Multi-Mass Wagon–Track Vibratory System Iss. 5 (84) pp. 78–95
- Bondar, I. S., Burombaev, S. A., Aldekeeva, D. T.*
Calculation of Stress-Strain State of Overpasses Iss. 1 (80) pp. 58–69
- Boyarshinov, M. G., Kuznetsov, N. I.*
Thermal Regime of Automobile Exhaust System at Low Temperature Iss. 4 (83) pp. 48–67
- Cheremisin, V. T., Nezevak, V. L.*
Efficiency of Electric Energy Storage Systems on the Moscow Central Circle Iss. 5 (84) pp. 58–77
- Dzhanmuldaev, B. D., Loktev, A. A., Alenov, K. T., Fazilova, Z. T.*
Transverse Oscillation of a Base Slab Section of Ballastless Track Iss. 2 (81) pp. 72–78
- Kovalyov, S. M., Sukhanov, A. V.*
Implementation of Intelligent Monitoring for the Marshalling Yard Iss. 4 (83) pp. 98–110
- Krasnov, O. G., Nedbaylo, A. V.*
The Study of Geometric Parameters of Cutting Tool of a Rail-Milling Train Iss. 6 (85) pp. 38–49
- Kremlev, I. A., Tyryshkin, A. V.*
Infrastructure Facilities for Unmanned Vehicles Iss. 2 (81) pp. 64–71
- Lakin, I. K., Semenov, A. P., Khromov, I. Yu.*
Opportunities to Increase Efficiency of Locomotives' Operation Iss. 6 (85) pp. 82–92
- Mansour, Alaa El-Din*
Modal Analysis of Circular Symmetrical Plates by Means
of Generalized Finite Difference Method Iss. 3 (82) pp. 88–98
- Marasanov, A. I., Sheikin, A. A., Alferov, I. V.*
Interaction of Post Foundations and Frozen Soils Iss. 5 (84) pp. 96–113
- Minakov, V. A., Fomenko, V. K.*
Machine Vision Technology for Locomotives to Identify Railway Colour-Light Signals Iss. 6 (85) pp. 62–72
- Nekrasov, G. I., Balabin, V. N.*
Principles of Modularity in Design and Maintenance of Locomotives Iss. 2 (81) pp. 80–90
- Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V.*
Vertical Take-off Devices with Jet-Vortex Lift Generators Iss. 1 (80) pp. 46–57
- Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V.*
Potentiality of Multi-Modular Transformer Watercrafts for Ocean Exploration Iss. 5 (84) pp. 114–128
- Popov, I. P.*
Inertial Capacitive Energy Storage Device for a Shunting Diesel Locomotive Iss. 3 (82) pp. 82–87
- Popov, V. G., Matesheva, A. V., Sukhov, Ph. I., Bolandova, Yu. K.*
Conditions Leading to Overturning of Empty Containers under
the Influence of Wind Load Iss. 6 (85) pp. 50–61
- Shatokhin, A. A.*
Virtual Sorting: Improving Organization of Moving and Processing of Empty Car Flows Iss. 4 (83) pp. 80–89
- Shepitko, T. V., Artyushenko, I. A., Dolgov, P. G.*
Base Soil Reinforcement with Vertical Crushed Stone Columns in Cryolithozone Iss. 4 (83) pp. 68–78
- Skachkov, A. N., Samoshkin, S. L., Korshunov, S. D.*
Study of Body Strength of New Generation Electric Train Cars Iss. 1 (80) pp. 70–85
- Sladkova, L. A., Neklyudov, A. N.*
Design and Methodology for Studying Wheelset Load Iss. 6 (85) pp. 74–81





- Starshov, I. P., Kobzev, V. A., Sychyov, E. I.*
Improving the Methodology for Calculating the Parameters of Hump Yards Iss. 4 (83) pp. 90–97
- Volkov, A. A., Morozov, M. S.*
Improving Noise Immunity of Digital Radio Systems with Angular Modulation Iss. 1 (80) pp. 90–98
- Zaytsev, A. A., Troitskiy, P. S.*
Freight Electric Multiple-Unit Trains as an Alternative to Locomotive Traction. Comparison and Analysis Iss. 3 (82) pp. 72–81

ECONOMICS

- Badambaeva, S. E., Borodina, E. V., Prokofieva, E. S.*
The Interaction of Sea and Rail Transport at the Example of the Port of Aktau Iss. 3 (82) pp. 122–138
- Buyanova, L. N., Mudrova, O. M.*
Logistics of Low-Tonnage LNG Iss. 4 (83) pp. 166–180
- Dunaev, O. N., Guts, A. V.*
Transport and Logistics Platform for Multimodal Passenger Transportation Iss. 2 (81) pp. 92–102
- Durakov, D. N., Lobytsev, V. V., Polev, S. S.*
Technical and Economic Specifications of a New Type of Smoothing Reactors Iss. 3 (82) pp. 100–112
- Gogriciani, G. V., Lyashenko, A. N.*
Strategic Development of Oil Shipments from Russia to Palestine Iss. 4 (83) pp. 136–147
- Ibragimov, U. N., Tokhirov, M. M.*
Development of Single and Externally Integrated Transport Area in Central Asia Iss. 4 (83) pp. 148–165
- Ivasenko, A. A., Nefedyeva, E. V.*
Ensuring Service Quality within Internal Environment of Railway Transport and the Role of Diagnostic Tools Iss. 6 (85) pp. 130–141
- Kochneva, L. F., Yakovleva, M. A.*
Analysis of Financial Indicators of Bond Issues of a Holding Company Iss. 1 (80) pp. 116–127
- Kulachinskaya, A. Yu.*
Improvement of Tariffs for Urban Public Transportation Taking into Account their Social Significance Iss. 3 (82) pp. 114–121
- Leonova, O. G.*
Balanced Scorecard for Repair Shipyards Iss. 2 (81) pp. 130–144
- Levin, D. Yu., Shulgenko, Z. S.*
Relationship between Business Budgeting and Technical Regulations Iss. 1 (80) pp. 100–115
- Matantseva, O. Yu., Spirin, I. V., Bogumil, V. N.*
Urban Vehicle Fleet Renewal: Municipal Leasing and Financing of Replacement Iss. 1 (80) pp. 128–140
- Pastukhov, S. S.*
Development of Business Intelligence in Transport Management Iss. 5 (84) pp. 164–184
- Podsorin, V. A., Martyshkin, R. V.*
Evaluation of Railway Network Development Projects Considering Economic Conditions Iss. 6 (85) pp. 94–111
- Pokrovskaya, O. D.*
Digitalization, Informatization, Identification and Labeling of Logistics Facilities for the Purposes of Enhanced Customer Focusing Iss. 4 (83) pp. 112–135
- Poleshkina, I. O.*
Polyfunctionality of the Transport System of Northern Regions Iss. 2 (81) pp. 104–116
- Solovyov, V. V.*
Economic Prerequisites for Assessing the Scope of Application of Transport Engineering Structures Iss. 6 (85) pp. 166–184
- Tarasov, A. A.*
Debt Instruments of Transport Leasing Companies Funding Iss. 6 (85) pp. 112–129
- Tarovik, O. V., Mudrova, O. M.*
Estimated Transportation Cost of Low-Tonnage LNG Iss. 5 (84) pp. 130–163

<i>Teryoshina, N. P., Podsorin, V. A., Danilina, M. G.</i> Globalization and Labour Productivity in the Transport Sector	Iss. 2 (81) pp. 118–129
<i>Tyapukhin, A. P.</i> Sustainability of Resource Supply Systems	Iss. 6 (85) pp. 142–165
ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL	
<i>Akopov, Ph. V., Khoroshilova, A. D., Faddeykina, Yu. S.</i> Issues of Designing and Restructuring the Route Networks of Public Passenger Urban Ground Transport	Iss. 5 (84) pp. 254–267
<i>Andronov, S. A.</i> Gravity Modelling of Car Sharing Based on PTV Visum	Iss. 6 (85) pp. 222–241
<i>Burchenkov, V. V.</i> Decision Making Based on the Results of Automatic Diagnostics of Parts and Assemblies of Rolling Stock	Iss. 4 (83) pp. 232–243
<i>Chibukhchyan, G. S.</i> Problems of Development of Public Transport in Yerevan	Iss. 5 (84) pp. 244–253
<i>Dontsov, I. E.</i> Storage of Geometric Data	Iss. 2 (81) pp. 190–196
<i>Efanov, D. V.</i> The Future of Radio Controlled Switches with Autonomous Power Supply	Iss. 1 (80) pp. 154–163
<i>Filippova, N. A., Vlasov, V. M., Belyaev, V. M.</i> Navigation Control of Cargo Transportation in the North of Russia	Iss. 4 (83) pp. 218–231
<i>Filippova, N. A., Zaikin, R. N., Efimenko, D. B.</i> Remote Evaluation of Road Transportation Process	Iss. 6 (85) pp. 258–270
<i>Fridkin, V. M., Kharlamova, Yu. A., Shumsky, S. P.</i> Perspectives of Urban Elevated Metro	Iss. 1 (80) pp. 174–178
<i>Gryaznov, M. V., Davydov, K. A.</i> Increase in Speed of Regular Urban Bus Traffic	Iss. 6 (85) pp. 202–220
<i>Karpycheva, E. V.</i> Application of Documentation Standards	Iss. 2 (81) pp. 198–204
<i>Kazarina, V. V., Podverbniy, V. A.</i> Decision-Making on Choosing a Railway Line Option	Iss. 3 (82) pp. 140–151
<i>Kiselenko, A. N., Malashchuk, P. A.</i> Vorkuta Transport Hub and its Role in Development of the Arctic Area	Iss. 1 (80) pp. 142–153
<i>Kovalenko, N. A., Borodin, A. A., Tarasov, K. A.</i> Factors Determining the Size and Norms for Securing Barrier Wagon Groups	Iss. 6 (85) pp. 242–257
<i>Kudryashov, M. A., Ayriev, R. S., Ovnanyan, G. M.</i> Cluster Analysis of the Routes of the New Management Model for Surface Urban Passenger Mass Transit	Iss. 4 (83) pp. 182–195
<i>Kudryashov, M. A., Ayriev, R. S., Prokopenkov, A. V.</i> Approbation of Methods for Assessing Transport Services Quality	Iss. 2 (81) pp. 154–164
<i>Kulapat, D., Boykov, A. V.</i> Calculation of the Need in Merchant Fleet for the Transport and Logistics System	Iss. 2 (81) pp. 146–152
<i>Kulikova, E. B., Madyar, O. N., Galitsky, A. V.</i> Analysis of Accessibility of Railway Transport for Residents of Large Urban Agglomerations	Iss. 2 (81) pp. 166–175
<i>Kurganov, V. M., Dorofeev, A. N., Nastasyak, O. B.</i> Transport and Logistics Enterprise Architecture Model	Iss. 2 (81) pp. 176–189
<i>Moroz, D. G., Bludyan, N. O., Aleksyuk, S. S., Ayriev, R. S.</i> Problem of Location of Taxi Ranks and Taxi Dispatch Service Operations in Moscow	Iss. 3 (82) pp. 152–169



<i>Moroz, D. G., Dolenko, D. V., Prokopenkov, A. V.</i> Analysis of Methods for Determining the Optimal Number of Taxi Cars in Megacities	Iss. 4 (83) pp. 196–207
<i>Moroz, D. G., Titova, S. S., Chernyshev, A. A.</i> Application of Passenger Flow Analysis Methods to Restructuring the Passenger Transport System of the Levoberezhny District of Moscow	Iss. 5 (84) pp. 268–284
<i>Popov, A. T., Suslova, O. A., Khmelev, A. S.</i> Information System for Control of Raw Material Transportation of an Iron and Steel Plant	Iss. 5 (84) pp. 228–243
<i>Prokofiev, M. N., Tokhirov, M. M.</i> Prospects for North–South Transport Corridor	Iss. 5 (84) pp. 200–213
<i>Prokofieva, E. S., Panin, V. V.</i> Uniform Principles of Organization of Rail Freight Transportation Operations	Iss. 5 (84) pp. 186–198
<i>Ramazanova, A.</i> Optimization of Location of Transport and Logistics Centers at the Example of the Republic of Kazakhstan	Iss. 5 (84) pp. 214–227
<i>Sharov, V. A., Tleukhanov, A. A.</i> Commercially Focused Dynamic Priorities in the Organisation of the Transit of Cargo Trains	Iss. 4 (83) pp. 208–217
<i>Vakulenko, S. P., Evreenova, N. Yu.</i> Legal Framework for Low-Density Traffic Railways Operation	Iss. 1 (80) pp. 164–171
<i>Volodin, A. B.</i> State Border Checkpoints. Problems and Solutions	Iss. 3 (82) pp. 170–177
<i>Zavyalov, D. V., Bykova, O. N.</i> Electric Bicycles in the Urban Environment: Prospects and Constraints for Use in Megalopolises	Iss. 6 (85) pp. 186–200
<i>Zheleznov, M. M., Karasyov, O. I., Beloshitsky, A. V., Shitov, E. A.</i> Innovative Railway Transport Ecosystem: Practices of Leading Companies	Iss. 4 (83) pp. 244–258

SAFETY AND SECURITY

<i>Baskov, V. N., Krasnikova, D. A., Isaeva, E. I.</i> Effect of Driver Behaviour on Traffic Jams	Iss. 4 (83) pp. 272–281
<i>Gaevskiy, V. V., Odinkova, I. V.</i> Environmental Impact of ICE Vehicles and Battery Electric Vehicles: Comparison and Assessment of Impact Factors	Iss. 3 (82) pp. 220–231
<i>Ilyina, I. E., Sergeev, M. V., Nelyutskova, E. A.</i> Importance of Trace Evidence Study in Determining Road Traffic Accident Circumstances in order to Prevent Insurance Fraud	Iss. 3 (82) pp. 206–219
<i>Ivashevsky, M. R.</i> Video Surveillance Systems for Railway Transport	Iss. 5 (84) pp. 298–314
<i>Kholikov, I. V., Klyonov, M. V.</i> Legal and Organization Issues of Transport Occupational Health and Medical Assistance to Passengers in Russian Federation	Iss. 3 (82) pp. 180–191
<i>Kudryashov, M. A., Airiev, R. S.</i> Bus Passenger Transportation Quality Indicators: Organization of Instrumental Research of Additional Environmental and Sanitary Factors	Iss. 6 (85) pp. 272–285
<i>Lukyanov, A. M., Korolchenko, D. A., Lukyanova, A. A.</i> Industrial Safety at the Energy Sites of Electrified Railway Lines	Iss. 2 (81) pp. 230–239
<i>Popov, A. V., Kaimakova, U. M., Stetsky, N. P.</i> High Mortality Rates from Road Traffic Accidents in the Russian Federation: Possible Causes and Ways to Overcome Challenges	Iss. 3 (82) pp. 192–205
<i>Popov, V. G., Sukhov, Ph. I., Bolandova, Yu. K.</i> Transport Safety Culture	Iss. 2 (81) pp. 206–217

<i>Safonov, A. A., Dzhaksbaev, V. A.</i> Simulation of Activities of Helicopter Flight Crews in Emergency Situations	Iss. 4 (83) pp. 260–271
<i>Shvetsova, S. V., Shvetsov, A. V.</i> Safety Analysis of Goods Transportation by Unmanned Aerial Vehicles	Iss. 5 (84) pp. 286–297
<i>Sladkova, L. A., Nekludov, A. N., Kuznetsov, A. N.</i> Analysis Methods to De-Ice Roads	Iss. 1 (80) pp. 180–191
<i>Tararychkin, I. A.</i> Protection of Transport Nodes and Resistibility of Pipeline Systems	Iss. 2 (81) pp. 218–229
<i>Tskhovrebov, E. S., Niyazgulov, U. D.</i> Regulation of Waste and Secondary Resources Management	Iss. 1 (80) pp. 192–201
<i>Semenov, M. A.</i> Improving the Mechanisms to Ensure Economic Security of the Transport System	Iss. 6 (85) pp. 286–308

HRM, EDUCATION & TRAINING

<i>Efimova, O. V., Komarova, Yu. V.</i> Safety Culture as an Element of Organisation Culture of Transport Companies	Iss. 3 (82) pp. 234–245
<i>Gorbunov, A. A., Fedyakin, A. V., Fedyakin, I. V.</i> History of Transport: Innovative Dimension of a Traditional Educational Course	Iss. 2 (81) pp. 260–272
<i>Kiselyov, V. I., Saloid, A. E.</i> Training of Specialists of Vietnam Railways	Iss. 1 (80) pp. 224–230
<i>Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V.</i> Prognostic Criterion of Effectiveness of Crewmember Interaction	Iss. 1 (80) pp. 204–214
<i>Maslov, V. P., Shcherbakov, I. V.</i> Evaluation of Identity of Employees of Railway Enterprises	Iss. 1 (80) pp. 216–223
<i>Raevsky, N. V., Kozhin, D. N., Raevskaya, P. E.</i> Lifhacks for Career Guidance within the Boundaries of Zabaikalskaya Railway	Iss. 3 (82) pp. 246–257
<i>Trubaev, A. S., Muradian, K. O.</i> Problems of Obtaining Higher Education by People with Disabilities and Ways to Solve Them	Iss. 2 (81) pp. 242–252
<i>Vinogradov, V. V., Kochneva, L. F., Platonova, O. A.</i> On Interaction of School and University in the Framework of Engineering Education	Iss. 2 (81) pp. 254–259

HISTORY WHEEL

<i>Grigoriev, N. D.</i> Giving Electric Power	Iss. 1 (80) pp. 232–237
<i>Grigoriev, N. D.</i> The History of an Invention: Boris Rosing	Iss. 2 (81) pp. 274–286
<i>Grigoriev, N. D.</i> Boris S. Jacobi	Iss. 4 (83) pp. 284–300
<i>Petrov, Yu. I., Zemlin, A. I., Zemlina, O. M.</i> The Genesis of the System of Administration of the Transport Routes and of the Transport Law in Russia (9 th to 18 th centuries)	Iss. 3 (82) pp. 260–277
<i>Potemkina, M. N., Gryaznov, M. V., Pashkovskaya, T. G., Timofeev, E. A.</i> Role of Tram Transit in Formation of Magnitogorsk Transportation System (1930–1955)	Iss. 5 (84) pp. 316–325 Iss. 6 (85) pp. 310–326
<i>Shelikhova, A. K.</i> Ball Train of Yarmolchuk	Iss. 1 (80) pp. 242–254

BIBLIO-DIRECTIONS

<i>Amelin, V. S.</i> Drilling Vessels: Movement, Displacement and Holding	Iss. 3 (82) pp. 296–308
--	-------------------------





Ilizarov, S. S.

Moving to the Future by Studying the Past: on the Course in the History of Transport in Russia Iss. 5 (84) pp. 332–336

Larin, O. N.

Regulation of International Transportation: Modern Aspects Iss. 2 (81) pp. 296–305

Stadkowski, Aleksander

Transport Problems: the Regional Scientific Journal Contributing to Global Information Iss. 3 (82) pp. 290–295

Vladimirov, Yu. V.

Chronicle of General Betancourt Iss. 1 (80) pp. 256–262

EXPRESS INFORMATION

ACI World Assembly 2019 Iss. 2 (81) p. 240

City is Ready to Open First Two Moscow Central Diameters Iss. 2 (81) p. 165

Container Transportation Between Japan, Russia and Europe Iss. 3 (82) p. 178

Development of Car Sharing in Moscow City Iss. 1 (80) p. 173

Digital Mobility in Moscow Iss. 3 (82) p. 55

Dynamic Aviation Technology and Tailored Multidisciplinary Training Iss. 4 (83) p. 282

Eco-friendly Sleepers for Moscow Tram Iss. 1 (80) p. 202

Eco-friendly Sleepers for Moscow Tram: Continuing the Topic Iss. 3 (82) p. 232

Enhancing Accessibility of Moscow Metro Iss. 2 (81) p. 253

European's Tramdriver Championship 2019 Iss. 3 (82) p. 258

«Green» Financing Iss. 3 (82) p. 113

Information Component of Transport Safety and Sectoral Development Iss. 2 (81) p. 15

International Railway Congress 2019 Iss. 2 (81) p. 103

Intertran Project Iss. 5 (84) p. 199

Locomotive with Better Qualities Iss. 4 (83) p. 79

Moscow New Metro Line Layout Approved from Shelepikha to Strogino Iss. 2 (81) p. 197

New Buses, Electric Buses, Trams for Moscow in 2019 Iss. 1 (80) pp. 88–89

New Global Aviation Space Weather Network Iss. 6 (85) p. 73

New Port on Taimyr Peninsula Iss. 2 (81) p. 153

Northern Latitudinal Railway as a Test Ground for the Advanced Construction Technologies Iss. 2 (81) p. 117

Quantum Communications for Railways Iss. 4 (83) p. 46

Renewal of Moscow Metro Trains Iss. 1 (80) pp. 86–87

Russian Railways Holding to Monitor Promising Construction Technologies Iss. 2 (81) p. 79

Russian Railways: Twice as Many Low-Mobility Passengers Travel by Long-Distance Train Iss. 1 (80) p. 172

Seafarers, Technology and Automation – Managing Future Challenges Iss. 1 (80) p. 215

The Longest Season of Bike Sharing in Moscow Iss. 6 (85) p. 221

The New Look of Renewed Moscow Northern River Station Iss. 2 (81) p. 294

PRESS ARCHIVES

A Year in the History of Inventions Iss. 3 (82) p. 288

Around Moscow: Reports Retrieved from Rail Business Journal of 1909 Iss. 3 (82) pp. 282–287

Engineering ideas 110 years ago: tunnels, wagons, green power generation Iss. 6 (85) pp. 327–330

Human Resources Management: How it was Organized 110 Years Ago Iss. 4 (83) pp. 301–308

Newspaper Reports. Press Archives Iss. 1 (80) pp. 238–241

Projects of New Main Railways and Multimodal Interaction in 1909 Iss. 5 (84) pp. 326–330

Rail Crisis Iss. 2 (81) pp. 287–291

«Rail» Question in North America: Continuation of the Topic Iss. 3 (82) pp. 278–281

Steam-Boat of Robert Fulton Iss. 2 (81) pp. 292–293

ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D.

Iss. 1 (80) pp. 263–266, Iss. 2 (81) pp. 306–309, Iss. 3 (82) pp. 309–315,

Iss. 4 (83) pp. 310–313, Iss. 5 (84) pp. 337–338, Iss. 6 (85) pp. 332–335

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Iss. 1 (80) pp. 267–268, Iss. 2 (81) pp. 310–312, Iss. 3 (82) pp. 316–320,

Iss. 4 (83) pp. 314–316, Iss. 5 (84) pp. 339–340, Iss. 6 (85) pp. 336–338

АНЕКДОТ

НА ОБОЧИНЕ

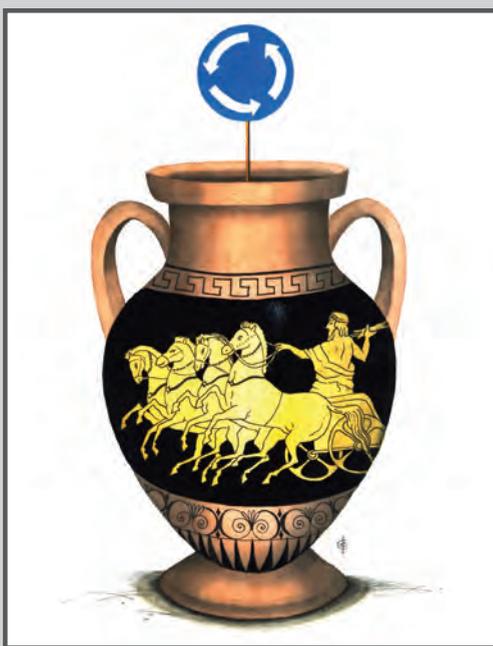


Рис. Сергей Сыченко / Pic. Sergey Sychenko

• Знаете ли Вы, что 75 % водителей постоянно разговаривают или ругаются с навигатором?

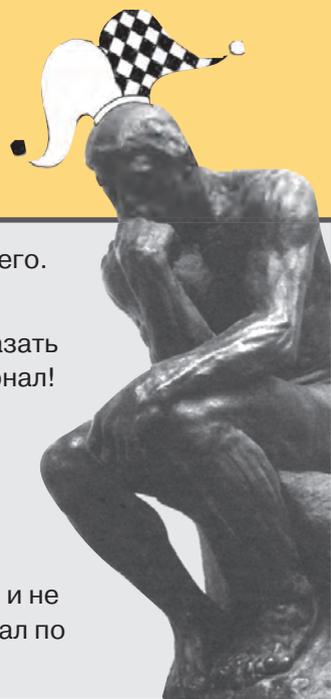
• Человек купил новый Роллс-Ройс. Проехал 100 миль. Ему звонят из салона:

– Извините, пожалуйста. У вас машина без двигателя. Сейчас приедем и всё исправим.

– А как же я проехал 100 миль?

– На репутации.

• У нас ходит городская легенда о некурящем маршруточнике, слушающем блюз и соблюдающем ПДД.



Советы из Интернета

Итак, вы написали трактат и хотите опубликовать его. Поступите следующим образом:

- Если вы понимаете, что написали и можете доказать это, пошлите в какой-нибудь математический журнал!
- Если вы понимаете, что написали, но не можете доказать это, пошлите в журнал по физике!
- Если вы не понимаете, что написали, но можете доказать это, пошлите в журнал по экономике!
- Если вы ничего не поняли из того, что написали, и не можете ничего из этого доказать, пошлите в журнал по философии!



**World of Transport and
Transportation**

Vol. 17, Issue 6, 2019

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 >